



# MAIS CIÊNCIA E INOVAÇÃO PARA TODOS NÓS

**Mais Ciência e Inovação no Maranhão**

Coleção: FAPEMA de 2015 à 2018

## VOLUME 1



**FAPEMA**



MAIS CIÊNCIA  
E INOVAÇÃO  
PARA TODOS  
NÓS



DIRETOR PRESIDENTE Prof. Dr. André Luís Silva dos Santos

DIRETOR CIENTÍFICO Prof. Dr. João Batista Bottentuit Júnior

DIRETOR ADMINISTRATIVO-FINANCEIRO Maurício Oliveira Brandão Ferreira

---

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA E AO  
DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO DO MARANHÃO

Rua Perdizes, 05, qd. 37, Jd. Renascença,

São Luís-MA – Brasil – 65075-380

Fone: +55(98) 2109.1400

[www.fapema.br](http://www.fapema.br)

[gabinete@fapema.br](mailto:gabinete@fapema.br)

Twitter: [@fapema\\_maranhao](https://twitter.com/fapema_maranhao)

Instagram: [fapema\\_oficial](https://www.instagram.com/fapema_oficial)

Facebook: [facebook.com/fapema](https://www.facebook.com/fapema)

Youtube: [Fapema Oficial](https://www.youtube.com/FapemaOficial)

Mais Ciência e Inovação no Maranhão  
Coleção: FAPEMA de 2015 a 2018

MAIS CIÊNCIA  
E INOVAÇÃO  
PARA TODOS  
NÓS

VOLUME 1  
1ª Edição



São Luís, MA  
2020

© 2020, dos autores

**Idealização**

Alex Oliveira de Souza

**Capa e projeto editorial**

Joana Oliveira de Oliveira

**Preparação e revisão de texto**

Aline Silva Andrade Nunes

Cláudio Antonio Amaral Moraes

João Arthur Reis

Kiany Sirley Brandão Cavalcante

Leidyane Ramos Matos

Maristela Sena

Silvane Magali Vale Nascimento

Taciana Nogueira de Sousa Campelo

**Editoração eletrônica**

Motta Junior

Ficha catalográfica Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F982

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA E AO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO DO MARANHÃO (FAPEMA).

Coletânea de Pesquisa Científica. Volume 1. MAIS CIÊNCIA E INOVAÇÃO PARA TODOS NÓS. Coleção: FAPEMA de 2015 a 2018. [livro eletrônico] / Organizado pelo Núcleo de Planejamento Fapema. - São Luís: FAPEMA, 2020.

256 p. il.

Vol. 1. Saúde e Tecnologia

ISBN 978-65-88387-01-6

1. Pesquisa. 2. Pesquisadores do Maranhão. 3. Saúde. 4. Tecnologia. 5. Editais-Fapema. I. Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão. II. Título. III. FAPEMA.

CDU [001:061.27] (081.1) (812.1)

CDD 001.42

Ficha catalográfica elaborada por Fernanda Kátia Silva de Sousa – CRB-13/641/MA

O conteúdo desta obra é de exclusiva responsabilidade dos autores.



# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	7
SEÇÃO 1: CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA A SAÚDE .....	8
Capítulo 1. BIOSSENSORES COMO PLATAFORMAS DE DIAGNÓSTICO RÁPIDO NA HANSENÍASE .....	9
Capítulo 2. ATENÇÃO BÁSICA EM SAÚDE E MORTALIDADE INFANTIL NO BRASIL AO LONGO DO SÉCULO XXI: UMA ABORDAGEM COM ÊNFASE NO MARANHÃO .....	19
Capítulo 3. AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO, ADESÃO AO TRATAMENTO DE TUBERCULOSE E RASTREAMENTO DE TUBERCULOSE LATENTE EM CONTATOS INTRADOMICILIARES EM SÃO LUÍS - MA.....	45
SEÇÃO 2: CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA A SUSTENTABILIDADE.....	61
Capítulo 4. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO MERCADO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA <i>ON GRID</i> NO ESTADO DO MARANHÃO. 62	
Capítulo 5. RESÍDUOS SÓLIDOS NAS PRAIAS DA AVENIDA LITORÂNEA DE SÃO LUÍS-MA.....	80
Capítulo 6. QUALIDADE AMBIENTAL: PROMOVENDO SAÚDE E A CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS AQUÁTICOS DE SANTO AMARO-MA.....	100
Capítulo 7. RESTAURAÇÃO DE VEGETAÇÃO NATIVA NO PARQUE NACIONAL DOS LENÇÓIS MARANHENSES: SELEÇÃO DE ESPÉCIES, TAXA DE CRESCIMENTO E SOBREVIVÊNCIA.....	119
SEÇÃO 3: ROBÓTICA, INOVAÇÃO E CIÊNCIA DE DADOS.....	137
Capítulo 8. ANÁLISE DE DADOS DE MÍDIAS SOCIAIS E SISTEMAS DE RELACIONAMENTO DE CLIENTES: ESTUDOS DE CASO EM GOVERNO ELETRÔNICO .....	138

Capítulo 9. CONSTRUÇÃO E ESTUDOS ELETROQUÍMICOS DE ÂNODOS PARA BATERIAS E SUPERCAPACITORES A PARTIR DE RESÍDUOS AMBIENTAIS.. 155

Capítulo 10. LABORATÓRIO DE COGNIÇÃO DE MÁQUINA, OTIMIZAÇÃO E ROBÓTICA: PRINCIPAIS ACHADOS E CONTRIBUIÇÕES.....170

Capítulo 11. JOGOS, GAMIFICAÇÃO, ACESSIBILIDADE E AUTORIA INTELIGENTE: UM RELATO SOBRE PESQUISAS DO LABORATÓRIO JOGA-AL..... 192

SEÇÃO 4: MATEMÁTICA, QUÍMICA E FÍSICA.....217

Capítulo 12. CÁLCULOS *AB INITIO* DE NANOESTRUTURAS DE MoS<sub>2</sub>: PROPRIEDADES ESTRUTURAIS, ELETRÔNICAS E VIBRACIONAIS..... 218

Capítulo 13. SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE ÓXIDOS CERÂMICOS À BASE DE MCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, DOPADOS COM COBRE POR PROCESSO QUÍMICO..... 239





# INTRODUÇÃO

A Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) tem o objetivo de promover o desenvolvimento humano por meio da pesquisa científica e de inovação tecnológica. Atende as demandas do setor produtivo e da sociedade em geral e contribui para a formação e fixação de talentos humanos. As suas ações buscam no fortalecimento da ciência e de suas aplicações, em todos os níveis do conhecimento.

A política do atual governo para a ciência, tecnologia e inovação, a ser executada pela FAPEMA, articula-se a partir da política nacional e, para tanto, propõe a adoção de três áreas temáticas transversais para o amparo e o fomento às ciências de base e aplicadas:

1 - Desenvolvimento social do Maranhão, tema que estimula a articulação dos trabalhos científicos com a inclusão social, produtiva e digital.

2 - Promoção e proteção dos recursos naturais e do meio ambiente, focada no estímulo à reflexão dos trabalhos científicos em relação à sustentabilidade.

3 - Desenvolvimento da competitividade no estado, com o objetivo de fomentar a articulação entre a pesquisa e a inovação, institutos de ciência e tecnologia e a empresas.

As diretrizes traçadas pelo Governo do Estado induzem a montagem de uma política que tem a inclusão social como foco estratégico para o desenvolvimento de políticas públicas e que permite que cada um dos cidadãos tenha a oportunidade de conseguir ou adquirir conhecimento básico e necessário para ampliar as oportunidades na sociedade.

Para isso, a estratégia da FAPEMA impõe a estruturação de suas ações em quatro linhas, 15 programas e 43 editais que financiam a pesquisa no estado.

# 1

CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA  
PARA A SAÚDE

SEÇÃO 1



## CAPÍTULO 01

# BIOSENSORES COMO PLATAFORMAS DE DIAGNÓSTICO RÁPIDO NA HANSENÍASE

Mayara Ingrid Sousa Lima<sup>1</sup>  
Emilly Caroline dos Santos Moraes<sup>2</sup>  
Natalia Carine Almeida Conceição<sup>3</sup>  
Meydson Benjamim Carvalho Correa<sup>3</sup>  
Ricardo Mendes Gonçalves<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Biologia da Universidade Federal do Maranhão.

<sup>2</sup> Mestranda em Ciências da Saúde, Universidade Federal do Maranhão.

<sup>3</sup> Graduanda em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Maranhão.

## RESUMO

A hanseníase é uma doença infecciosa que faz parte do grupo de Doenças Tropicais Negligenciadas, caracterizadas por causarem sérios problemas de saúde pública ao redor do mundo devido aos altos índices de incidência, prevalência e danos potenciais na saúde dos indivíduos acometidos. Mesmo com todos esses fatores atrelados à doença, a hanseníase continua a ter uma detecção de novos casos e prevalência de casos antigos elevada no Brasil, especialmente no estado do Maranhão, onde é considerada hiperendêmica. Embora seja considerada uma das enfermidades mais antigas da humanidade, atualmente ainda carece de métodos de detecção, acompanhamento e diagnóstico precoce na rede pública e que dispensem a utilização de grandes equipamentos laboratoriais, materiais de insumo e reagentes. Portanto, a estratégia deste trabalho consistiu na elaboração de uma plataforma eletroquímica capaz de detectar rapidamente anticorpos em amostras biológicas que respondam de forma específica à presença do *Mycobacterium leprae* (agente causador da hanseníase) no organismo. Para isso, foram utilizados um sistema formado por eletrodos impressos de carbono modificados quimicamente, peptídeos recombinantes específicos da micobactéria (ML-1 e ML-2) utilizados como antígeno, amostras biológicas (soro e saliva) para reconhecimento e interação específica antígeno-anticorpo e um potenciostato responsável pela passagem de correntes e promoção dos sinais decorrentes das modificações e interações que ocorriam na superfície dos eletrodos. Nossos resultados evidenciaram diferenças nos sinais eletroquímicos entre amostras oriundas

de pacientes com a doença e indivíduos que nunca tiveram exposição direta com o bacilo causador, possibilitando a distinção entre grupos saudáveis e pacientes. Esse perfil diferencial foi encontrado tanto em amostras sorológicas quanto em amostras salivares e com diferentes técnicas eletroquímicas, apontando para a versatilidade do uso e escolha de fluidos a serem utilizados. Dessa forma, foi possível desenvolver o primeiro protótipo de biossensores eletroquímicos para detecção de anticorpos em pacientes com hanseníase. Ademais, os resultados obtidos neste projeto enfatizam o caráter promissor das nossas plataformas, por serem rápidas, sensíveis, com menores custos, portáteis, versáteis e capazes de auxiliar no monitoramento de grandes contingentes populacionais, como no caso do Maranhão que necessita de estratégias eficientes de controle, erradicação e epidemiologia da doença.

Palavras-chave: hanseníase; biossensores eletroquímicos;

## 1. INTRODUÇÃO

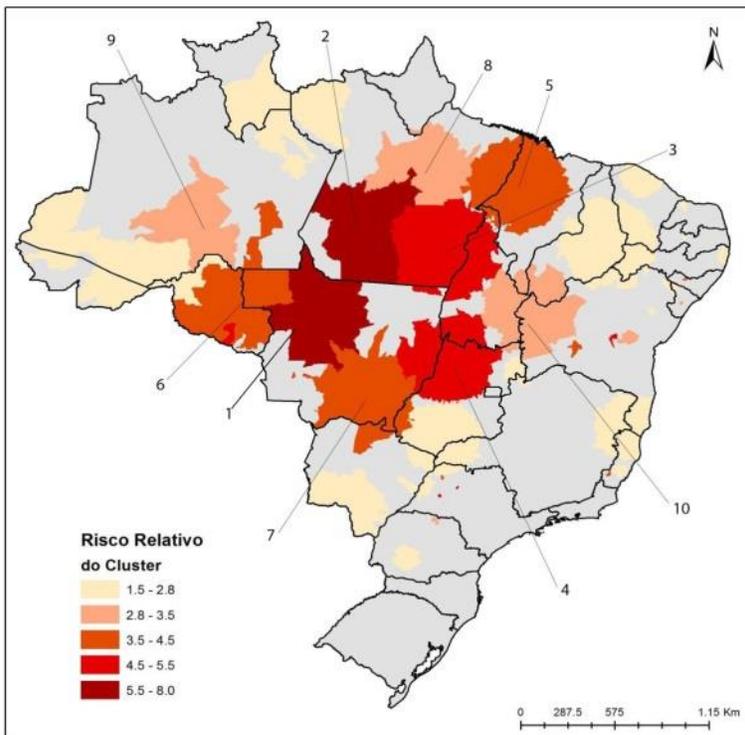
### 1.1. CONTEXTUALIZANDO O PROBLEMA DA HANSENÍASE NO MARANHÃO

O Maranhão é o segundo estado do Brasil em detecção de casos novos de hanseníase, com uma taxa 53,91 casos/100 mil habitantes e, ainda, apresenta o maior índice de prevalência da hanseníase, considerando os estados da região Nordeste (BRASIL, 2018). Por isso, o Maranhão é considerado como uma região de alta endemia, sendo agrupado em um dos 10 “*clusters*” de alto risco para a hanseníase no Brasil (WHO, 2014), conforme apresentado na Figura 1.

Nos anos de 2010, a capital do estado registou 60,1 casos novos para 100.000 habitantes; enquanto que Imperatriz, a segunda maior cidade do Maranhão, apresentou, no mesmo ano, um coeficiente de detecção de 137,5 casos para cada 100.000 habitantes (PINHO et al., 2015).

Esses dados epidemiológicos reforçam a importância do controle da hanseníase no estado do Maranhão e uma das formas mais efetivas de estratégias de controle consiste em propiciar um diagnóstico rápido e que atinja um amplo espectro populacional.

Figura 1: Análise de agrupamento (*clusters*) da taxa média de detecção da hanseníase no Brasil entre 2011-2013.



Fonte: [http://www.who.int/lep/resources/Cluster\\_analysis/en/](http://www.who.int/lep/resources/Cluster_analysis/en/)

## 1.2. DIAGNÓSTICO PRECOZE COMO ESTRATÉGIA DE CONTROLE

O diagnóstico da hanseníase é clínico, baseado na *anamnese* do paciente e exame dermatoneurológico, com a finalidade de identificar lesões na epiderme, áreas com modificações de sensibilidade e comprometimento motor (CRUZ et al., 2017). Paralelamente, exames laboratoriais são essenciais para confirmação e classificação correta da maioria dos casos suspeitos que inclui, especialmente, a análise dos índices de baciloscopia do esfregaço dérmico. Porém, a baciloscopia consiste em uma técnica invasiva e com baixa sensibilidade, especialmente para a

forma tuberculoide da doença, onde os bacilos são raros ou ausentes (EICHELMANN; GONZÁLEZ, 2013).

Mais recentemente, a utilização da Reação em Cadeia da Polimerase (PCR) para amplificação do DNA de *Mycobacterium leprae*, que eventualmente está presente em amostras de esfregaço dérmico, biópsias de pele e nervo, pode representar um indicador de infecção muito preciso na hanseníase, sendo, portanto, um teste laboratorial complementar (MARTINEZ et al., 2014).

Alguns testes sorológicos têm sido empregados como métodos de diagnóstico complementar como, por exemplo, a detecção de anticorpos anti-PGL-1 (Glicolípido Fenólico-1) por ELISA (Ensaio de Imunoabsorção Enzimática). A comprovação da especificidade do PGL-1 possibilitou grandes inovações no diagnóstico sorológico da hanseníase, com o uso dessa molécula, nativa ou sintética, em ensaios sorológicos, que tem auxiliado no monitoramento de contatos e no diagnóstico precoce de infecções subclínicas (DE MOURA et al., 2008; BAZAN-FURINI et al., 2011).

Porém, torna-se importante desenvolver plataformas que permitam o monitoramento rápido da hanseníase em campo, como os testes rápidos. Essas plataformas não definem o diagnóstico, mas são extremamente úteis para o monitoramento de grandes populações em área de endemia, como no Maranhão.

### 1.3. ALTERNATIVAS PARA O DIAGNÓSTICO RÁPIDO: SENSORES BIOLÓGICOS

Um biossensor é definido como um dispositivo que contém um material biológico sensível imobilizado a um transdutor, produzindo um valor quantitativo através de sinais elétricos, térmicos ou ópticos, proporcional à concentração do analito em questão (THÉVENOT et al., 2001). Assim, os biossensores apresentam três componentes principais: o elemento de reconhecimento biológico, o qual identifica o estímulo; o transdutor, que converte o estímulo em sinal mensurável e o sistema de processamento de dados, que envolve a amplificação e a exibição dos dados em um formato apropriado (PERUMAL; HASHIM, 2014). Atualmente,

já existem eletrodos comerciais impressos, bem como potenciostatos (transdutores) portáteis acoplados a sistemas computacionais em *tablets* e *smartphones*, o que facilita a aplicação desse tipo de tecnologia em plataformas de monitoramento rápido de doenças infecciosas.

Nesse sentido, a estratégia do projeto foi desenvolver biossensores, utilizando antígenos sintéticos desenvolvidos pelo próprio grupo de pesquisa, para o diagnóstico rápido da hanseníase, sendo medida diretamente a interação entre anticorpos específicos dos indivíduos e o antígeno de escolha, a partir de amostras de sangue e saliva.

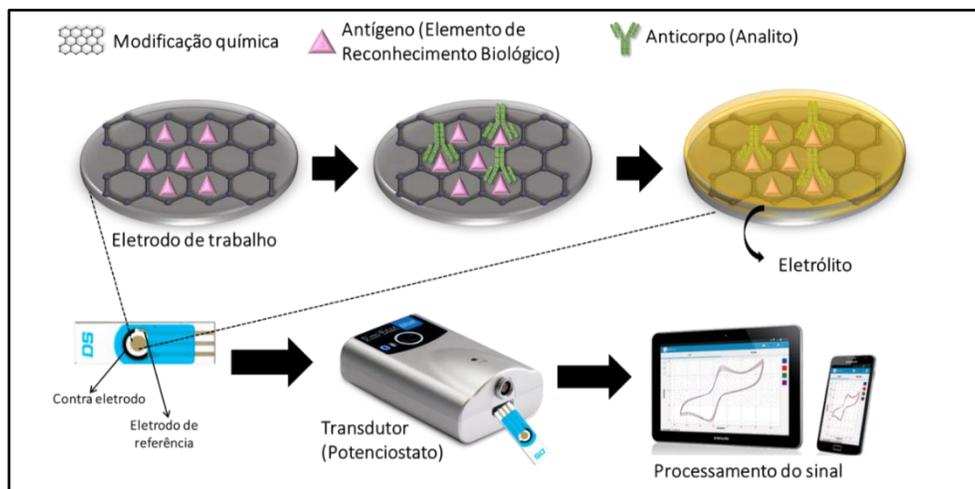
## 2. METODOLOGIA

### 2.1 COMO O NOSSO BIOSENSOR FOI CONSTRUÍDO?

Foram utilizados eletrodos impressos de carbono (SPCE) no modelo DS110 DropSens<sup>®</sup>, contendo os eletrodos de trabalho (4 mm de diâmetro) e auxiliar de carbono, eletrodo de referência de prata. O Potenciostato utilizado para controlar as diferenças de potencial elétrico foi o modelo Em Stat Blue da PalmSens<sup>®</sup> com conector para eletrodo impresso, sendo um potenciostato portátil e com um *software* de processamento de dados que permite a leitura em *tablets* e *smartphones*.

A superfície do eletrodo de trabalho foi funcionalizada quimicamente e modificada com o peptídeo sintético obtido e patenteado pelo nosso grupo de pesquisa. A varredura inicial foi obtida por voltametria cíclica ou pulso diferencial, utilizando o par redox ferro/ferricianeto de potássio. O bloqueio da superfície foi realizado utilizando BSA (albumina do soro bovino). As amostras sanguíneas ou salivares de pacientes com hanseníase multibacilares (possuem grande quantidade do *Mycobacterium leprae*) e controles endêmicos (indivíduos que vivem em área de endemia, mas relatam nunca terem tido contato com pacientes com hanseníase) foram adicionadas, em eletrodos distintos, com o peptídeo previamente imobilizado e a varredura realizada por voltametria cíclica ou pulso diferencial. O processo completo da imobilização do peptídeo até a leitura da amostra tem duração de aproximadamente 2 horas. A síntese da construção do sensor é apresentada na Figura 2.

Figura 2. Representação esquemática do biossensor eletroquímico.

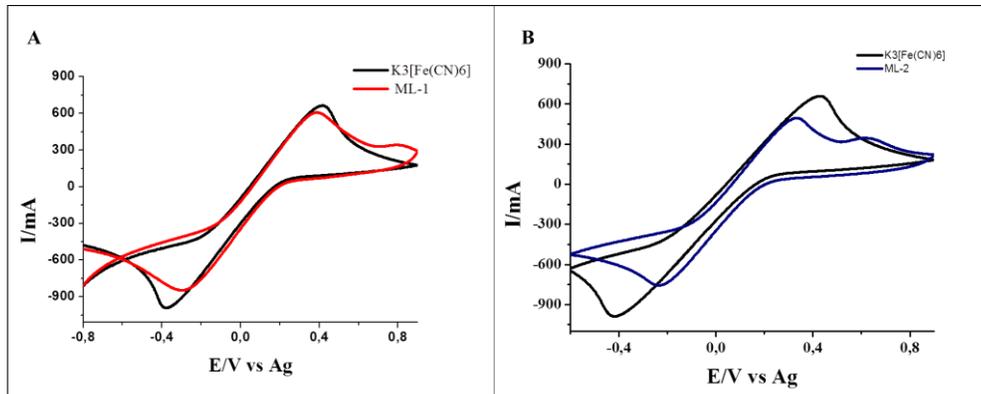


Fonte: próprio autor.

### 3. RESULTADOS OBTIDOS COM O PROJETO

Os primeiros resultados referem-se à imobilização, no eletrodo printado, dos dois peptídeos sintéticos utilizados no projeto, aqui denominados ML-1 e ML-2, conforme representado na Figura 3. A imobilização dos peptídeos na superfície do eletrodo é confirmada pela diminuição do pico de oxidação e redução comparada ao ferricianeto de potássio, que foi utilizado como eletrólito de referência. A Figura 3 apresenta um gráfico do tipo voltamograma, obtido a partir da análise de voltametria cíclica, onde se observa um deslocamento da corrente após a imobilização do peptídeo. Esse resultado está indicado pela linha vermelha do gráfico para o peptídeo ML-1 (Figura 3A) e pela linha azul para o peptídeo ML-2 (Figura 3B).

Figura 3: Voltamograma após imobilização do peptídeo. Linha preta indica a leitura apenas com ferricianeto de potássio-  $K_3[Fe(CN)_6]$ . Linha vermelha em A indica a leitura após imobilização do ML-1. Linha azul em B indica a leitura após imobilização do ML-2.



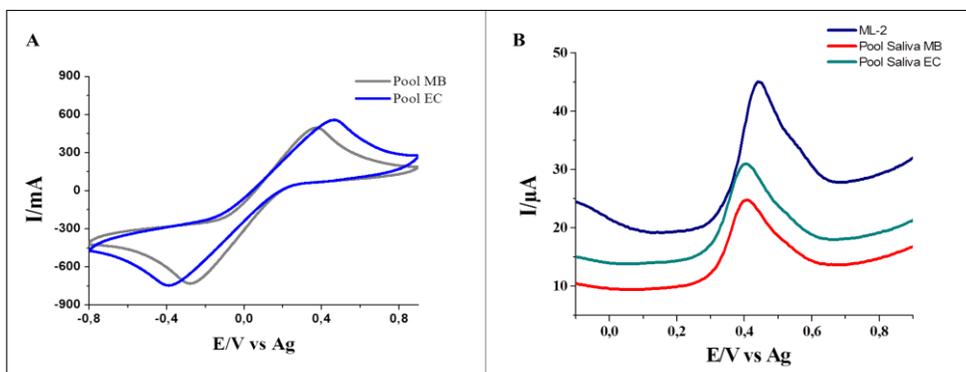
Fonte: próprio autor.

Após a imobilização do peptídeo, apresentamos o resultado onde mostra a distinção entre as amostras biológicas de indivíduos doentes (pacientes com hanseníase multibacilares) e indivíduos não doentes (controles endêmicos). A Figura 4A apresenta o resultado utilizando o peptídeo ML-1 com amostras sorológicas (obtidas do sangue) em um gráfico de voltametria cíclica, onde é possível observar a redução no tipo de oxidação no grupo de pacientes com hanseníase multibacilares em comparação com os indivíduos do grupo controle endêmicos, reforçando que o biossensor desenvolvido nesse projeto consegue diferenciar indivíduos que foram expostos à infecção pelo *Mycobacterium leprae* daqueles indivíduos não expostos.

A Figura 4B demonstra resultados semelhantes utilizando o peptídeo ML-2 com amostras de saliva dos indivíduos avaliados. Nesse caso, o gráfico de voltametria de pulso diferencial também revela a nítida diferenciação entre os pacientes com hanseníase multibacilares e os controles endêmicos. Nesse caso, temos um resultado inicial muito promissor considerando que a amostra biológica utilizada é menos

invasiva e mais compatível com aplicações desse biossensor em avaliações de indivíduos no campo.

Figura 4: Gráficos comparativos de pacientes com hanseníase e indivíduos controles. Em A são apresentados os resultados para o peptídeo ML-1, onde a linha cinza corresponde amostras de pacientes com hanseníase multibacilares (*pool*/MB) e a linha azul à amostras de pacientes controles endêmicos (*pool*/EC). Em B temos os resultados para o peptídeo ML-2, onde a linha azul representa a leitura após a imobilização do peptídeo ML-2, a linha verde às amostras de controles endêmicos (*pool*/saliva MB) e a linha vermelha às amostras de pacientes com hanseníase (*pool*/saliva MB).



Fonte: próprio autor.

#### 4. CONCLUSÕES

Com esse projeto foi possível desenvolver o primeiro protótipo de dois biossensores eletroquímicos para detecção de anticorpos (imunossensor) em indivíduos com hanseníase. Essa plataforma é bastante promissora para ser aplicada no monitoramento rápido da hanseníase, especialmente em áreas de grande endemia como no estado do Maranhão, considerando a possibilidade de um dispositivo portátil, rápido e barato, que pode ser utilizado no campo. Estima-se que no futuro esse tipo de dispositivo possa ser utilizado em campanhas e postos de saúde para

realizar um “*screening*” de indivíduos que foram expostos ao *Mycobacterium leprae*, funcionando como um marcador de infecção, especialmente para grupos de risco, como os contatos domiciliares. Além disso, a utilização de fluidos biológicos, como a saliva, auxilia nessa abordagem de monitoramento rápido, considerando que a coleta desse material biológico não é invasiva.

Porém, precisamos ressaltar que estes resultados são ainda iniciais e que existe a necessidade de validar esses biossensores em um número maior de amostras, utilizando pacientes com diferentes formas clínicas da hanseníase e também indivíduos que são contatos domiciliares, de maneira a ampliar o tamanho de amostras avaliadas e definir a robustez da plataforma.

## REFERÊNCIAS

BAZAN-FURINI, Renata et al. Early detection of leprosy by examination of household 319 contacts, determination of serum anti-PGL-1 antibodies and consanguinity. *Memórias 320 do Instituto Oswaldo Cruz*, v. 106, n. 5, p. 536-540, 2011.

CRUZ, R. C. DA S. et al. Leprosy: Current situation, clinical and laboratory aspects, treatment history and perspective of the uniform multidrug therapy for all patients. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, v. 92, n. 6, p. 761-773, 2017.

DE MOURA, R. S. et al. Sorologia da hanseníase utilizando PGL-I: Revisão sistemática. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, v. 41, n. SUPPL. 2, p. 11-18, 2008.

EICHELMANN, K.; GONZÁLEZ, S. E. G. Leprosy . An Update : Definition , Pathogenesis , Classification , Diagnosis , and Treatment &. v. 104, n. 7, p. 554-563, 2013.

MARTINEZ, A. N. et al. PCR-Based Techniques for Leprosy Diagnosis: From the Laboratory to the Clinic. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, v. 8, n. 4, p. 1-8, 2014.

PERUMAL, V.; HASHIM, U. Advances in biosensors: Principle, architecture and applications. *Journal of Applied Biomedicine*, v. 12, n. 1, p. 1-15, 2014.

PINHO, J. D. et al. Presence of *Mycobacterium leprae* DNA and PGL-1

antigen in household contacts of leprosy patients from a hyperendemic area in Brazil. *Genet Mol Res*, v. 14, p. 14479-14487, 2015.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Boletim Epidemiológico - Hanseníase. v. 1, p. 0-11, 2018.

THÉVENOT, D. R. et al. Electrochemical biosensors: Recommended definitions and classification. *Biosensors and Bioelectronics*, v. 16, n. 1-2, p. 121-131, 2001.



## CAPÍTULO 02

# ATENÇÃO BÁSICA EM SAÚDE E MORTALIDADE INFANTIL NO BRASIL AO LONGO DO SÉCULO XXI: UMA ABORDAGEM COM ÊNFASE NO MARANHÃO

Erika Bárbara Abreu Fonseca Thomaz<sup>1</sup>  
Amanda Namíbia Pereira Pasklan<sup>2</sup>  
Rejane Christine de Souza Queiroz<sup>1</sup>  
Thiago Augusto Hernandes Rocha<sup>3</sup>  
Núbia Cristina da Silva Rocha<sup>4</sup>  
Aline Sampieri Tonello<sup>1</sup>  
João Ricardo Nickenig Vissoci<sup>4</sup>  
Elaine Thumé<sup>5</sup>  
Luiz Augusto Facchini<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Maranhão. Departamento de Saúde Pública. Programa de Pós-Graduação em Saúde Coletiva. São Luís, MA, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Maranhão. Programa de Pós-Graduação em Saúde Coletiva. São Luís, MA, Brasil.

<sup>3</sup> Organização Pan-Americana de Saúde. Brasília, DF, Brasil.

<sup>4</sup> Duke University. Durham, North Caroline, EUA.

<sup>5</sup> Universidade Federal de Pelotas. Departamento de Saúde Coletiva. Programa de Pós-Graduação em Enfermagem. Pelotas, RS, Brasil.

<sup>6</sup> Universidade Federal de Pelotas. Departamento de Medicina Social. Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia. Pelotas, RS, Brasil.

## RESUMO

A redução da taxa de mortalidade infantil (TMI) é um grande desafio para países em desenvolvimento. Apesar da tendência e declínio, no Brasil, a TMI continua elevada e se compara a de países desenvolvidos no final da década de 70. O estudo teve por objetivos: 1) Avaliar a evolução da TMI no Brasil, segundo regiões e unidades federativas, de 2000 a 2016; 2) Identificar evidências sobre o impacto da atenção primária à saúde na redução da TMI. Trata-se de um estudo ecológico de série temporal. Foram utilizados dados secundários de todos os municípios brasileiros, do Nordeste e do Maranhão. Os dados foram obtidos dos sítios do Instituto

Brasileiro de Geografia e Estatística, do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde, do Departamento de Atenção Básica, da avaliação externa do Programa de Melhoria do Acesso e Qualidade da Atenção Básica (PMAQ-AB) e Monitoramento da Implantação e Funcionamento das Equipes de Saúde da Família. No Brasil, houve uma redução de 40,20% da TMI entre os anos 2000 e 2016, passando de 21,27 para 12,72 óbitos por mil nascidos vivos. No Nordeste, a redução foi de 45,49% (26,51 para 14,45 óbitos por mil nascidos vivos) e no Maranhão foi de 20,39% (18,83 para 14,99 óbitos por mil nascidos vivos). As principais causas de óbitos se mantiveram no período de 16 anos, no Brasil, Nordeste e Maranhão, que foram: afecções originadas no período perinatal e malformação congênita, deformidades e anomalias cromossômicas. No Maranhão, a TMI foi associada às variáveis: renda per capita, proporção de UBS com organização da referência para o parto, taxa de desemprego, índice de acessibilidade, estratificação do desempenho em saúde e infraestrutura das UBS. Conclui-se que houve uma crescente redução da TMI, de 2000 a 2016, no Brasil, mesmo nas regiões menos desenvolvidas. As principais causas de óbitos infantis foram por eventos preveníveis. A efetivação de políticas de atenção primária em saúde que favoreçam o acesso e qualidade dos serviços poderá favorecer o alcance das metas de saúde infantil propostas pelas Nações Unidas até o ano 2030.

Palavras-chave: Epidemiologia. Mortalidade Infantil. Atenção Primária à Saúde. Serviços de Saúde.

## 1 APRESENTAÇÃO

A mortalidade na infância (em menores de cinco anos) e a mortalidade infantil (em menores de um ano) são mundialmente monitoradas e representam alguns dos principais indicadores de desenvolvimento socioeconômico de uma população (UNICEF, 2018). Em 2000, a Organização das Nações Unidas (ONU) propôs oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), com metas a alcançar até 2015, para orientar os esforços de 191 nações signatárias, incluindo o Brasil (ONU, 2006). Para o objetivo número quatro se estabeleceu reduzir a mortalidade na infância em 2/3, entre 1990 e 2015. Nesse período, houve redução de 53% da taxa de mortalidade nas crianças menores de cinco anos no mundo, portanto, abaixo da meta, mas o Brasil alcançou a meta. A expressiva redução da pobreza, aumento da escolaridade, da oferta de emprego e do

saneamento básico nas últimas duas décadas contribuíram para a melhoria dos indicadores de saúde brasileiros. Houve, também, grande aumento da oferta de serviços de saúde básicos para a população brasileira. Organizações internacionais apontam o Programa Bolsa Família, a Estratégia Saúde da Família (ESF) e o Programa Nacional de Imunização dentre as principais políticas públicas responsáveis pela redução dos óbitos infantis no país. Porém, apesar dos avanços e da redução significativa das taxas de mortalidade em menores de cinco anos no Brasil, os óbitos em menores de um ano (mortalidade infantil) ainda não estão dentro dos parâmetros recomendados pela Organização Mundial de Saúde - OMS (até 10 óbitos em menores de um ano a cada 1000 nascidos vivos). As taxas de mortalidade permanecem elevadas especialmente nas populações mais pobres e desassistidas, evidenciando ainda grandes iniquidades no país. Nesse contexto, o estado do Maranhão, mesmo tendo apresentado significativa melhora em indicadores socioeconômicos, ainda está entre as 10 unidades da federação com maior taxa de mortalidade infantil (TMI). Neste capítulo, apresentamos a hipótese de que problemas no acesso e na qualidade dos serviços de saúde na Atenção Básica são fatores relacionados à persistência de altas taxas de mortalidade infantil no Brasil e no Maranhão.

## 2 MORTALIDADE INFANTIL E SERVIÇOS DE SAÚDE NO SÉCULO XXI

A mortalidade infantil, definida como a morte de crianças menores de um ano, apresenta dois componentes: i) mortalidade neonatal precoce e tardia; e ii) mortalidade pós-neonatal. A mortalidade neonatal precoce refere-se aos óbitos ocorridos no período de tempo entre o nascimento e o 6º dia de vida; a neonatal tardia, do 7º ao 27º dia; e a mortalidade pós-neonatal, do 28º ao 364º dia de vida (BRASIL, 2009).

Entre 1990 e 2015, registraram-se quedas nas TMI no Brasil. Houve decréscimo de 29,01% entre 1930 e 1970, passando de 162 para 115 óbitos por mil nascidos vivos. Nas duas décadas seguintes, houve uma queda de 58,3%, diminuindo de 115 para 48 óbitos por mil nascidos vivos. No período de 1990 a 2015, observou-se uma redução ainda maior: 71,3%, passando de 47,1 para 13,5 óbitos em menores de um ano por mil nascidos vivos,

considerada uma das maiores quedas registradas no mundo (LEAL et al., 2018). Estas taxas, porém, continuam elevadas se comparadas às de países desenvolvidos no final da década de 70 (LEAL et al., 2018; ORTEGA; SANJUÁN; CASQUERO, 2017; COLLISON, 2016; LANSKY; FRANÇA; LEAL, 2002). Além disso, há evidências de que após 2015, com as políticas de austeridade fiscal no Brasil, estas taxas voltaram a crescer (COLLUCCI, 2018; RASELLA et al., 2018).

Ao associar esses fatores às desigualdades de direitos, como as diferentes formas de acesso aos serviços de saúde, saneamento básico, alimentação, educação e emprego, evidenciam-se diferentes probabilidades de uma criança vir a morrer antes de completar seu primeiro ano de vida (BITTENCOURT et al., 2014).

A mortalidade infantil é, portanto, um dos principais indicadores de desenvolvimento socioeconômico e de condições de saúde dos países, geralmente decorrente de fatores evitáveis (KUMAR et al., 2013; SINGH; KUMAR; KUMAR, 2013). Assim, políticas públicas foram implantadas para diminuir a TMI, como o incentivo da queda da fecundidade, especialmente na década de 1980, e, mais recentemente, a implantação de programas de transferência condicionada de renda, como o Bolsa Família, e a expansão de serviços de saúde na Atenção Básica, como a ESF (AQUINO; OLIVEIRA; BARRETO, 2009; BRASIL, 2005).

A Atenção Básica no Brasil é orientada pelos atributos de longitudinalidade, integralidade, coordenação do cuidado, primeiro contato (ou porta de entrada preferencial no sistema), enfoque na pessoa (não na doença) e na família, orientada à comunidade de modo a valorizar os aspectos culturais (BRASIL, 2011b; STARFIELD, 2002). É caracterizada por um conjunto de ações, que ocorrem a nível individual e coletivo, com o objetivo de promover, reabilitar e manter a saúde, além de prevenir, diagnosticar e tratar agravos. O trabalho desenvolvido por uma equipe multidisciplinar é direcionado a populações de territórios delimitados, com responsabilidade sanitária e atividades realizadas de acordo com o perfil epidemiológico da população local (BRASIL, 2012).

As mortes infantis têm uma relação com fatores como pobreza, desigualdade social, prematuridade, cesariana, asfixia e infecções

ocasionadas por condições que poderiam ser controladas com ações eficientes e efetivas no período pré-natal, na atenção ao período do parto e nos cuidados imediatos ao recém-nascido (SLINKARD et al., 2018; MAGE; DONNER; HOLMES, 2018; LI et al., 2018; BITTENCOURT et al., 2014; JONES et al., 2003). Para seu enfrentamento, trata-se de buscar os fatores multidimensionais envolvidos, abordando os diferentes níveis de atenção para identificar as melhores práticas a serem realizadas em cada contexto.

Há evidências que sustentam a necessidade de melhorias no acesso e na qualidade da atenção dos serviços da Atenção Básica como forma de contribuir para a diminuição dos óbitos infantis (SLINKARD et al., 2018; LEAL et al., 2018; BLACK et al., 2017; KARRA; FINK; CANNING, 2016; SAUVEGRAIN; RICO-BERROCAL; ZEITLIN, 2016; GORGOT et al., 2011; MALTA et al., 2010; SHI et al., 2004; LANSKY; FRANÇA; LEAL, 2002). Tais evidências, porém, são oriundas de estudos de revisão da literatura (LEAL et al., 2018; BLACK et al., 2017; PERRY et al., 2017) realizados em outros países (SLINKARD et al., 2018; KARRA; FINK; CANNING, 2016; SAUVEGRAIN; RICO-BERROCAL; ZEITLIN, 2016) com amostra pequena e sem representatividade nacional (GORGOT et al., 2011) ou de notas técnicas (BRASIL, 2015; BRASIL, 2014; MALTA et al., 2010) com diferentes métodos de avaliação dos serviços de saúde.

Recentemente, o Ministério da Saúde implementou no Brasil o Programa de Melhoria do Acesso e da Qualidade da Atenção Básica (PMAQ-AB) uma proposta que avaliou a estrutura, o processo de trabalho e a satisfação do usuário do SUS nas Unidades Básicas de Saúde (UBS) de todas as regiões do Brasil (BRASIL, 2011a; BRASIL, 2015). Vários trabalhos já foram publicados com esses dados (CHAVES et al., 2018; SOUZA et al., 2017; TOMASI et al., 2017; REIS et al., 2017; PROTASIO et al., 2017; FAUSTO et al., 2017; NEVES et al., 2017). Até o momento, porém, não identificamos estudos que investigassem o papel dos serviços de saúde na redução da mortalidade infantil, com base nesses dados de abrangência nacional.

É possível que o acesso e a qualidade da assistência ao pré-natal e pós-natal ao recém-nascido ofertados na Atenção Básica influenciem as principais causas de mortes em menores de um ano. É sensato, portanto, considerar a hipótese de que locais com melhores condições da estrutura

da UBS e do processo de trabalho dos profissionais das equipes de Atenção Básica apresentem redução mais acentuada nas TMI.

Um dos estados brasileiros com maiores TMI, porém com grande redução entre 1990 e 2015, foi o Maranhão, passando de 76,6 (em 1990) para 16,06 (em 2015) óbitos a cada 1000 nascidos vivos, com redução média de 79,1% no período (PASKLAN, 2018). O estado apresenta baixos indicadores de desenvolvimento social. Nenhum dos municípios tem Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) muito alto, apenas quatro (1,87%) têm IDH alto, a maioria tem IDH médio (25,34%) ou baixo (70,96%) e quatro apresentaram IDH muito baixo em 2010.

Assim, evidencia-se a necessidade de avaliar a disponibilidade de recursos humanos, insumos e outros elementos estruturais e do processo de trabalho como potenciais fatores associados à redução da mortalidade infantil no Maranhão, comparado ao Nordeste e ao Brasil. O conhecimento do impacto da Atenção Básica sobre a mortalidade infantil direciona investimentos voltados para as políticas e os programas de saúde materno-infantil, direcionando os esforços de modo a potencializar os investimentos.

Os objetivos deste estudo foram: 1) Descrever as tendências nos indicadores de mortalidade infantil, discutindo as principais causas de óbito em menores de um ano no Brasil, região Nordeste e Maranhão; e 2) Analisar a associação de características da Atenção Básica com a mortalidade infantil.

### 3 MÉTODOS

Foi realizado um estudo ecológico, descritivo e analítico, utilizando diferentes bases de dados. A etapa descritiva considerou dados longitudinais (2000 a 2016) sumarizados para o estado do Maranhão, região Nordeste e Brasil. A etapa analítica utilizou dados transversais (2014), por ocasião da realização do segundo ciclo do PMAQ-AB, agregados para o nível do município. As variáveis socioeconômicas, demográficas, de cobertura dos serviços de saúde da Atenção Básica,

estrutura das UBS e processo de trabalho das equipes da Atenção Básica, bem como a fonte e o período da coleta estão sintetizados no Quadro 1.

Foram selecionadas todas as equipes participantes do PMAQ-AB (n=30522), distribuídas em Unidades Básicas de Saúde (UBS) em 5077 municípios brasileiros. Perdas por incompletude dos dados levaram a uma amostra final de 29778 equipes de Atenção Básica, em 24055 UBS, distribuídos em 5011 municípios.

Os dados relacionados às taxas de mortalidade foram obtidos junto ao Sistema de Informação de Mortalidade (SIM) disponível no Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), compreendendo o período de 2000 a 2015. Dados econômicos e demográficos foram obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e os dados e demandas de serviço foram obtidos com o DATASUS.

Foram consideradas as seguintes variáveis: proporção de menores de cinco anos, número de nascidos vivos, taxa de analfabetismo, renda per capita, taxa de desemprego, proporção de parto vaginal e proporção de parto hospitalar. Mais detalhes sobre as fontes dos dados, períodos e classificação das variáveis são apresentados no Quadro 1. As variáveis referentes à equipe mínima, equipamentos e materiais, insumos, imunobiológicos e testes diagnósticos foram agrupadas segundo a média em um escore, denominado *infraestrutura*, que serviu como parâmetro de estrutura das UBS, nas quais as equipes de saúde estavam alocadas.

As variáveis de horário mínimo de funcionamento, funcionar em dois turnos, visita domiciliar, educação permanente e coordenação do cuidado foram agrupadas de forma semelhante em um escore, denominado *disponibilidade*, para evidenciar a disponibilidade da rede de cuidado.

Um *índice de acessibilidade à rede de emergência* foi obtido junto ao trabalho desenvolvido por Rocha et al. (2017) que analisou a acessibilidade a serviços de alta complexidade em todo o território brasileiro, utilizando metodologias de geoprocessamento. Os dados referentes à classificação dos municípios brasileiros para fins de avaliação de desempenho de serviços de saúde foram obtidos no trabalho de Calvo et al. (2016). Essa

classificação permitiu agrupar os municípios brasileiros segundo uma série de fatores determinantes para a avaliação de políticas em saúde, com foco em desempenho. Tal abordagem permitiu estratificar os municípios do país segundo parâmetros de similitude e, assim, tecer comparações entre municípios com características mais próximas.

As variáveis referentes à promoção da saúde e planejamento familiar foram agregadas em um escore relacionado às *ações de promoção da saúde e planejamento familiar*. As demais variáveis (referência para o parto, consulta no pré-natal e consulta de puericultura) foram mantidas nas análises sem agrupamento.

Para análise do comportamento da TMI ao longo dos anos 2000 a 2016, foram confeccionados gráficos no Programa Excel-Microsoft®. O gráfico de linha foi utilizado para detalhar a tendência da taxa no Brasil, Nordeste e Maranhão. As taxas de mortalidade foram apresentadas e classificadas em três cores: taxas com valor menor ou igual a 10 óbitos por 1000 nascidos vivos são consideradas aceitáveis de acordo com a Organização Mundial de Saúde (destacadas em verde), entre 10 e 20 (amarela) e acima de 20 (vermelha).

Para analisar associações entre os diferentes aspectos da oferta de serviços de Atenção Básica e determinantes sociais com as tendências temporais de mortalidade infantil no país, foram realizadas: 1) análise de clusterização espacial, baseada na abordagem diferencial da estatística local de I de Moran (ANSELIN, 1995). As análises de clusterização foram realizadas no software GEODA (ANSELIN; SYABRI; KHO, 2010).

Quadro 1. Variáveis do estudo.

INDICADOR	CÁLCULO	FONTE	PERÍODO
<b>VARIÁVEIS SOCIOECONÔMICAS E DEMOGRÁFICAS</b>			
Nº de nascidos vivos	Nº absoluto de nascidos vivos	DATASUS	2002 e 2014
Taxa de escolaridade	$\frac{\text{Nº de indivíduos de 15 anos e + de idade, segundo grupos de anos de estudo} \times 100}{\text{População total com 10 anos e mais}}$	IBGE	2000 e 2010
PIB per capita (R\$)	$\frac{\text{Produto Interno Bruto (PIB)}}{\text{Total da população}}$	IBGE	2002 e 2013
Renda per capita (R\$)	$\frac{\text{Renda familiar}}{\text{Nº de moradores de uma residência}}$	IBGE	2000 e 2010
GINI per capita	Fórmula de Brown <sup>14</sup>	IBGE	2000 e 2010
Taxa de desemprego	$\frac{\text{Nº de desempregados em um ano} \times 100}{\text{Total da população ativa}}$	IBGE	2000 e 2010
<b>COBERTURA DE SERVIÇOS DE SAÚDE</b>			
Cobertura de Estratégia Saúde da Família	$\frac{\text{Nº da população cadastrada da ESF} \times 100}{\text{Total da população}}$	DAB	2002 e 2014
Cobertura de Estratégia Agente Comunitário de Saúde	$\frac{\text{Nº da população cadastrada da EACS} \times 100}{\text{Total da população}}$	DAB	2002 e 2014
<b>ESTRUTURA</b>			
% UBS que possui horário de funcionamento adequado <sup>1</sup>	$\frac{\text{Nº de UBS com funcionamento mínimo adequado} \times 100}{\text{Total de UBS no município}}$	Survey/PMAQ-AB	2002 e 2014
% UBS que possui o nº mínimo de profissionais por equipe <sup>2</sup>	$\frac{\text{Nº de UBS com equipe mínima} \times 100}{\text{Total de UBS no município}}$	Survey/PMAQ-AB	2002 e 2014
% UBS com equipamento básico para consulta pré-natal e pediátrica <sup>3</sup>	$\frac{\text{Nº de UBS com equipamento básico} \times 100}{\text{Total de UBS no município}}$	Survey/PMAQ-AB	2002 e 2014
% UBS com insumos básicos para consulta pré-natal e pediátrica <sup>4</sup>	$\frac{\text{Nº de UBS com insumos básicos} \times 100}{\text{Total de UBS no município}}$	Survey/PMAQ-AB	2002 e 2014
% UBS com teste rápido para gravidez, sífilis e HIV <sup>5</sup>	$\frac{\text{Nº de UBS com testes rápidos} \times 100}{\text{Total de UBS no município}}$	Survey/PMAQ-AB	2002 e 2014
% UBS com as vacinas hepatite B, DT e Influenza <sup>6</sup>	Nº de UBS que dispõe das vacinas Hepatite B, DT e Influenza no calendário vacinal básico x100	Survey/PMAQ-AB	2002 e 2014

% UBS com medicamentos básicos existentes <sup>7</sup>	$\frac{\text{Total de UBS no município}}{\text{Nº de UBS que dispõe dos medicamentos básicos} \times 100}$	Survey/ PMAQ- AB	2002 e 2014
<b>PROCESSO DE TRABALHO</b>			
% UBS com ações de Educação Permanente (EP) <sup>8</sup>	$\frac{\text{Nº de UBS que realiza EP} \times 100}{\text{Total de UBS no município}}$	Survey/ PMAQ- AB	2002 e 2014
% UBS que realiza coordenação do cuidado <sup>9</sup>	$\frac{\text{Nº de UBS com coordenação do cuidado} \times 100}{\text{Total de UBS no município}}$	Survey/ PMAQ- AB	2002 e 2014
% UBS que encaminha para outros serviços de saúde <sup>10</sup>	$\frac{\text{Nº de UBS que encaminha} \times 100}{\text{Total de UBS no município}}$	Survey/ PMAQ- AB	2002 e 2014
% UBS com ações mínimas de atenção ao pré-natal, parto e puerpério <sup>11</sup>	$\frac{\text{Nº de UBS com ações mínimas de atenção pré-natal, parto e puerpério} \times 100}{\text{Total de UBS no município}}$	Survey/ PMAQ- AB	2002 e 2014
% UBS que realiza consulta de puericultura	$\frac{\text{Nº de UBS que realiza consulta de puericultura} \times 100}{\text{Total de UBS no município}}$	Survey/ PMAQ- AB	2002 e 2014
% UBS com ações de promoção da saúde <sup>12</sup>	$\frac{\text{Nº de UBS com promoção da saúde} \times 100}{\text{Total de UBS no município}}$	Survey/ PMAQ- AB	2002 e 2014
% UBS que realiza com frequência visita domiciliar <sup>13</sup>	$\frac{\text{Nº de UBS com visita domiciliar} \times 100}{\text{Total de UBS no município}}$	Survey/ PMAQ- AB	2002 e 2014
% UBS com ações de planejamento familiar	$\frac{\text{Nº de UBS com planejamento familiar} \times 100}{\text{Total de UBS no município}}$	Survey/ PMAQ- AB	2002 e 2014
<b>IMPACTO</b>			
Taxa de mortalidade infantil (TMI)	$\frac{\text{Nº de óbito} < 1 \text{ ano} \times 1000}{\text{Nascidos vivos}}$	DATASU S	2000- 2016
Mortalidade proporcional por grupos de causas	$\frac{\text{Nº de óbito por determinado grupo de causa} \times 1000}{\text{Total de óbitos em} < 1 \text{ ano}}$	DATASU S	2000- 2016

Fonte: elaboração própria

PMAQ-AB: Programa de Melhoria do Acesso e da Qualidade da Atenção Básica.

UBS: Unidade Básica de Saúde. DATASUS: Departamento de Informática do SUS.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

DAB: Departamento de Atenção Básica.

ESF: Estratégia Saúde da Família.

EACS: Estratégia de Agentes Comunitários de Saúde.

<sup>1</sup> Horário de funcionamento: % de UBS no município que funciona durante, pelo menos, 2 turnos ou 8 horas/dia em 5 dias da semana.

<sup>2</sup> Equipe mínima de AB: % de UBS no município que possui em média, pelo menos, 1 médico, 1 enfermeiro, 1 profissional técnico/auxiliar de Enfermagem e 4 ACS por equipe.

<sup>3</sup> Equipamentos e materiais: % de UBS no município que dispõem, em condições de uso, de pelo menos 1 aparelho de pressão adulto e aparelho pediátrico, aparelho de nebulização, balança infantil, régua antropométrica, estetoscópio pediátrico, mesa para exame clínico e termômetro clínico.

<sup>4</sup> Insumos: % de UBS no município que dispõem de agulhas descartáveis de tamanhos, caixas térmicas para vacinas e seringas descartáveis de diversos tamanhos, sempre disponíveis. <sup>5</sup> Testes rápidos: % de UBS no município que oferta testes rápidos para diagnóstico de HIV, sífilis, gravidez, sempre disponíveis.

<sup>6</sup> Vacinas: % de UBS no município que possui as vacinas Hepatite B, DT e Influenza sazonal, sempre disponíveis.

<sup>7</sup> Medicamentos componentes da farmácia básica: % de UBS no município que oferta ácido fólico e sulfato ferroso, sempre disponíveis.

<sup>8</sup> Educação permanente: % de equipes de atenção básica no município que realiza ações de educação permanente.

<sup>9</sup> Coordenação do cuidado: % de equipes de atenção básica no município que realiza ações relacionadas à coordenação do cuidado em rede.

<sup>10</sup> Referência para o parto: % de equipes de atenção básica no município que tem um serviço de referência e contra referência bem definido para o parto.

<sup>11</sup> Atenção ao pré-natal, parto e puerpério com classificação de risco: % de equipes de atenção básica no município que oferta serviço à gestante, baseados na avaliação e classificação de risco e vulnerabilidade, e atendimento à intercorrência ou urgência da gestante de alto risco.

<sup>12</sup> Promoção da saúde: % de equipes de atenção básica no município que oferta ações educativas e de promoção da saúde direcionadas a gestantes e puérperas (incluindo o aleitamento materno).

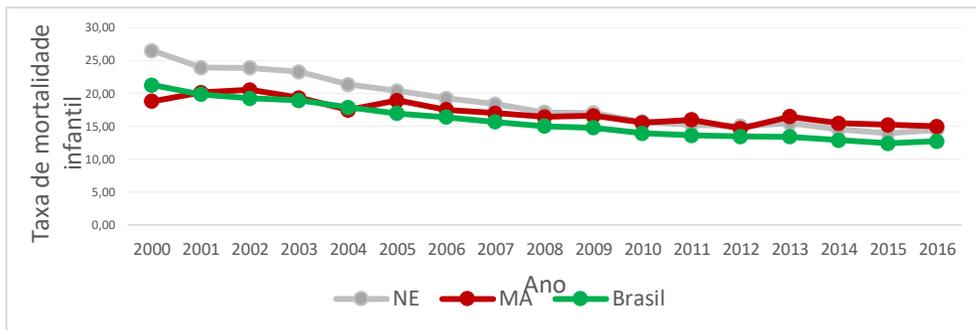
<sup>13</sup> Visita domiciliar: % de equipes de atenção básica no município onde há visita domiciliar com a presença do ACS e outro(s) profissionais.

<sup>14</sup> Índice de Gini da renda domiciliar per capita: mede o grau de concentração da distribuição de renda domiciliar per capita de uma determinada população e em um determinado espaço geográfico. Quanto mais próximo da unidade, maior a desigualdade na distribuição de renda (BRASIL, 2010).

## 4 UM PANORAMA DA MORTALIDADE INFANTIL E SERVIÇOS DE SAÚDE NO BRASIL, NORDESTE E MARANHÃO

A TMI, em menores de um ano, no Brasil apresentou redução de 40,19% entre 2000 (21,27/1000 nascidos vivos - NV) e 2016 (12,72/1000 NV). A maior proporção de redução foi observada na região Nordeste (NE) (45,49%), variando de 26,51/1000 NV em 2000 a 14,45/1000 NV em 2016; e a menor redução foi na região Centro-oeste (CO) (22,53%), variando de 17,93/1000 NV em 2000 a 13,89/1000 NV em 2015. Mesmo com as altas proporções de redução, o NE continua com a segunda maior TMI em 2015, embora as diferenças entre as regiões tenham diminuído. No Maranhão, a velocidade de redução da TMI foi menor (20,39%), passando de 18,83/1000 NV em 2000 para 14,99/1000 NV em 2016 (Figura 1).

Figura 1. Tendência da taxa de mortalidade infantil por 1000 nascidos vivos. Brasil, Nordeste e Maranhão. 2000-2016



Fonte: DATASUS (2018)

Para todos os anos estudados, as taxas de mortalidade foram acima das recomendadas pela Organização Mundial de Saúde ( $\leq 10/1000$  NV) tanto para o Brasil, como para o NE e o estado do Maranhão (Tabela 1).

Tabela 1. Taxa de mortalidade infantil por 1000 nascidos vivos. Brasil, Nordeste e Maranhão. 2000-2016.

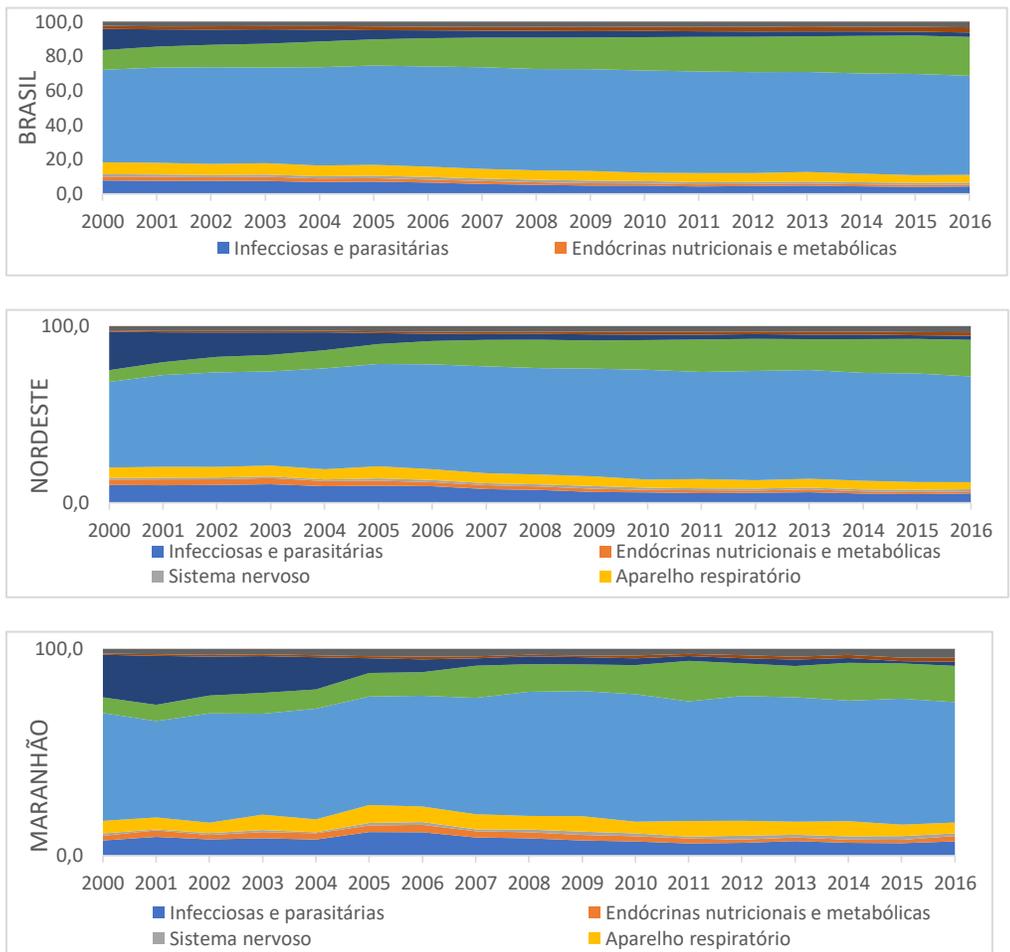
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Brasil	21.27	19.88	19.26	18.94	17.90	16.98	16.41	15.69	15.03	14.80	13.93	13.63	13.46	13.42	12.90	12.43	12.72
NE	26.51	23.93	23.88	23.30	21.36	20.40	19.26	18.39	17.14	17.03	15.69	15.28	15.05	15.48	14.54	13.97	14.45
MA	18.83	20.16	20.57	19.33	17.49	18.92	17.54	17.00	16.45	16.59	15.56	16.01	14.68	16.49	15.49	15.22	14.99

Fonte: DATASUS (2018)

As principais causas de morte em menores de 1 ano no Maranhão foram semelhantes às observadas no Nordeste e no Brasil: doenças e afecções do período perinatal em primeiro lugar (durante todo o período), seguida de malformações congênitas (cuja proporção aumentou na série, especialmente no Nordeste e Maranhão) e das doenças respiratórias. Chama atenção à redução da mortalidade proporcional por doenças

infecciosas e parasitárias no Brasil e no Nordeste, mas não no Maranhão (Figura 2).

Figura 2. Mortalidade infantil proporcional por grupo de causas (CID-10), 2000-2016.



Fonte: DATASUS (2018)

Entre 2002 e 2014 foi também possível identificar melhoria nos indicadores socioeconômicos, demográficos e da cobertura de serviço de saúde da Atenção Básica no Brasil, Nordeste e Maranhão. A taxa de desemprego e a desigualdade de renda – medida pelo índice de GINI – diminuíram no período. Além disso, aumentou a taxa de escolaridade em maiores de 15 anos, o PIB per capita e a renda per capita (Tabela 2), bem como as proporções de população com acesso às ações da Estratégia Saúde da Família (ESF) e da Estratégia de Agentes Comunitários de Saúde (EACS) (Tabela 2 e Figura 3).

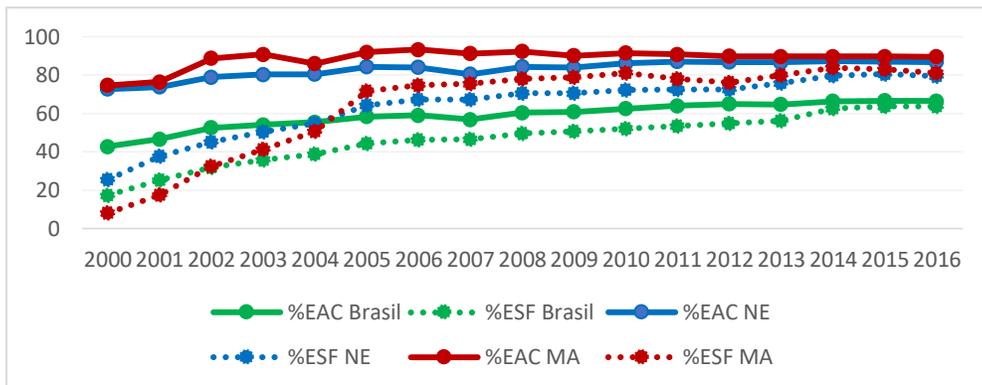
A figura 4 apresenta o cluster diferencial sobre a mortalidade infantil no período 2000 a 2015. Foram considerados significantes para análise 749 municípios. Desses, 153 municípios apresentaram alta TMI, 294 apresentaram baixa TMI 211 tiveram baixa TMI próximos a municípios com alta TMI, e 91 municípios tiveram alta TMI próximos a municípios com baixa TMI.

Tabela 2. Caracterização socioeconômica, demográfica e da cobertura de serviço de saúde da Atenção Básica. Brasil, Nordeste e Maranhão. 2002 e 2014

	Diferença das médias entre os anos 2002 e 2014		
	Brasil	NE	MA
<b>Socioeconômica e demográfica</b>			
Taxa de escolaridade de >15 anos	15,39	0,17	19,14
PIB per capita	11.438,98	5.542,41	5.869,20
Renda per capita	146,44	103,59	89,39
GINI per capita	-0,05	-0,04	-0,01
Taxa de desemprego	-4,01	-2,71	-0,22
<b>Cobertura de serviços de saúde</b>			
EACS	14,10	0,03	5,11
ESF	35,41	0,35	61,31

PIB: Produto Interno Bruto. EACS: Estratégia de Agentes Comunitários de Saúde. ESF: Estratégia Saúde da Família.

Figura 3. Evolução das proporções de cobertura populacional estimadas por ACS e ESF. Brasil, Nordeste e Maranhão. 2000-2016



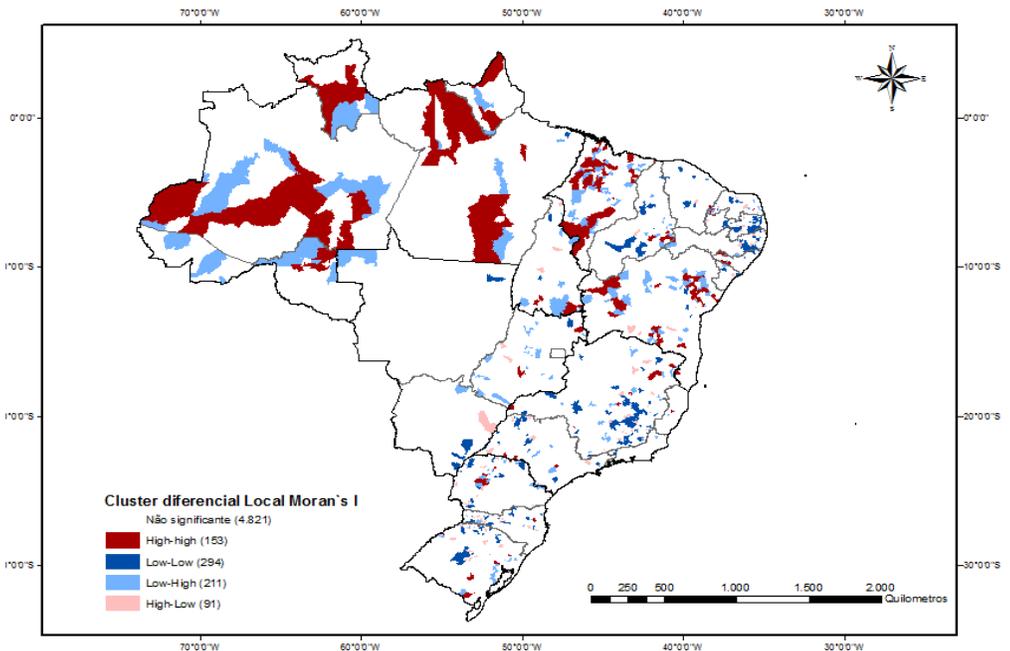
Fonte: Brasil (2018)

A situação específica do Maranhão chama atenção pela preponderância de áreas categorizadas como de clusters alto-alto (vermelhas). Esses municípios são aqueles com altas taxas de mortalidade, cercados por outros municípios também com taxas elevadas com tendência de aumento durante o intervalo analisado. Além disso, há ainda existência de municípios categorizados como baixo-alto, que se configuram como municípios com taxas baixas cercados por um padrão elevado de mortalidade. O quadro sanitário nesse estado chama a atenção pela necessidade de intervenções focalizadas (Figura 4).

A região Nordeste pode ser categorizada como de situação mista, uma vez que há grupos de municípios com alta TMI, bem como grupos de municípios com baixas TMI. A Bahia apresentou um padrão similar ao exibido no Maranhão. Os dois estados com melhor situação foram Pernambuco e Paraíba com clusters de municípios baixo-baixo, indicando um padrão de queda nas TMI no período. A situação da região Norte (N) foi a considerada mais delicada. Há diversos agrupamentos de cidades com altas TMI indicando uma tendência de elevação no período. As regiões Sul (S) e Sudeste (SE) foram aquelas que apresentam uma situação epidemiológica melhor, com diversos clusters de municípios classificados

com baixa TMI. A divisão entre os agrupamentos de municípios de mortalidade alta e baixa é, em certa medida, aderente aos padrões de renda dos municípios brasileiros. Os municípios com padrões mais baixos foram onde se localizaram a maior parte dos clusters de mortalidade elevada (Figura 4).

Figura 4. Cluster diferencial local Moran's I das taxas de mortalidade infantil entre 2000 e 2015. Brasil, 2000-2015



No Maranhão, a TMI foi maior nos municípios com menor renda per capita e menor proporção de UBS com organização da referência para o parto. Além disso, quanto maior a taxa de desemprego no município, maior era a TMI. Houve ainda correlação positiva da mortalidade infantil com o índice de acessibilidade, estratificação do desempenho em saúde e infraestrutura das UBS. É possível que essas variáveis estejam medindo

mais a existência do serviço e menos a qualidade do cuidado ofertado (Tabela 3).

Apesar da crescente redução da TMI no Brasil, inclusive com a tendência de homogeneização das taxas entre as regiões brasileiras, mais avanços relacionados a aspectos socioeconômicos e demográficos e de serviços de saúde ainda são necessários.

Tabela 3. Análise de regressão GWR. Maranhão. 2014

Nº de municípios	Nascidc vivos	Renda per capita	Taxa de desemprego	Acessibilidade	Estratificação do desempenho em saúde	Infraestrutura das UBS	Referência para parto
	Média/ DP <sup>1</sup>	Média/ DP <sup>1</sup>	Média/ DP <sup>1</sup>				
124	-0,06/ 1,38	-0,02/ 0,04	0,08/ 0,81	63,17/ 6512,62	0,26/ 2,13	1,94/ 12,6	-0,3/ 8,04

<sup>1</sup>Média e desvio-padrão dos coeficientes de regressão dos municípios.

Fonte: elaboração própria

Outros estudos apresentam a relação direta entre aspectos socioeconômicos e demográficos (SILVA; ESPERIDIÃO, 2017; RAMALHO, 2014) e de características do serviço de saúde (ARECO et al., 2016; TAVARES et al., 2016; LANSKY et al., 2014; FRANÇA; LANSKY, 2009) com as TMI.

Para o alcance do objetivo de desenvolvimento sustentável (ODS) referente à erradicação de óbitos evitáveis nos primeiros cinco anos de vida, definido pela ONU até o ano 2030, alguns estados brasileiros, com ênfase nas regiões Norte e Nordeste, ainda necessitam de maiores investimentos para que consigam reduzir as atuais taxas (UN, 2015). Especula-se que investimentos no SUS, especialmente na qualificação da Atenção Básica, teriam forte impacto na redução dos óbitos infantis evitáveis por investimento em ações de imunoprevenção, na atenção prestada à mulher no pré-natal, parto e pós-parto e ao recém-nascido, na ação adequada no diagnóstico e tratamento de afecções e com ações de promoção a saúde (MALTA et al., 2007; MALTA et al., 2010). Nessa lógica, óbitos relacionados a doenças infecciosas e parasitárias, doenças do

aparelho respiratório, doenças endócrinas, nutricionais e metabólicas, causas externas, algumas más formações congênitas e afecções originadas no período perinatal (causas estas identificadas como as mais prevalentes de óbito infantil), poderiam ser evitadas. Destaca-se que causas externas, malformações congênitas e afecções originadas no período perinatal apresentaram aumento no número casos ao longo do período de 2000 a 2015, reforçando a necessidade de investimentos em todas as ações citadas por Malta et al. (2010).

Outro aspecto importante a destacar é que ainda há desigualdades importantes entre diferentes regiões do Brasil, com áreas mais pobres, como Nordeste e Maranhão, apresentando piores indicadores, ainda que com tendência de redução das desigualdades com o tempo. As desigualdades regionais diminuíram exponencialmente, com o avanço de melhoria em aspectos sociais e na expansão do acesso aos serviços de saúde (LEAL et al., 2018; VICTORA et al., 2011). No entanto, em vista ao progresso geral que se poderia alcançar, ainda persistem disparidades regionais em aspectos socioeconômicos, étnicos e inclusive, de serviços de saúde quando se identifica que a relação de médicos/habitantes nas regiões Norte e alguns estados do Nordeste – como o Maranhão – é desproporcional à realidade dos demais estados brasileiros.

Alguns municípios apresentaram melhora satisfatória nas TMI mesmo que próximos a municípios com pouca redução, evidenciando-se que mesmo municípios relativamente semelhantes podem ter evolução dos indicadores a depender, dentre outros fatores, da efetividade dos avanços socioeconômicos e dos serviços de saúde na prevenção de óbitos infantis. Dentre essas melhorias destacam-se: o programa Bolsa Família no aspecto econômico, o abastecimento de água e saneamento no aspecto social e a ESF, a EACS e o acesso à atenção de saúde no aspecto serviço de saúde (VICTORA et al., 2011; LIMA et al., 2017).

É fato que o acesso aos serviços de Atenção Básica melhorou ao longo do século XXI, apresentando uma alta cobertura de atendimento pré-natal. Porém, quando essa cobertura é analisada juntamente com a referência ao parto, percebe-se que ainda estão mal integradas (VICTORA et al., 2011). No entanto, este estudo destaca a importância do acesso ao

serviço de alta complexidade, de uma gestão em saúde adequada nas cidades de diversos portes e da referência ao parto para a redução da TMI.

A associação direta da infraestrutura da UBS com a TMI sugere uma possível influência do acesso e da atenção prestada pelo serviço de saúde nos óbitos infantis. No entanto, neste estudo a associação ocorreu no sentido inverso do esperado. Locais com melhor estrutura apresentaram maior TMI. Normalmente, a população procura serviços com melhores estruturas, e, portanto, casos mais graves encontram-se acompanhados nessas UBS, o que pode explicar a associação encontrada. É preciso investir na qualificação da estrutura e dos serviços ofertados em todas as UBS do país, de modo a permitir efetivamente acesso universal e resolutivo. Detollenaere et al. (2018) destacam que a estrutura do serviço de saúde pode ajudar ainda na redução da associação inversa encontrada entre a desigualdade de renda e a saúde de menores de um ano.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Houve clara redução da TMI no Brasil e no Maranhão ao longo do século XXI, porém, ainda permanece acima dos padrões considerados aceitáveis internacionalmente. Além disso, a redução dos óbitos em menores de um ano foi inferior aos 2/3 preconizados pela meta dos ODM para óbitos em menores de cinco anos.

A maioria dos óbitos infantis foi por causas evitáveis e sensíveis às ações e serviços realizados na Atenção Básica, reforçando a possibilidade de redução dessas taxas com investimentos na qualificação dos serviços de saúde. O Maranhão não teve expressiva redução na mortalidade proporcional por doenças infecciosas e parasitárias nos primeiros quinze anos deste século, ao contrário do Brasil e da região Nordeste.

Foi possível identificar melhoria nos indicadores socioeconômicos, demográficos e da cobertura de serviço de saúde da Atenção Básica no Brasil, na região Nordeste e no estado do Maranhão, com destaque para a cobertura da Estratégia Saúde da Família, norteadora das ações da Atenção Básica no Brasil.

Há indícios de que quanto melhor a qualidade dos serviços das UBS menor a TMI. Dessa forma, investimentos racionais voltados para as políticas e os programas de saúde materno-infantil na Atenção Básica, podem reduzir a mortalidade infantil e diminuir os gastos desnecessários com a atenção na alta complexidade.

## AGRADECIMENTOS

Ministério da Saúde, FAPEMA, todas as instituições de ensino e pesquisa envolvidas na avaliação externa do PMAQ-AB, especialmente às equipes da UFPel, UFMG, UFG, UFSC, UNB e UFMA.

## REFERÊNCIAS

ANSELIN, Luc. Local indicators of spatial association – LISA. *Geographical Analysis, Ohio*, v. 27, n. 2, p. 93-115, abr. 1995.

ANSELIN, Luc; SYABRI, Ibnu; KHO, Youngihn. GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. IN: FISCHER, Manfred; GETIS, Arthur (Org.). *Handbook of Applied Spatial Analysis*. Berlin: Springer, 2010. p.5-22.

AQUINO, R.; OLIVEIRA, N.F.; BARRETO, M.L. Impact of the Family Health Program on Infant Mortality in Brazilian Municipalities. *American Journal of Public Health, United States*, v. 99, n. 1, p.87-93, jan. 2009.

ARECO, Kelsy Catherina Nema; KONSTANTYNER, Tulio; TADDEI, José Augusto de Aguiar Carrazedo. Tendência secular da mortalidade infantil, componentes etários e evitabilidade no estado de São Paulo – 1996 a 2012. *Revista Paulista de Pediatria, São Paulo*, v. 34, n. 3, p. 263-270, set. 2016.

BITTENCOURT, Sonia Duarte de Azevedo; REIS, Lenice Gnocchi da Costa; RATTNER, Márcia Melo Ramos Daphne; RODRIGUES, Patrícia Lima; NEVES, Dilma Costa Oliveira; ARANTES, Sandra Lúcia; LEAL, Maria do Carmo. Estrutura das maternidades: aspectos relevantes para a qualidade da atenção ao parto e nascimento. *Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro*, v. 30, p. S208-S219, ago. 2014.

BLACK, R.E. et al. Comprehensive review of the evidence regarding the effectiveness of community-based primary health care in improving maternal, neonatal and child health: 8. summary and recommendations of the Expert Panel. *Journal of Global Health, Edinburgh*, v. 7, n. 1, p.010908, jun. 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do SUS (DATASUS). Indicadores de Dados Básicos: índice de gini da renda domiciliar per capita. 2010. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/tabdata/livroidb/idb2010/b09.pdf>>. Acesso em: 04 nov. 2018.

BRASIL, Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria nº 1654, de 19 de julho de 2011a. Revogada pela Portaria PRT GM/MS nº 1645 de 01 de outubro de 2015. Disponível em: <[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt1654\\_19\\_07\\_2011.html](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt1654_19_07_2011.html)>. Acesso em: 22 de out. 2018.

BRASIL. Conselho Nacional de Secretários de Saúde. Atenção Primária e Promoção da Saúde. Brasília: CONASS, 2011b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. Agenda de Compromissos para a Saúde Integral da Criança e a Redução da Mortalidade Infantil. Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. Política Nacional de Atenção Básica. Brasília: Ministério da Saúde, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Manual de Vigilância do Óbito Infantil e Fetal e do Comitê de Prevenção do Óbito Infantil e Fetal. 2. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2009.

CALVO, Maria Cristina Marino et al. Estratificação de municípios brasileiros para avaliação de desempenho em saúde. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, Brasília, v. 25, n. 4, p. 767-776, out/dez. 2016.

CHAVES, Lenir Aparecida et al. Integration of primary care in the healthcare network: analysis of the components in the external evaluation of the PMAQ-AB. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 34, n. 2, fev. 2018.

COLLISON, D. et al. Income Inequality and Child Mortality in Wealthy Nations. *Journal of Public Health*, Oxford, v. 29, n. 2, p. 114-117, jun. 2007.

COLLUCCI, Cláudia. Mortalidade materna sobe, e Brasil já revê meta de redução para 2030. *Folha de São Paulo*. 13/08/2018. Disponível em: <[https://agenciapatriciagalvao.org.br/wp-content/uploads/2018/08/folha-13082018\\_Mortalidade-materna-sobe-e-Brasil-ja-reve-meta-de-reducao-para-2030-13\\_08\\_2018-Cotidiano-Folha.pdf](https://agenciapatriciagalvao.org.br/wp-content/uploads/2018/08/folha-13082018_Mortalidade-materna-sobe-e-Brasil-ja-reve-meta-de-reducao-para-2030-13_08_2018-Cotidiano-Folha.pdf)>. Acesso em: 24 out. 2018.

DETOLLENAERE, Jeans; DESMARESTB, Ann-Sophie; BOECKXSTAENSC, Pauline; WILLEMSC, Sara. The link between income inequality and health in Europe, adding strength dimensions of primary care to the equation. *Social Science and Medicine*, Boston, v. 201, p. 103-110, mar. 2018.

FAUSTO, Maria Cristina Rodrigues et al. Evaluation of Brazilian Primary Health Care From the Perspective of the Users: Accessible, Continuous, and Acceptable? The Brazilian National Program for Improving Primary Care Access and Quality (PMAQ). *The Journal of Ambulatory Care Management*, London, v. 40, n. 2, p. S60-S70, abr/jun. 2017.

BRUNSDON, Chris; CHARLTON, Martin; FOTHERINGHAM, A. Stewart. *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*. University of Newcastle, Reino Unido: John Wiley & Sons, 2002.

FRANÇA, Elisabeth; LANSKY, Sônia. Mortalidade infantil neonatal no Brasil: Situação, tendências e perspectivas. In: *Rede Interagencial de Informações para Saúde. Demografia e Saúde: contribuição para análise de situação e tendências*. Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde, 2009. p. 83-112.

GORGOT, Luis Ramon Marques da Rocha et al. Óbitos evitáveis até 48 meses de idade entre as crianças da Coorte de Nascimentos de Pelotas de 2004. *Revista de Saúde Pública, São Paulo*, v. 45, n. 2, p. 334-342, abr. 2011.

JONES, Gareth et al. How many child deaths can we prevent this year? *Lancet, London*, v. 362, n. 9377, p. 65-71, jul. 2003.

KARRA, Mahesh; FINK, Günther; CANNING, David. Facility distance and child mortality: a multi-country study of health facility access, service utilization, and child health outcomes. *International Journal of Epidemiology, Oxford*, v. 26, n. 3, p. 817-826, jun. 2016.

KUMAR, Chandan et al. Early neonatal mortality in India, 1990-2006. *Journal Community Health, United States*, v. 38, n. 1, p. 131-132, fev. 2013.

LANSKY, Sônia; FRANÇA, Elisabeth; LEAL, Maria do Carmo. Mortalidade perinatal e evitabilidade: revisão da literatura. *Revista de Saúde Pública, São Paulo*, v. 36, n. 6, p.759-72, nov/dez. 2002.

LEAL, Maria do Carmo et al. Saúde reprodutiva, materna, neonatal e infantil nos 30 anos do Sistema Único de Saúde (SUS). *Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro*, v. 23, n. 6, p. 1915-1928, jun. 2018.

LI, Yangmei et al. The contribution of gestational age, area deprivation and mother's country of birth to ethnic variations in infant mortality in England and Wales: A national cohort study using routinely collected data. *PLoS One, United States*, v. 13, n. 4, p.e0195146, apr. 2018

LIMA, Jaqueline Costa et al. Estudo de base populacional sobre mortalidade infantil. *Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro*, v. 22, n. 3, p. 931-939, mar. 2017.

LIU, Yajun et al. An analysis of variations of indications and maternal-fetal prognosis for caesarean section in a tertiary hospital of Beijing: A population-based retrospective cohort study. *Medicine (Baltimore), Baltimore*, v. 96, n. 7, p. e5509, fev 2017.

MAGE, D.T.; DONNER, Maria; HOLMES, L. Jr. Risk Differences in Disease-Specific Infant Mortality Between Black and White US Children, 1968-2015:

an Epidemiologic Investigation. Journal of Racial and Ethnic Health Disparities, Switzerland, Jun 11. 2018. No prelo.

MALTA, Deborah Carvalho et al. Lista de causas de mortes evitáveis por intervenções do Sistema Único de Saúde. Epidemiologia e Serviços de Saúde, Brasília, v. 16, n. 4, p.233-244, out/dez. 2007.

MALTA, Deborah Carvalho et al. Mortes evitáveis em menores de um ano, Brasil, 1997 a 2006: contribuições para a avaliação de desempenho do Sistema Único de Saúde. Epidemiologia e Serviços de Saúde, Brasília, v. 19, n. 2, p. 173-176, abr-jun. 2010.

NEVES, Matheus et al. Primary Care Dentistry in Brazil: From Prevention to Comprehensive Care. The Brazilian National Program for Improving Primary Care Access and Quality (PMAQ). Journal of Ambulatory Care Management, London, v. 40, p. S35-S48, abr/jun. 2017.

ORGANIZACIONE DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU). Indicadores para el Seguimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milênio: definiciones, justificación, conceptos, fuentes. Nueva York: ONU, 2006.

ORGANIZACIONE DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU). Declaración del Milenio. Asamblea General Distr. 13 de septiembre de 2000. Quincuagésimo quinto período de sesiones. Disponível em: <<http://www.un.org/spanish/milenio/ares552.pdf>>. Acesso em: 04 nov. 2018.

ORTEGA, Bienvenido; SANJUÁN, Jesús; CASQUERO, Antonio. Determinants of efficiency in reducing child mortality in developing countries. The role of inequality and government effectiveness. Health Care Management Science, v. 20, n. 4, p.500-516, dez. 2017.

PASKLAN, Amanda Namíbia Pereira. Atenção Básica em Saúde e Mortalidade Infantil no Brasil. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Saúde Coletiva, Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2018.

PERRY, Henry B.; RASSEKH, Bahie; GUPTA, Sundeep; FREEMAN Paul A. Comprehensive review of the evidence regarding the effectiveness of community-based primary health care in improving maternal, neonatal and

child health: 7. shared characteristics of projects with evidence of long-term mortality impact. *Journal of Global Health, Edinburgh*, v. 7, n. 1, p. 010907, jun. 2017.

PROTASIO, Ane Polline Lacerda et al. Factors associated with user satisfaction regarding treatment offered in Brazilian primary health care. *Cadernos de Saúde Pública, São Paulo*, v. 33, n. 2, p. 1-15, mar. 2017.

RAMALHO, Walter Massa. Desigualdades socioeconômicas e espaciais da mortalidade infantil no Brasil e Distrito Federal. Tese (Doutorado). 123 p. Programa de Pós-Graduação em Medicina Tropical, Faculdade de Medicina, Universidade de Brasília, 2014.

RASELLA David et al. Child morbidity and mortality associated with alternative policy responses to the economic crisis in Brazil: A nationwide microsimulation study. *PLOS Medicine, London*, v. 15, n. 5, p. e1002570, maio. 2018.

REIS, Clarice Magalhães Rodrigues et al. Primary dental care evaluation in Brazil: an item response theory approach. *Journal of Public Health Dentistry, United States*, v. 77, n. 4, p. 317-324, mar. 2017.

ROCHA, Thiago Augusto Hernandez et al. Addressing geographic access barriers to emergency care services: a national ecologic study of hospitals in Brazil. *International Journal for Equity in Health, United States*, v. 16, n. 1, p. 149, agos. 2017.

SAUVEGRAIN, Priscille; RICO-BERROCAL, R; ZEITLIN Jennifer. Why is perinatal and infant mortality high in the Seine-Saint-Denis district? A consultation with healthcare providers using a Delphi process. *Journal de Gynécologie Obstétrique et Biologie de la Reproduction, Paris*, v. 45, n. 8, p. 908-917, out. 2016.

SCOTT, Lauren M.; JANIKAS, Mark V. Spatial Statistics in ArcGIS. IN: FISCHER, Manfred; GETIS, Arthur. *Handbook of Applied Spatial Analysis*. Berlin: Springer, 2010.

SHI, L. et al. Primary care, infant mortality, and low birth weight in the states of the USA. *Journal of Epidemiology and Community Health, London*, v. 58, n. 5, p. 374-380, abr. 2004.

SILVA, Valéria Andrade; ESPERIDIÃO, Fernanda. Saneamento básico e seus impactos na mortalidade infantil e no desenvolvimento econômico da região Nordeste. *Scientia Plena*, Aracaju, v. 13, n. 10, out. 2017.

SINGH, Aditya; KUMAR, Abhishek; KUMAR, Amit. Determinants of neonatal mortality in rural India, 2007-2008. *Peer Journal*, Reino Unido, v. 1, p. 75, maio. 2013.

SLINKARD, Samantha A. et al. Determinants of Infant Mortality in Southeast Nigeria: Results from the Healthy Beginning Initiative, 2013-2014. *International Journal of MCH and AIDS*, Maryland, v. 7, n. 1, p. 1-8. 2018.

SOUZA, Miriam Francisco et al. Care coordination in PMAQ-AB: an Item Response Theory-based analysis. *Revista de Saúde Pública*, São Paulo, v. 51, n. 1, p. 87, set. 2017.

STARFIELD, Barbara. *Atenção Primária: equilíbrio entre necessidades de saúde, serviços e tecnologia*. Brasília: UNESCO, 2002.

TAVARES, Livia Teixeira et al. Mortalidade infantil por causas evitáveis na Bahia, 2000-2012. *Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação em Saúde*, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p. 1-10, jul/set. 2016.

TOMASI, Elaine et al. Quality of prenatal services in primary healthcare in Brazil: indicators and social inequalities. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 33, n. 3, p. 1-11, abr. 2017.

UNITED NATIONS. *The Millennium Development Goals Report 2015*. New York: UN, 2015.

VANDERLEI, Lygia Carmen de Moraes; NAVARRETE, Maria Luisa Vazquez. Mortalidade infantil evitável e barreiras de acesso à atenção básica no Recife, Brasil. *Revista de Saúde Pública*, São Paulo, v. 47, n. 2, p. 379-389, mar/abr. 2013.

VICTORA, Cesar et al. Saúde de mães e crianças no Brasil: progressos e desafios. *The Lancet*, London, v. 6736, n. 11, p. 60134-60138, 2011.

UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND (UNICEF). *Levels & Trends in Child Mortality: Report 2018*. New York: Unicef; 2018.



## CAPÍTULO 03

# AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO, ADESÃO AO TRATAMENTO DE TUBERCULOSE E RASTREAMENTO DE TUBERCULOSE LATENTE EM CONTATOS INTRADOMICILIARES EM SÃO LUÍS - MA

Eduardo Martins de Sousa<sup>1</sup>  
Adrielle Zagmignan<sup>1</sup>  
Luis Felipe Lima Lobato<sup>1</sup>  
Rafael Cardoso Carvalho<sup>2</sup>  
Ana Paula Junqueira Kipnis<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Imunologia e Microbiologia das Infecções Respiratórias, Programa de Mestrado em Biologia Parasitária, Universidade CEUMA. Área de concentração: Imunologia.

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Universidade Federal do Maranhão. Área de concentração: Ciências da Saúde.

<sup>3</sup> Laboratório de Imunopatologia das Doenças Infecciosas, Instituto de Patologia Tropical e Saúde Pública, Universidade Federal de Goiás. Área de concentração: Imunologia.

## RESUMO

A Tuberculose (TB) é uma doença infecciosa que permanece como um dos principais problemas sociais, econômicos e de saúde pública em todo o mundo. Mundialmente em 2017, foram estimados 10 milhões de novos casos e 1,3 milhões de mortes, incluindo cerca de 300 mil por co-infecção com HIV. O objetivo deste estudo foi caracterizar o perfil sociodemográfico dos pacientes com TB pulmonar ativa e seus contatos intradomiciliares, avaliar os métodos de diagnósticos, descrever os principais sinais e sintomas dos pacientes, bem como rastrear os casos TB latente em contatos intradomiciliares de pacientes com TB pulmonar ativa em São Luís-MA. Foram recrutados 70 pacientes com TB pulmonar ativa no Hospital Presidente Vargas em São Luís-MA, onde a maioria foi do gênero masculino (63%), com faixa etária de 31 a 50 anos (41,4%) e raça/cor autodeclarada parda (62,8%). Dos métodos utilizados para o diagnóstico, a radiografia do tórax (94,8%) foi o exame mais utilizado, seguido da baciloscopia, que apresentou 55,8% de resultados positivos e

28,6% de negativos. Os fatores de risco mais associados foram o etilismo (32,8%), tabagismo (34,2%) e a presença de doenças crônicas (14,2%). Os principais sinais e sintomas relatados foram: tosse (92,2%), perda de peso (85,7%) e febre (75,7%). Foram recrutados 28 contatos intradomiciliares, a maioria foi do gênero feminino (64,3%), com faixa etária entre 31 a 50 anos (39,2%), raça/cor autodeclarada parda (64,4%) e apenas 8% deles realizaram a quimioprofilaxia para tratamento da TB latente. Portanto, os resultados desta pesquisa podem auxiliar no aperfeiçoamento da vigilância epidemiológica para aumentar a detecção de casos novos, reduzindo a transmissibilidade da doença através do tratamento precoce de pacientes com TB latente, bem como expandir o tratamento supervisionado na atenção básica, especialmente pelos Programas Saúde da Família (PSF) e Agentes Comunitários de Saúde (PACS) e nas Unidades de Saúde.

Palavras-chave: Tuberculose. Infecção latente de Tuberculose. Contatos intradomiciliares.

## 1 INTRODUÇÃO

A tuberculose (TB) é a principal infecção bacteriana e a segunda doença infecciosa, ficando atrás apenas da Síndrome da Imunodeficiência Adquirida (SIDA), responsável por elevados índices de mortalidade em todo mundo (BRUCHFELD; CORREIA-NEVES; KÄLLENIUS, 2015). A TB é causada principalmente pelo *Mycobacterium tuberculosis*, sendo um grave problema de saúde pública principalmente nos países em desenvolvimento e um problema re-emergente nos países desenvolvidos (PAIK *et al.*, 2018). A transmissão da TB ocorre através da eliminação de bactérias pela fala, tosse ou espirro de pessoas com doença pulmonar ativa. Assim, o risco de transmissão para os contatos intradomiciliares é maior quando os indivíduos estão com TB pulmonar ativa (TRIASIH *et al.*, 2012).

Em 2015, a Organização Mundial de Saúde (OMS) definiu três listas de países com índices elevados de TB para o período 2016-2020: uma lista de países com TB, uma lista de países com TB multidrogas-resistentes (MDR-TB) e uma lista de países com co-infecção TB/HIV. Cada lista contém 30 países dentre os quais são definidos 20 países principais (Angola, Bangladesh, Brasil, China, Coreia, República Democrática do Congo, Etiópia, Índia, Indonésia, dentre outros) em termos do número

absoluto de casos incidentes e mais 10 países adicionais (Camboja, República do Congo, Lesoto, Libéria, Namíbia, dentre outros), com maiores taxas de incidência per capita, que ainda não aparecem no top 20 e que atendem a um limite mínimo em termos de número absoluto de casos incidentes (10.000 casos por ano para TB e 1000 casos por ano para TB/HIV e MDR-TB) (WHO, 2018). Assim os principais obstáculos para o controle global da TB são: o surgimento de *Mtb* multidrogas-resistentes (MDR), bem como extremamente resistentes (XDR) aos medicamentos usados no tratamento, além da co-infecção TB/HIV (ACOSTA *et al.*, 2014).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, estima-se que 10 milhões de pessoas em todo o mundo desenvolveram a TB ativa em 2017, dos quais 9% ocorreram em pessoas co-infectadas com HIV (WHO, 2018). Neste mesmo ano, também é estimado que 1,3 milhões de pessoas morreram pela doença, incluindo cerca de 300 mil pessoas que eram co-infectadas com HIV (WHO, 2018).

No Brasil em 2017, registraram-se 69.569 casos novos e 13.347 casos de retratamento de TB. No período de 2007 a 2016, foi possível observar o coeficiente de incidência da doença com uma variação média anual de 1,7%, alternando de 37,9 em 2007 para 32,4 por 100 mil habitantes em 2016. Entretanto, apesar da redução do número de casos, os dados ainda estão bem longe da meta para a eliminação da TB como problema de saúde pública no Brasil, que é de 10 casos por 100 mil habitantes. (BRASIL, 2018)

Em 2017, no estado do Maranhão foram notificados pelo Ministério da Saúde (MS) 2.021 casos novos de TB com incidência de 28,9/100.000 habitantes, mantendo-se assim nos últimos cinco anos em 4º lugar entre os estados da região Nordeste que apresentam maiores taxas de incidências de TB por 100 mil habitantes. E no município de São Luís - MA, neste mesmo ano, foram notificados 637 casos novos de TB com incidência de 58,3/100.000 habitantes (BRASIL, 2018).

Dessa forma, o controle da TB requer a compreensão de fatores epidemiológicos, clínicos e imunológicos individuais associados aos aspectos patogênicos do *Mycobacterium tuberculosis* (FERNANDES; MA, 2018). Neste contexto, o rastreamento dos casos de TB e identificação da

cadeia de transmissão permitem aos programas de controle da TB empregar medidas de intervenção de forma eficaz, interrompendo a disseminação da doença (MEEHAN *et al.*, 2018).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 POPULAÇÕES DE ESTUDO

O estudo foi realizado em concordância com as normas que regulamentam a pesquisa em seres humanos contidas na resolução nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde e a Declaração de Helsinque II (2000). O projeto foi submetido à apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade CEUMA e aprovado sob o parecer consubstanciado Nº 467.169.

Trata-se de um estudo descritivo e prospectivo de pacientes com tuberculose pulmonar ativa e ILTB. A amostragem de conveniência foi utilizada para o recrutamento dos pacientes diagnosticados com tuberculose no Hospital Getúlio Vargas no período de agosto de 2017 a agosto de 2018. Para os indivíduos com tuberculose pulmonar ativa foram incluídos: pacientes com diagnóstico de tuberculose pulmonar - sintomatologia característica, radiografia sugestiva, baciloscopia positiva (escarro ou líquido bronco-alveolar) ou negativa, realizada pela equipe médica no hospital Presidente Getúlio Vargas em São Luís - MA, e maiores de 18 anos de ambos os sexos. Os participantes assinaram termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE). A constatação da vacinação com a BCG (Bacilo Calmette-Guérin) foi realizada pela presença da cicatriz vacinal no braço direito.

Os dados sociodemográficos, exames clínico-laboratoriais, radiológicos, histopatológicos, microbiológicos e outros foram coletados por meio de entrevista e do prontuário de cada paciente. Os dados sobre a conduta médica adotada, resultados do tratamento e eventos adversos, também foram coletados.

Foram considerados contatos intradomiciliares indivíduos que compartilharam a mesma casa por um período mínimo de três meses ou

indivíduos que apresentaram tosse prolongada por mais de duas semanas que antecederam a data do diagnóstico do paciente com TB pulmonar ativa. Foi realizada uma entrevista com os contatos intradomiciliares dos pacientes com TB pulmonar ativa recém diagnosticada.

## 2.2 CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL CLÍNICO E SOCIODEMOGRÁFICO DE PACIENTES COM TB ATIVA E INFECÇÃO LATENTE POR TB

Para caracterizar o perfil clínico e sociodemográfico de pacientes com TB ativa e infecção latente por TB, os dados sócios demográficos, exames clínicos laboratoriais, radiológicos, histopatológicos, microbiológicos foram coletados do prontuário de cada paciente e através de um questionário estruturado.

## 3 RESULTADOS

No período de agosto de 2017 a agosto de 2018, o total de pacientes com TB ativa que participaram do presente estudo realizado no Hospital Presidente Vargas foi de 70 casos recém diagnosticados, sendo 63,0% do gênero masculino e 37,0% do gênero feminino. Em relação à faixa etária, observou-se que a maioria dos pacientes apresentava de 31 a 50 anos (41,4%). Tratando-se da raça/cor foi observado que 62,8% se declararam pardos, 20% se declararam brancos, 11% se declararam pretos e 1,4% se declararam indígenas. Em relação ao estado civil, 48,6% dos pacientes eram casados, 40% dos pacientes eram solteiros, seguidos por viúvos e divorciados, ambos com 5,7%. Do total de pacientes desta pesquisa, 91,4% relataram possuir renda familiar de até 3 salários mínimos. Considerando-se a escolaridade, 27,2% dos pacientes relataram ter apenas o ensino médio completo, 20% afirmaram ter apenas o fundamental completo e apenas 2,8% relataram possuir curso superior completo. Setenta por cento dos pacientes afirmaram nunca ter entrado em contato com um indivíduo doente por TB e 52,8% afirmaram já possuir o conhecimento dos sintomas da TB antes do seu diagnóstico (Tabela 1).

Tabela 1. Perfil sociodemográfico dos pacientes com TB pulmonar ativa em São Luís -MA no período de 2017 a 2018

Variáveis		N	%
Gênero	Masculino	44	63
	Feminino	26	37
Idade	<18 anos	2	3
	18-30	20	28,5
	31-50	29	41,4
	>51 anos	19	27
Raça/Cor	Branco	14	20
	Pardo	44	62,8
	Preto	11	15,7
	Indígena	1	1,4
Estado civil	Casado	34	48,6
	Solteiro	28	40
	Viúvo	4	5,7
	Divorciado	4	5,7
Renda familiar	< 3 salários mínimos	64	91,4
	> 3 salários mínimos	6	8,6
Escolaridade	Analfabeto	5	7,2
	Fundamental incompleto	10	14,2
	Fundamental completo	14	20
	Médio incompleto	11	15,8
	Médio completo	19	27,2
	Superior incompleto	9	12,8
	Superior completo	2	2,8
Contato prévio com pacientes TB	Sim	21	30
	Não	49	70
Conhecimento sobre sintomas da TB	Sim	37	52,8
	Não	33	47,2

Fonte: Elaboração própria

Em relação aos exames utilizados para o diagnóstico de TB, 55,8% e 18,5% apresentaram resultado positivo para baciloscopia e cultura, respectivamente. Para o teste Xpert TB/RIF, 51,4% foram positivos, enquanto que 41,4% não realizaram o teste. Para os testes de diagnóstico por imagem, 40% foram positivos para a tomografia e 94,8% apresentaram resultado suspeito para a radiografia do tórax (Tabela 2).

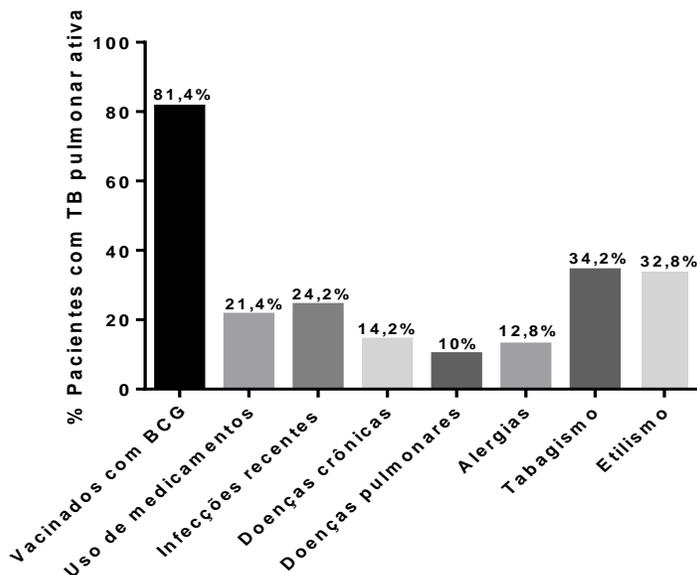
Tabela 2. Exames clínicos utilizados para o diagnóstico de TB pulmonar ativa em São Luís-MA no período de 2017 a 2018

	N	%
Baciloscopia		
Positiva	39	55,8
Negativa	20	28,6
Não realizada	11	15,7
Cultura		
Positivo	13	18,5
Negativo	08	11,5
Não realizada	39	55,7
Xpert TB/RIF		
Positiva	36	51,4
Negativa	03	4,3
Não realizado	29	41,4
Tomografia		
Positivo	28	40
Negativo	00	00
Não realizado	42	60
Radiografia		
Suspeito	66	94,8
Negativo	00	
Não realizado	04	5,7

Fonte: Elaboração própria

Ao observar o perfil clínico dos pacientes com TB ativa analisados neste estudo, 81,4% eram vacinados com a BCG. 21,4% relataram o uso de medicamentos diários, 24,2% declararam ter adquirido outra infecção recentemente, 14,2% relataram possuir alguma doença crônica, 10% disseram que tiveram outra doença pulmonar em algum momento de sua vida e 12% falaram que possuem algum tipo de alergia. Tratando-se da análise de fatores de risco como tabagismo e etilismo, 34,2% relataram ser fumante ativo e 32,8% relataram o consumo frequente de bebidas alcoólicas (Figura 1).

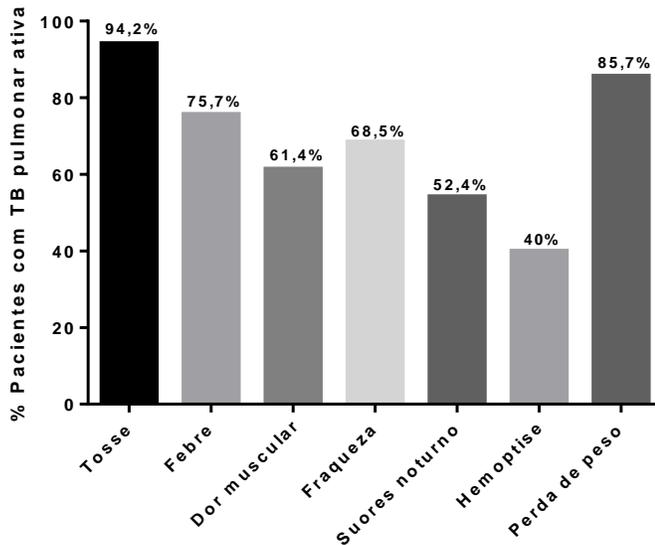
Figura 1. Perfil clínico dos pacientes com TB pulmonar ativa em São Luís - MA no período de 2017 a 2018



Fonte: Elaboração própria

Ao analisar as características clínicas dos pacientes, os principais sinais e sintomas relatados pelos mesmos foram: tosse (94,2%), perda de peso (85,7%), febre (75,7%), fraqueza (68,5%), dores musculares (61,4%), sudorese noturna (52,4%) e hemoptise (40%) (Figura 2).

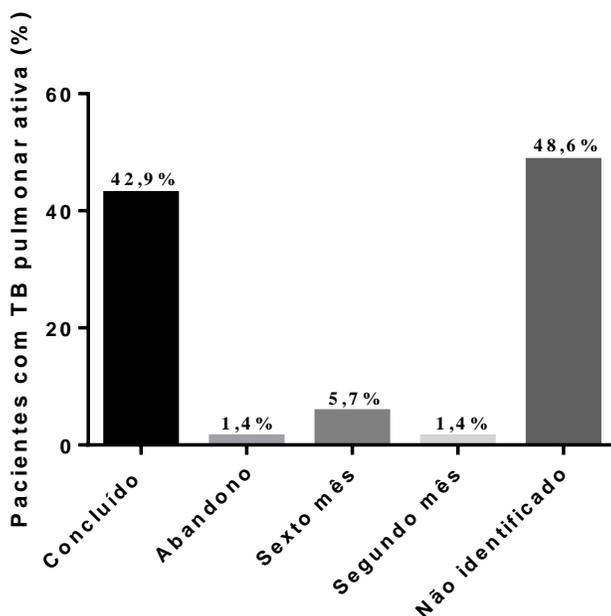
Figura 2. Sinais e sintomas dos pacientes com TB pulmonar ativa em São Luís - MA no período de 2017 a 2018



Fonte: Elaboração própria

Em relação à adesão ao tratamento para a TB, apenas 37 (48,6% não foram identificados) do total de 70 pacientes foram rastreados e acompanhados neste estudo, sendo que 42,9% concluíram o tratamento, 1,4% abandonaram o tratamento, 5,7% estão no último mês do tratamento 1,4% estão no segundo mês do tratamento (Figura 3).

Figura 3. Avaliação da adesão ao tratamento dos pacientes com TB ativa em São Luís -MA



Fonte: Elaboração própria

Neste estudo foram recrutados 28 contatos intradomiciliares dos pacientes com TB ativa. Destes, a maioria eram mulheres (64,3%) e com faixa etária entre 31 a 50 anos (39,2%). A raça autodeclarada predominante pelos contatos intradomiciliares foi a parda (64,4%), seguida por brancos e pretos ambos com 17,8% (Tabela 3).

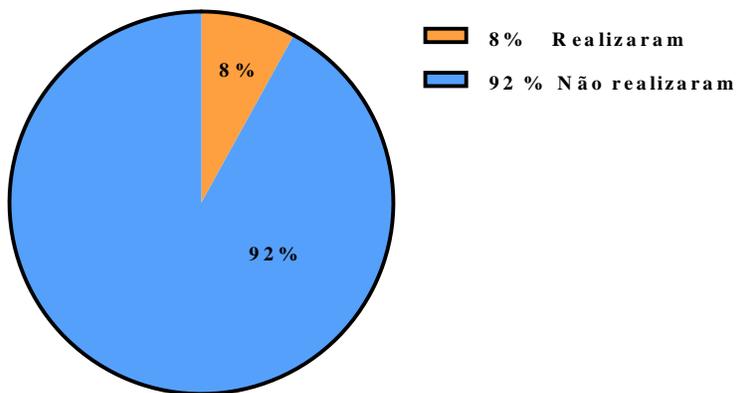
Dos 28 contatos intradomiciliares avaliados neste estudo, 92% não realizaram a quimioprofilaxia para o tratamento de TB, enquanto que apenas 8% realizaram a quimioprofilaxia da TB (Figura 4).

Tabela 3. Perfil sociodemográfico dos contatos intradomiciliares de pacientes com TB pulmonar ativa em São Luís -MA no período de 2017 a 2018

Variáveis		N	%
Gênero	Masculino	18	64,3
	Feminino	10	35,7
Idade	<18 anos	04	14,3
	18-30	09	32,2
	31-30	11	39,2
	>51 anos	04	14,3
Raça/cor	Branco	05	17,8
	Pardo	18	64,4
	Preto	05	17,8
	Indígena	0	0

Fonte: Elaboração própria

Figura 4. Realização de quimioprofilaxia pelos contatos intradomiciliares de pacientes com TB ativa



Fonte: Elaboração própria

#### 4 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Neste estudo, foi observada a prevalência de infecção por TB em indivíduos do gênero masculino (63%) e com a faixa etária de 31 a 50 anos (41,4%). A raça autoclarada pela grande maioria dos pacientes foi a parda (62,8%), assim como relataram renda familiar inferior a 3 salários mínimos (91,4%) e 48,6% eram casados.

Os resultados deste estudo corroboram os dados obtidos por Andrade, Fonseca e Santos (2018) e Freitas *et al* (2016), no qual, em seus estudos, o maior de número de casos ocorreu no gênero masculino (67,3%), em adultos com média de idade de 50 anos (57,7%) e raça parda (49,02%). De acordo com o IBGE, o sexo masculino e a faixa etária entre 25 a 49 anos apresentam o maior percentual da população economicamente ativa (IBGE, 2016). Diante disso, tal situação demonstra que além de ser um problema de saúde pública, a TB também caracteriza um problema socioeconômico afetando principalmente indivíduos adultos economicamente ativos.

Quanto ao grau de escolaridade, neste estudo, predominou o ensino médio completo (27,2%) e fundamental completo (20%), como corroborado por outros estudos de delineamento semelhante realizados no Brasil (CALIARI; FIGUEIREDO, 2012). Em relação ao conhecimento sobre os sintomas da TB, 52,8% afirmaram que sim e 47,2% disseram não saber dos sintomas da TB antes do diagnóstico. O baixo grau de instrução dos pacientes pode influenciar negativamente na aquisição de informações, configurando-se como um fator determinante para o aumento da vulnerabilidade social ao qual o indivíduo está exposto. O grau de instrução favorece um maior entendimento e apreensão dos conhecimentos levantados sobre o viver com a doença ou o estar doente (SILVEIRA; ADORNO; FONTANA, 2007). Vale ressaltar que a baixa escolaridade poderia aumentar a vulnerabilidade à TB ao refletir o acesso individual e desigual à informação, aos bens de consumo e ao próprio serviço de saúde, funcionando como um marcador de precárias condições de vida e maior vulnerabilidade à TB (FERREIRA *et al.*, 2013).

No tocante ao levantamento de dados sobre o diagnóstico dos 70 pacientes que participaram do estudo, 55,8% e 18,5% apresentaram,

respectivamente, baciloscopia e cultura positivas, 51,4% dos pacientes foram positivos para o Xpert TB/RIF, 40% apresentaram positividade para o teste de tomografia e 94,8% tiveram o resultado suspeito para radiografia do tórax. Esses dados corroboram com o estudo feito por Filho e Carvalho (2017), onde demonstraram que a baciloscopia foi o método laboratorial de diagnóstico mais utilizado. A baciloscopia ainda é considerado o exame mais simples e de baixo custo (BRASIL, 2014). Outro fator importante é que uma das principais falhas no diagnóstico nos casos de rastreamento é a não realização da cultura microbiológica (BRASIL, 2017).

Ao observar o perfil clínico dos pacientes com TB ativa, 21,4% relataram o uso de medicamentos diários e 14,4% apresentam alguma doença crônica, sendo diabetes e hipertensão as mais frequentes. Além disso, 14,2% falaram ter tido doença pulmonar anteriormente que não tenha sido a tuberculose, sendo a pneumonia a mais frequente. 34,2% dos pacientes declararam ser fumantes e 32,8% declararam o uso frequente de bebidas alcoólicas.

Dentre esses aspectos, a ocorrência de doença crônica como a diabetes é considerada um fator de risco para a ocorrência da TB e da reativação endógena em indivíduos com TB latente (PEREIRA *et al.*, 2016). Em relação ao tabagismo, estudo realizado por Freitas *et al.* (2016) demonstrou que 25,5% dos pacientes eram fumantes, à semelhança do observado neste estudo. Estudos recentes demonstraram que o alcoolismo, o tabagismo e a diabetes estão entre as principais comorbidades associadas à TB, sendo um fator preocupante já que aumenta a susceptibilidade ao desenvolvimento da doença (CALIARI; FIGUEIREDO, 2012; FILHO; CARVALHO, 2018).

Quanto a análise dos principais sinais e sintomas, foi possível observar a tosse (94,2%), perda de peso (85,7%), febre (75,7%), fraqueza (68,5%), sudorese noturna (52,4%), dores musculares (61,4%) e hemoptise (40%) como os mais relatados pelos pacientes neste estudo. O mesmo pode ser observado em um estudo realizado em um Hospital Universitário de Londrina - PR, onde a tosse (58%), febre (52%), perda de peso (40%) e a sudorese noturna (20%) foram os sinais e sintomas mais relatados (BOSQUI *et al.*, 2017). De acordo com Ministério da Saúde, a tosse, febre,

emagrecimento, suores noturnos, fraqueza, dores musculares e hemoptise podem ser relatados pelos pacientes com TB pulmonar (BRASIL, 2017).

Em relação à adesão ao tratamento proposto, 42,8% de 37 pacientes acompanhados concluíram o tratamento, enquanto 1,4% abandonaram. Esses dados corroboram os publicados pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2014), no qual prevê uma taxa de abandono de até 5,0%. Dentre os principais fatores associados ao abandono do tratamento de TB estão as condições sociais do paciente, etilismo, efeitos adversos dos fármacos, consumo de drogas ilícitas e o desconhecimento sobre a patogenicidade da doença (PORTELA, 2015).

Dos 28 indivíduos recrutados em relação aos contatos intradomiciliares dos pacientes com TB, a maioria eram mulheres (64,3%) e na faixa etária entre 31 a 50 anos (39,2%), à semelhança do observado no estudo realizado em Pelotas - RS por Lima *et al.* (2013), o qual demonstrou que as mulheres representaram 61,4% dos contatos intradomiciliares e a média de idade 31 anos.

Dos contatos intradomiciliares analisados neste estudo, 92% não realizaram a quimioprofilaxia disponibilizada pelo Sistema Único de Saúde (SUS) para o tratamento e prevenção da TB latente e apenas 8% realizaram o mesmo, o que corrobora com o publicado por Yonekura *et al.* (2017), no qual, ao avaliar 25 indivíduos PPD positivos que seriam utilizados como controles saudáveis em um estudo de pesquisa de casos de TB em pacientes com artrite reumatoide, apenas 18% realizaram a quimioprofilaxia para controle da TB latente, mesmo sabendo da positividade do teste PPD. Isto pode representar o fato no qual, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2015), um quarto da população mundial esteja infectada pelo *Mtb*.

Em conjunto, esses dados demonstram que pacientes com tuberculose ativa recrutados no município de São Luís do Maranhão apresentam características sociodemográficas similares às aquelas observadas nas diferentes regiões do Brasil e do mundo, destacando-se as condições socioeconômicas e educativas como os principais fatores associados ao desenvolvimento da doença.

## REFERÊNCIAS

ACOSTA, C. D. *et al.* Drug-resistant tuberculosis in Eastern Europe: challenges and ways forward. *Public Health Action*, v. 4, n. 2, p. S3-S12, out. 2014.

ANDRADE, Heuler Souza; FONSECA, João Carlos Nogueira; SANTOS, Rita de Cássia Fonseca. Perfil dos portadores de tuberculose em um município de Minas Gerais. *Ciência & Saúde*, v. 11, n. 1, p. 1-6. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Boletim epidemiológico: indicadores prioritários para o monitoramento do plano nacional pelo fim da tuberculose como problema de saúde pública no Brasil. Brasília, v. 48, n. 8, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. Manual de recomendações para o controle da tuberculose no Brasil. Brasília: Ministério da Saúde, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Perspectivas brasileiras para o fim da tuberculose como problema de saúde pública. Boletim epidemiológico: especial tuberculose. Brasília, v. 49, n. 11, p. 1-15, 2018.

BOSQUI, Larissa Rodrigues *et al.* Perfil clínico de pacientes com diagnóstico de tuberculose atendidos no Hospital Universitário de Londrina, Paraná. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*, v. 38, n. 1, p. 89-98.

BRUCHFELD, Judith; CORREIA-NEVES, Margarida; KÄLLENIUS, Gunilla. Tuberculosis and HIV coinfection. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, p. a017871, 2015.

CALIARI, J.S.; FIGUEIREDO, R.M. Tuberculosis: patient profile, service flowchart, and nurses' opinions. *Acta Paulista de Enfermagem*, v. 25, n. 1, p. 43-7, 2012.

FERNANDES, P.; MA, Y. Sex and age differences in Mycobacterium tuberculosis infection in Brazil. *Epidemiology & Infection*, v. 146, n. 12, p. 1503-1510, setembro de 2018.

FERREIRA, R.C.Z.*et al.* Perfil epidemiológico da tuberculose em município do interior paulista (2001- 2010). *Cuid Enferm.*v 7, n 1, p 7-12, 2013.

FILHO, A.; CARVALHO, I. Epidemiological profile of patients with tuberculosis in a teresina-pi university hospital. *Jornal de Ciências da Saúde do Hospital Universitário da Universidade Federal do Piauí*, v. 1, n. 1, p. 51-60, jan.-abr. 2018.

FREITAS, Wiviane Maria Torres de Matos *et al.* Perfil clínico-epidemiológico de pacientes portadores de tuberculose atendidos em uma unidade municipal de saúde de Belém, Estado do Pará, Brasil. Revista Pan-Amazônica de Saúde, v. 7, n. 2, p. 45-50, 2016.

LIMA, L.M. *et al.* O programa de controle da tuberculose em Pelotas/RS, Brasil: investigação de contatos intradomiciliares. Revista Gaúcha de Enfermagem, v.34, n 2, p. 102-110, 2013.

MEEHAN, C. J. *et al.* The relationship between transmission time and clustering methods in Mycobacterium tuberculosis epidemiology. EBioMedicine, 16 de outubro de 2018.

PAIK, Seungwha *et al.* Autophagy: A new strategy for host-directed therapy of tuberculosis. Virulence, p.1-12, 15 out. 2018.

PEREIRA, Susan Martins *et al.* Association between diabetes and tuberculosis: case-control study. Revista de saúde pública, v. 50, p. 82, 2016.

PORTELA, N.L.C. Fatores associados ao abandono do tratamento da tuberculose: uma revisão integrativa da literatura. Revista Univap, São José dos Campos, v. 21, n. 38, dez.2015.

SILVEIRA, Marysabel Pinto Telis; ADORNO, Raquel Fabiane Roscoff de; FONTANA, Tiago. Perfil dos pacientes com tuberculose e avaliação do programa nacional de controle da tuberculose em Bagé (RS). Jornal Brasileiro de Pneumologia, v. 33, n. 2, p.199-205, abr. 2007.

TRIASIH, Rina *et al.* Contact Investigation of Children Exposed to Tuberculosis in South East Asia: A Systematic Review. Journal of Tropical Medicine, v. 2012, p.1-6, 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Global tuberculosis report 2018. World Health Organization, 2018.

YONEKURA, Claudia Leiko *et al.* Incidência de tuberculose em pacientes com artrite reumatoide em uso de bloqueadores do TNF no Brasil: dados do Registro Brasileiro de Monitoração de Terapias Biológicas BiobadaBrasil. Revista Brasileira de Reumatologia, v. 57, p. 477-483, 2017.

2

CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA

PARA A SUSTENTABILIDADE

SEÇÃO 2



## CAPÍTULO 4

# ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO MERCADO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA *ON GRID* NO ESTADO DO MARANHÃO

Clóvis B. M. Oliveira<sup>1</sup>  
José Ribamar S. M. Filho<sup>2</sup>  
Gerisval A. Pessoa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Maranhão com doutorado em Sistemas Elétricos de Potência.

<sup>2</sup> Professor da Faculdade Internacional São Luís com mestrado em Energia e Ambiente - Wyden.

<sup>3</sup> Professor da Faculdade Pitágoras Maranhão com mestrado em Gestão Empresarial.

### RESUMO

Competitividade e inovação são constantes que devem ser dimensionadas para o sucesso empresarial no mundo dos negócios. Nos últimos anos, os custos da energia elétrica representaram um aumento significativo no orçamento das empresas e dos consumidores residenciais, fazendo com que estes busquem a otimização de tais custos, para se produzir mais com menos. Atrelada a tais concepções, a energia solar fotovoltaica residencial oferece diversas vantagens para quem deseja investir neste setor, podendo-se destacar: ser uma fonte de energia limpa, minimizar os impactos ambientais, reduzir o preço da conta de energia elétrica, dentre outros fatores. Neste contexto, este trabalho apresenta uma análise de viabilidade econômica do mercado de microgeração fotovoltaica *on grid* no estado do Maranhão, servindo como fonte de pesquisa para novos empreendedores que desejam ser inseridos no setor fotovoltaico assim como aos que se encontram em processo de consolidação. Os indicadores de viabilidade econômica estudados foram o *payback*, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Índice de Lucratividade (IL), aplicados nos dados de geração de energia de municípios do estado do Maranhão. A partir de tais análises, foi constatado que é viável investir-se no setor fotovoltaico no estado tanto pelos indicadores de viabilidade analisados assim como do ponto de vista ambiental, apresentando características naturais favoráveis para tal investimento.

Palavras-chaves: Energia renovável. Microgeração Viabilidade econômica. Energia fotovoltaica.

## 1 INTRODUÇÃO

Até meados do início da década de 2000, a energia solar fotovoltaica no território brasileiro era utilizada exclusivamente em pequenos sistemas isolados ou independentes, os quais não eram atendidos pela rede elétrica, caracterizados por serem regiões isoladas e de difícil acesso ou onde a instalação de linhas de transmissão elétrica não era viável.

Em alguns países, muitos incentivos foram dados para que as pessoas gerassem energia elétrica a partir de suas residências, utilizando sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (*on grid*). Os programas de incentivo geralmente são justificados por questões ambientais, segurança energética, geração de empregos, desenvolvimento de tecnologia e de uma cadeia produtiva. Esses programas variam de acordo com o país e com a fonte de energia (EPE, 2012).

A tendência mundial é a busca por novas fontes de energia que possam atender ao acelerado crescimento da demanda, de forma não poluente e sustentável. No Brasil, possuímos grande parte das fontes energéticas renováveis, sejam as que já estão consolidadas como as que despontam no cenário a médio e longo prazo. No caso da geração de energia elétrica a partir de fontes fotovoltaicas, o mercado brasileiro é extremamente promissor (ABINEE, 2012).

No que concerne à legislação, a Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) no seu art. 2º, define microgeração distribuída toda central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da Aneel, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Arelada às questões de competitividade e sobrevivência no mercado, este marco regulatório aprovado por meio desta resolução representa uma medida estratégica para impulsionar o mercado de energia solar fotovoltaica no Brasil. Com o fomento desse mercado, a tendência é aumentar o número de empreendimentos no Brasil, diminuindo o valor do

investimento e, conseqüentemente, o tempo de retorno, tornando-o mais atrativo para os consumidores.

De acordo com dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (2017), dentre as unidades consumidoras beneficiadas por sistemas solares fotovoltaicos, a maior parcela é de residências, que representam 78,2% do total, seguida de comércios (16,7%), indústrias (2,0%), consumidores rurais (1,7%) e outros tipos, como iluminação pública (0,1%), serviços públicos (0,2%) e consumidores do poder público (1,1%).

Embora seja a fonte renovável com crescimento mais acelerado no mundo e ascensão no Brasil, a energia solar fotovoltaica ainda necessita de desenvolvimento tecnológico e de avanços em políticas públicas para fomentar os investimentos, tanto em grandes usinas como em micro e mini usinas de geração de energia fotovoltaicas, tendo em vista que a produção atual não chega a 1% da matriz energética nacional (ANEEL, 2016).

Ainda segundo o Congresso Nacional, em benefício da aquisição da energia solar fotovoltaica em âmbito nacional, tramita o Projeto de Lei PL 833/2015, cuja ementa acrescenta dispositivo ao artigo 20 da Lei nº 8.036, de 11 de maio de 1990, para permitir a movimentação da conta vinculada do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS) para aquisição e instalação de equipamentos para geração de energia elétrica pela minigeração distribuída, pela microgeração distribuída e pela geração fotovoltaica.

Além disso, desde 2013 brasileiros que desejam gerar sua própria energia a partir de fontes renováveis podem conectar seu sistema à rede elétrica e se beneficiar do sistema de compensação de energia, conhecido internacionalmente como *net metering*. Criado pela Resolução Normativa nº 482 da Aneel, esse sistema permite ao proprietário de um pequeno gerador de fonte renovável injetar na rede a energia que não for consumida no momento da geração, recebendo créditos (em kWh) por ela, podendo ser utilizados em até 36 meses (IDEAL, 2015).

Entretanto, diversos fatores que incidem no mercado da microgeração contribuíram negativamente, resultando na incipiente

participação de empreendedores na oferta de serviços de instalação de sistemas autônomos de geração fotovoltaica no Brasil.

Constatam-se essas condições em estados da federação como o Maranhão, onde, apesar das condições atmosféricas favoráveis à microgeração, há registro de doze empresas atuando no setor, restringindo a população às informações e às contratações diretas de serviços que possibilitem produzir energia elétrica para si e comercializar o excedente.

Desse modo, necessita-se da disposição de empreendedores para o desenvolvimento de uma cadeia produtiva capaz de suprir as expectativas de um mercado que possui características ainda em fase de amadurecimento, como o caso da microgeração fotovoltaica. Assim, se faz necessário o conhecimento dos riscos e que se estabeleça um planejamento sistêmico para o setor.

Neste contexto, este trabalho propõe efetuar uma análise de viabilidade econômica do mercado de micro geração fotovoltaica *on grid* no estado do Maranhão, consubstanciando-a a partir dos indicadores econômicos *payback*, valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e índice de lucratividade (IL).

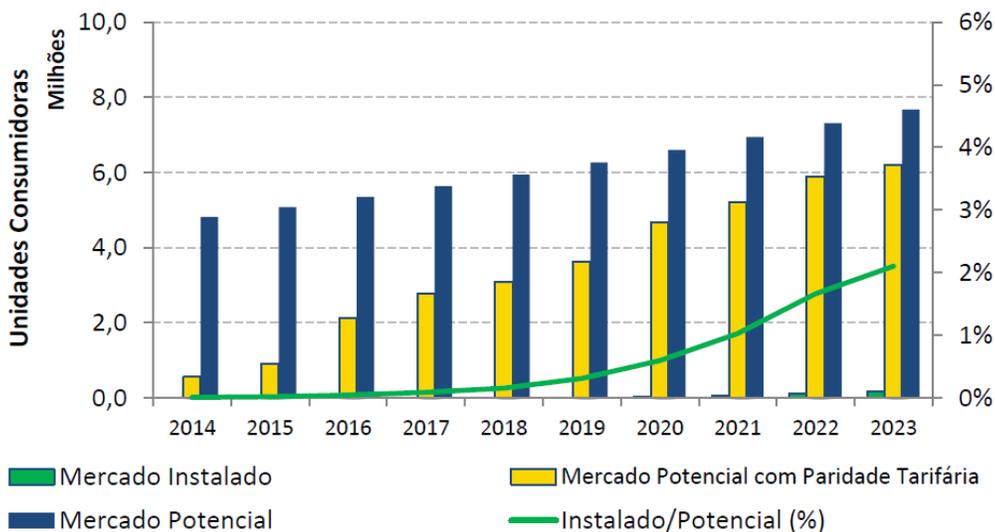
## 2 MERCADO FOTOVOLTAICO NO BRASIL

A microgeração de energia deixou de ser uma atividade centralizada e de exclusividade de médias e grandes empresas. Em junho de 2016, o Brasil ultrapassou o número de 2.700 microgeradores individuais, um aumento de 44% na comparação com dezembro de 2015, segundo a Associação da Indústria de Cogeração de Energia (Cogen). A potência instalada já é de 27 MW, suficiente para abastecer aproximadamente 20 mil habitantes. A maioria dos microgeradores (cerca de 90%) é representado pela energia solar fotovoltaica, sendo que quase todos estão instalados em residências (COGEN, 2016).

Na figura 1 é apresentada a evolução e projeção do mercado de sistemas fotovoltaicos no Brasil até 2023, simulado pela Empresa de

Pesquisa Energética (EPE). A barra azul apresenta o número de unidades consumidoras potenciais, isto é, residências com consumo superior a 400 kWh/mês e comércios (sem restrição à nível de consumo). A barra amarela representa como o mercado vai se tornando economicamente viável ao longo dos anos, atingindo a viabilidade para mais de 80% dos consumidores potenciais em 2023. Em verde é mostrado o número de consumidores que terão instalados sistemas fotovoltaicos ao longo do horizonte decenal (forma de barra) e o percentual em relação ao potencial, em linha (EPE, 2014).

Figura 1. Evolução do mercado de sistemas fotovoltaicos distribuídos no Brasil



Fonte: EPE (2014)

No que concerne ao quantitativo de empresas neste segmento, foram levantados os dados disponíveis no Portal América do Sol até o mês de outubro de 2016. Na figura 2 têm-se o mapa representando o quantitativo de empresas brasileiras que prestam serviços no setor fotovoltaico.

Foram levantados o total de 1295 empresas atuantes no mercado de geração fotovoltaica nos seguintes serviços oferecidos: instalação, projetista, integrador, estruturas, módulos fotovoltaicos, inversores e cursos de capacitação.

Figura 2. Mapa de empresas brasileiras do setor fotovoltaico



Fonte: América do Sol (2016)

### 3 MERCADO DE EMPRESAS E CONSUMIDORES DO SETOR FOTOVOLTAICO NO ESTADO DO MARANHÃO

Apesar de apresentar condições climáticas favoráveis para o investimento neste setor, o Maranhão possui apenas dezessete empresas do setor fotovoltaico cadastradas no Portal América do Sol (2017), delimitando a população às informações e às contratações diretas de serviços que possibilite produzir energia elétrica para o seu próprio consumo e comercializar o excedente. À medida que se restringe tais informações, conseqüentemente promove-se a baixa capilaridade deste

negócio, não alcançando, assim, possíveis novos clientes e abrangência deste mercado.

O Maranhão possui uma das maiores tarifas residenciais (R\$/kWh) dentre os estados da federação e, segundo o Portal Solar (2016), o aumento das tarifas de energia elétrica está tornando os sistemas fotovoltaicos não só mais atraentes financeiramente como também uma necessidade para o governo superar a iminente crise de energia.

Por outro lado, há ainda potencialidade de crescimento de consumo de energia de maranhenses devido às condições de desigualdade social no estado, comparativamente demonstrada nos quadros de consumo per capita a seguir. Em 2016, a EPE, por meio do Anuário Estatístico de Energia Elétrica, divulgou dois dados importantes sob a ótica do consumidor residencial: o consumo médio total por região e estados (kWh/mês), conforme ilustra o quadro 1, e dados populacionais e consumo per capita (kWh/habitante), disponíveis no quadro 2.

Quadro 1. Consumo médio residencial por região e do estado do Maranhão (kWh/mês)

<b>Ano</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>Consumo (kWh/mês)</b>					
<b>Brasil</b>	155,8	158,9	163,0	167,2	161,5
<b>Sul</b>	174,8	178,5	181,6	120,6	112,5
<b>Sudeste</b>	176,6	179,8	181,1	212,4	202,6
<b>Centro</b>	163,9	168,7	173,7	180,0	176,9
<b>Norte</b>	155,2	160,5	167,1	192,3	196,8
<b>Nordeste</b>	106,4	108,9	117,8	128,0	127,9
<b>Maranhão</b>	<b>99,4</b>	<b>103,9</b>	<b>112,8</b>	<b>118,8</b>	<b>120,8</b>

Fonte: Adaptado de EPE (2016)

Quadro 2. População e consumo *per capita* (kWh/habitante)

Ano	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015
População (mil)					Consumo per capita (kWh/habitante)					
Brasil	198.319	200.138	201.901	203.610	205.266	2.447	2.239	2.294	2.335	2.266
Sul	28.453	28.682	28.906	29.123	29.335	2.617	2.702	2.781	2.912	2.796
Sudeste	83.449	84.130	84.791	85.431	86.051	2.764	2.796	2.832	2.846	2.729
Centro	14.646	14.878	15.106	15.331	15.552	1.926	2.065	2.168	2.243	2.242
Norte	16.600	16.857	17.107	17.352	17.590	1.672	1.726	1.765	1.865	1.906
Nordeste	55.170	55.590	55.990	56.373	56.738	1.303	1.360	1.423	1.432	1.410
<b>Maranhão</b>	<b>6.703</b>	<b>6.764</b>	<b>6.823</b>	<b>6.878</b>	<b>6.929</b>	<b>1.798</b>	<b>1.730</b>	<b>1.612</b>	<b>1.265</b>	<b>1.016</b>

Fonte: Adaptado de EPE (2016)

No quadro 3 têm-se o cruzamento das informações por mesorregião do estado do Maranhão (cidade escolhida para projecção dos dados pelo programa SunData), população estimada em 2016, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, densidade demográfica com dados referentes de 2010 disponibilizados pelo IBGE e a média de irradiação solar por localidade, projetada pelo programa SunData. Nota-se que mesmo apresentando médias de irradiação solar favoráveis para se investir no segmento fotovoltaico no Maranhão, a renda per capita da população é muito baixa e apresenta-se como um dos entraves para a aquisição de sistemas fotovoltaicos pelos consumidores.

Quadro 3. Cruzamento de dados por mesorregião (cidade escolhida) do estado do Maranhão

Mesorregião (cidade)	População Estimada	Densid. Demográfica (hab./km )	Média de Irradiação Solar (kWh/m .dia)	Renda <i>per capita</i>
Norte (São Luís)	1.082.935	1.215,69	4,91	R\$ 805,36
Leste (Chapadinha)	78.348	22,59	5,33	R\$ 251,75
Oeste (Turiaçu)	34.949	13,16	4,85	R\$ 171,50
Centro (Barra do Corda)	86.662	15,92	4,84	R\$ 305,61
Sul (Carolina)	23.833	3,72	5,04	R\$ 334,51

Fonte: Adaptado de IBGE (2016) e CRESESB (2016)

Ademais, segundo o censo demográfico do IBGE (2010) lançado a cada dez anos, o Maranhão é o estado que detém o maior percentual da população morando em áreas rurais. Pelos dados divulgados, seis milhões e quinhentos mil maranhenses vivem na zona rural, totalizando 36,9% da população maranhense. Devido à distância das cidades, há certas dificuldades de instalação de sistemas fotovoltaicos nessas regiões, tais como: infraestrutura, custo elevado para se levar a energia necessária até essas localidades, falta de mão de obra especializada dentre outros fatores.

#### 4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO MERCADO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA ON GRID NO ESTADO DO MARANHÃO

De modo geral, uma análise de investimentos é feita por meio das seguintes etapas: projeção do fluxo de caixa, avaliação dos fluxos de caixa, cálculo da taxa de desconto, escolha da melhor alternativa de investimento por meio do uso de indicadores de viabilidade econômica (*payback*, VPL, TIR e IL) e análise de sensibilidade (estimativas no retorno do investimento).

Para a elaboração do fluxo de caixa, o investimento inicial no sistema fotovoltaico foi baseado na média do consumo anual residencial (kWh) dos municípios estudados e, diante deste valor, foi projetado no simulador solar do Portal Solar (2017), acrescido de 20% sob o valor do sistema em decorrência dos custos de frete e instalação dos equipamentos, conforme demonstra o quadro 4.

O quadro 5 apresenta o consumo médio anual residencial de 2016 para os dez municípios do estado do Maranhão (maiores rendas per capita), conforme detalhado no Apêndice A – consumo médio mensal residencial de alguns municípios do estado do Maranhão em 2016 – disponibilizados pela concessionária local.

De posse do valor de geração anual, foi detalhada a geração esperada no primeiro ano para cada município e, baseados nestes valores, foram estimados os valores de geração futuros considerando a

depreciação do painel fotovoltaico (estimado em 0,8% a.a. com base no *datasheet* de alguns fabricantes de painéis comercializados no Brasil).

Quadro 4. Preço médio dos *kits* solares para os municípios do estado do Maranhão estudados

<b>Município</b>	<b>Valor médio (Investimento inicial)</b>
Açailândia	RS 14.054,40
Alto Parnaíba	RS 17.348,40
Balsas	RS 17.128,00
Estreito	RS 17.054,40
Imperatriz	RS 16.689,60
Paço do Lumiar	RS 12.736,80
Pedreiras	RS 14.383,80
Porto Franco	RS 16.579,80
São José de Ribamar	RS 14.274,00
São Luís	RS 18.787,20

Fonte: Elaboração própria

Outro ponto a ser considerado na instalação de sistemas fotovoltaicos são as perdas esperadas e quantificadas em sistemas conectados à rede. Estudiosos do segmento atribuem tais perdas típicas a determinados fatores, tais como: sombreamento, temperatura no módulo, degradação na incidência solar inicial, sujidades nos módulos, dentre outros fatores, conforme elucidam Laronde (2010).

No quadro 6 tem-se as perdas típicas quantificadas em um sistema fotovoltaico conectado à rede, num valor estimado de 18%. A partir de tais perdas, pode-se estimar valores mais reais e concretos aos estudos de viabilidade econômica.

Quanto ao reajuste tarifário, foi levantado o reajuste realizado em 2016 no estado do Maranhão, no valor correspondente de 8,24% ao ano na tarifa (com base em estatísticas passadas da Aneel para o ano de 2016 e

previsões do IGPM e IRT). Segundo a Aneel (2016), “os valores de reajuste tarifário no estado do Maranhão a partir de 2016 são os seguintes: para os consumidores residenciais, a alta média será de 8,24% e para a indústria a elevação média será de 8,28%”.

Quadro 5. Geração esperada para os municípios do estado do Maranhão estudados

<b>Município</b>	<b>Geração anual (kWh/ano)</b>	<b>Geração com perdas (18%) (kWh/ano)</b>
Açailândia	1852,95	1519,4190
Alto Parnaíba	2279,74	1869,3868
Balsas	2263,02	1855,6764
Estreito	2706,69	2219,4858
Imperatriz	2644,85	2168,7770
Paço do Lumiar	1996,19	1636,8758
Pedreiras	1837,49	1506,7418
Porto Franco	2200,63	1804,5166
São José de Ribamar	1897,53	1555,9746
São Luís	2598,72	2130,9504

Fonte: Adaptado de LARONDE (2010)

Quadro 6. Perdas típicas em um sistema fotovoltaico conectado à rede

<b>Perdas</b>	<b>Valor considerado</b>	<b>Variação mínima e máxima de perda</b>
Desvio no rendimento nominal do módulo (dados de placa) e da radiação de 1000 W/m	2,5%	- 5% a 10%
Temperatura no módulo	3,5%	- 3% a 6%
Perdas nos condutores no lado DC	2%	1% a 3%
Perdas nos condutores no lado AC	1%	0,7% a 2%
Eficiência do inversor na conversão	1,5%	1% a 15%
<i>Mismatch</i> no MPPT (controlador de carga)	2%	1,5% a 3%
Sombreamento	0%	0 a 100%
Diodos e conexões	0,5%	0,3% a 0,5%
Transformadores	2%	2% a 4%
Sistema <i>solar-tracking</i> (rastreamento solar)	0%	0 a 2%
Degradação na incidência solar inicial	1%	1% a 10%
Indisponibilidade do sistema	0%	0 a 0,5%
Sujeira nos módulos	2%	2% a 25%
<b>Total de perdas</b>	<b>18%</b>	-

Fonte: Adaptado de LARONDE (2010)

Por fim, outro ponto importante a ser mensurado é o custo de manutenção, referente à limpeza dos painéis, reaperto de conexões, dentre outros, onde apesar de mínimos, custam em média R\$ 150,00 e atualizados em 3% ao ano, corroborando com Miranda (2014) e pesquisa de mercado com empresários do ramo em São Luís/MA. Corroborando com Miranda (2014), o *payback* é o período de tempo necessário para que se obtenha retorno de todo o investimento executado em dada aplicação. Apesar de ser um método de análise geral, é limitado se comparado aos demais indicadores. Nesse indicador não são considerados, o risco, correção monetária ou financiamento, limitando-se ao valor enorme o lucro líquido iguala o valor aplicado no investimento analisado.

Para exemplificar o cálculo do *payback*, o quadro 7 apresenta os dados projetados para o município de Estreito/MA, com obtenção do investimento inicial no período de 10,6 anos, e o quadro 8 apresenta todos os dados referentes dos demais municípios do estado do Maranhão estudados.

Quadro 7. *Payback* estimado para o município de Estreito/MA

Ano	Geração com Depreciação*	Geração com Perdas (18%)**	Tarifa elétrica (kWh)***	Remuneração	Fluxo de caixa acumulado
0					- R\$ 17.054,40
1	2706,69	2219,48	0,502	R\$ 1.114,18	- R\$ 15.940,22
2	2685,03648	2201,729914	0,5433648	R\$ 1.196,34	- R\$ 14.743,88
3	2663,556188	2184,116074	0,58813806	R\$ 1.284,56	- R\$ 13.459,32
4	2642,247739	2166,643146	0,636600636	R\$ 1.379,29	- R\$ 12.080,03
5	2621,109757	2149,310001	0,689056528	R\$ 1.481,00	- R\$ 10.599,03
6	2600,140879	2132,115521	0,745834786	R\$ 1.590,21	- R\$ 9.008,83
7	2579,339752	2115,058596	0,807291572	R\$ 1.707,47	- R\$ 7.301,36
8	2558,705034	2098,138128	0,873812398	R\$ 1.833,38	- R\$ 5.467,98
9	2538,235393	2081,353023	0,945814539	R\$ 1.968,57	- R\$ 3.499,41
10	2517,92951	2064,702198	1,023749657	R\$ 2.113,74	- R\$ 1.385,67
11	2497,786074	2048,184581	1,108106629	R\$ 2.269,61	R\$ 883,94

\* Depreciação estimada do painel fotovoltaico em 0,8% a.a. (base no *datasheet* da maioria dos fabricantes)

\*\* Perdas elétricas consideradas em 18% a.a.

\*\*\* Reajuste de 8,24% a.a. na tarifa (base em estatísticas passadas pela Aneel e previsões do IGPM e IRT)

Fonte: Elaboração própria

Quadro 8. *Payback* estimado para os municípios do estado do Maranhão estudados.

<b>Município</b>	<b><i>Payback</i> estimado</b>
Açailândia	12,06 anos
Alto Parnaíba	12,08 anos
Balsas	12,04 anos
Estreito	10,61 anos
Imperatriz	10,62 anos
Paço do Lumiar	10,70 anos
Pedreiras	12,30 anos
Porto Franco	12,01 anos
São José de Ribamar	12,21 anos
São Luís	11,60 anos

Fonte: Elaboração própria

No que se refere aos indicadores de viabilidade econômica VPL, TIR e IL, o quadro 9 apresenta como exemplo os dados projetados também para o município de Estreito/MA, correspondente à taxa de atratividade de 4% ao ano.

Analisando-se o quadro 9 é viável investir-se no setor fotovoltaico no município de Estreito/MA. Segundo as regras de decisão para os indicadores econômicos apresentados:  $VPL > 0$  ( $VPL = R\$ 20.064,01$ ) é viável, pois os retornos oferecidos cobrirão o capital investido, a  $TIR > TMA$  ( $6\% > 4\%$ ) devendo-se aceitar o projeto e o  $IL > 1$  ( $IL = 2,18$ ), recomendando-se o projeto de investimento.

Quadro 9. VPL, TIR e IL estimados para o município de Estreito/MA

Ano	Geração com Depreciação (*)	Geração com Perdas (18%) (**)	Tarifa elétrica (kWh) (***)	Remuneração	Custo de Manutenção (****)	Saldo	Valor Presente (4% a.a.)
1	2706,69	2219,48	0,502	R\$ 1.114,18	R\$ 150,00	R\$ 964,18	R\$ 927,10
2	2685,03648	2201,729914	0,5433648	R\$ 1.196,34	R\$ 154,50	R\$ 1.041,84	R\$ 963,24
3	2663,556188	2184,116074	0,58813806	R\$ 1.284,56	R\$ 159,14	R\$ 1.125,43	R\$ 1.000,50
4	2642,247739	2166,643146	0,636600636	R\$ 1.379,29	R\$ 163,91	R\$ 1.215,38	R\$ 1.038,91
5	2621,109757	2149,310001	0,689056528	R\$ 1.481,00	R\$ 168,83	R\$ 1.312,17	R\$ 1.078,51
6	2600,140879	2132,115521	0,745834786	R\$ 1.590,21	R\$ 173,89	R\$ 1.416,31	R\$ 1.119,33
7	2579,339752	2115,058596	0,807291572	R\$ 1.707,47	R\$ 179,11	R\$ 1.528,36	R\$ 1.161,43
8	2558,705034	2098,138128	0,873812398	R\$ 1.833,38	R\$ 184,48	R\$ 1.648,90	R\$ 1.204,83
9	2538,235393	2081,353023	0,945814539	R\$ 1.968,57	R\$ 190,02	R\$ 1.778,56	R\$ 1.249,59
10	2517,92951	2064,702198	1,023749657	R\$ 2.113,74	R\$ 195,72	R\$ 1.918,02	R\$ 1.295,75
11	2497,786074	2048,184581	1,108106629	R\$ 2.269,61	R\$ 201,59	R\$ 2.068,02	R\$ 1.343,35
12	2477,803786	2031,799104	1,199414615	R\$ 2.436,97	R\$ 207,64	R\$ 2.229,33	R\$ 1.392,44
13	2457,981355	2015,544711	1,29824638	R\$ 2.616,67	R\$ 213,86	R\$ 2.402,81	R\$ 1.443,07
14	2438,317504	1999,420354	1,405221881	R\$ 2.809,63	R\$ 220,28	R\$ 2.589,35	R\$ 1.495,28
15	2418,810964	1983,424991	1,521012165	R\$ 3.016,81	R\$ 226,89	R\$ 2.789,93	R\$ 1.549,15
16	2399,460477	1967,557591	1,646343567	R\$ 3.239,28	R\$ 233,70	R\$ 3.005,58	R\$ 1.604,70
17	2380,264793	1951,81713	1,782002277	R\$ 3.478,14	R\$ 240,71	R\$ 3.237,44	R\$ 1.662,01
18	2361,222675	1936,202593	1,928839264	R\$ 3.734,62	R\$ 247,93	R\$ 3.486,70	R\$ 1.721,13
19	2342,332893	1920,712972	2,08777562	R\$ 4.010,02	R\$ 255,36	R\$ 3.754,65	R\$ 1.782,12
20	2323,59423	1905,347269	2,259808331	R\$ 4.305,72	R\$ 263,03	R\$ 4.042,69	R\$ 1.845,03
21	2305,005476	1890,10449	2,446016537	R\$ 4.623,23	R\$ 270,92	R\$ 4.352,31	R\$ 1.909,94
22	2286,565432	1874,983655	2,6475683	R\$ 4.964,15	R\$ 279,04	R\$ 4.685,10	R\$ 1.976,90
23	2268,272909	1859,983785	2,865727928	R\$ 5.330,21	R\$ 287,42	R\$ 5.042,79	R\$ 2.045,99
24	2250,126726	1845,103915	3,101863909	R\$ 5.723,26	R\$ 296,04	R\$ 5.427,22	R\$ 2.117,28
25	2232,125712	1830,343084	3,357457495	R\$ 6.145,30	R\$ 304,92	R\$ 5.840,38	R\$ 2.190,82
							R\$ 37.118,41
				<b>VPL</b>	<b>R\$ 20.064,01</b>	<b>VPL &gt; 0</b>	
				<b>TIR</b>	<b>6,00%</b>	<b>TIR &gt; TMA</b>	
				<b>IL</b>	<b>2,18</b>	<b>IL &gt; 1,0</b>	
* Depreciação estimada do painel fotovoltaico em 0,8% a.a. (base no <i>datasheet</i> da maioria dos fabricantes)							
** Perdas elétricas consideradas em 18% a.a.							
*** Reajuste de 8,24% a.a. na tarifa (base em estatísticas passadas pela Aneel e previsões do IGPM e IRT)							
**** Custo com manutenção atualizados em 3% a.a.							

Fonte: Elaboração própria

## 5 CONCLUSÃO

Analisando-se o indicador de viabilidade econômica *payback*, pôde-se observar que o retorno do investimento nos dez municípios do estado do Maranhão estudados ocorre entre 10 e 12 anos. Convém salientar que se a análise fosse realizada por residência (unidade), o *payback* estimado poderia ser bem menor do que os constatados pelas médias de consumo por município.

Por meio dos dados obtidos do quadro 10, pôde-se observar que é viável investir no setor fotovoltaico nos municípios estudados pelos indicadores VPL e IL, tendo em vista o  $VPL > 0$  (viável, pois os retornos oferecidos cobrirão o capital investido) e  $IL > 1$  (recomenda-se o projeto de investimento) em todos os casos apresentados.

Quanto ao indicador TIR obtiveram-se três conclusões: para a taxa de atratividade de 4% ao ano, todos os municípios foram favoráveis; para a taxa de atratividade de 4,7% ao ano, a TIR foi superior a TMA (aceitação do projeto) em quatro municípios (Estreito, Imperatriz, Paço do Lumiar e São Luís) e para as taxas de atratividade de 6,18% ao ano e 6,5% ao ano, a TIR foi menor que a TMA.

A TIR isoladamente não é uma medida de atratividade de investimento, portanto não pode ser utilizada diretamente como o único critério de seleção entre oportunidades de investimento, a não ser que todas tenham investimentos iguais, que não é o caso das projeções realizadas em se tratando de estimativas.

Quando se analisam parâmetros de viabilidade econômica individualmente por residência, por exemplo, dependendo do consumo (conta de energia elétrica mais cara), têm-se a previsibilidade de obter ganhos mais significativos na redução de sua conta de energia elétrica, refletindo em melhores indicadores de viabilidade econômica.

O presente trabalho pode servir como referência para consumidores interessados no sistema de instalação *on grid* (conectado à rede) em suas residências, no intuito de saberem o tempo de retorno do investimento estimado e a rentabilidade anual desses sistemas em seus municípios frente às taxas de retorno mais diversas no mercado de capitais.

Por meio das análises realizadas, ficou evidenciado para empreendedores e consumidores que o Estado do Maranhão é viável tanto economicamente, por meio dos indicadores de viabilidade econômica estudados, quanto por apresentar condições climáticas satisfatórias para tal investimento, corroborando, assim com estudos e pesquisas para esta região do Brasil.

A viabilidade da microgeração fotovoltaica depende de diversos fatores, tais como o investimento necessário na aquisição do sistema, desempenho do sistema, nível de irradiação solar na região estudada, energia gerada e também das condições vigentes nas tarifas de energia elétrica para o grupo residencial no modelo de avaliação proposto neste trabalho.

Levando-se em consideração os aspectos econômicos e ambientais deste projeto, ao fomentar o desenvolvimento sustentável ou no risco de ocorrer racionamento de energia, pode-se favorecer uma análise positiva mais abrangente sobre esse investimento e prospecção a ser vivenciada no estado do Maranhão, tornando o projeto de investimento no setor fotovoltaico mais atrativo e o fomento para abertura de novas empresas.

Apesar do grande potencial solar, financeiramente o estado fica aquém das demais federações, carecendo de políticas públicas, aumento da renda per capita, incentivos sociais e fiscais, maior divulgação de sua abrangência e benefícios e, por fim, ações de fomento. Todo este vislumbre potencializa novos investimentos e novas empresas para atuação nesse ramo promissor.

Atualmente, grande parte dos incentivos por parte do governo do estado do Maranhão para comunidades de baixa renda são voltados para o pequeno agricultor, com por exemplo, entrega de kits solares, sistemas de captação de energia solar para irrigação e agropolos. Todas estas ações representam um incentivo para a agricultura e a economia destas regiões, desonerando a produção dessas comunidades rurais na obtenção de energia elétrica. Municípios como São José de Ribamar e Raposa estão entre alguns dos beneficiados com a instalação destes sistemas.

Tais ações potencializam o interesse de abertura de novas empresas ou até mesmo a ampliação de novos mercados pelas empresas já consolidadas no estado do Maranhão. Ações como promover a divulgação dessa fonte de energia renovável, seus benefícios, viabilidade econômica e programas de capacitação de mão de obra especializada podem estar inclusos no *know how* dessas empresas para ampliação de seus negócios. Para prospecção de novos mercados, este trabalho colabora também como base para proposição e elaboração de um plano de negócios por parte das empresas direcionado para o setor fotovoltaico no estado do Maranhão.

Nesta região, necessita-se da disposição de empreendedores para o desenvolvimento de uma cadeia produtiva capaz de suprir as expectativas de um mercado que possui características ainda em fase de amadurecimento, como o caso da microgeração fotovoltaica. Assim, faz-se necessário o conhecimento dos riscos e que se estabeleça um planejamento na forma de um plano de negócio para o setor.

O plano de negócio é uma ferramenta ideal para traçar um retrato fiel do mercado, do produto e das práticas do empreendedor, ajudando a concluir se sua ideia colocada em prática é viável e a buscar informações mais detalhadas sobre o seu ramo, os produtos e serviços que irá oferecer e seus stakeholders, tais como seus clientes, concorrentes, fornecedores e, principalmente, sobre os pontos fortes e fracos do negócio em questão.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Capacidade de geração do Brasil. 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 01 de outubro de 2016.

AMERICA DO SOL. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Disponível em: <<http://app.americadosol.org/redesolar/>>. Acesso em: 22 de julho de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA (ABINEE). Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira. São Paulo: ABINEE, 2012.

ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA (COGEN). Microgeração de energia. Disponível em: <<http://www.cogen.com.br/principais-noticias/microgeracao-de-energia-cresce-44-em-2016>>. Acesso em: 03 de dezembro de 2016.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). Base de dados de irradiação solar incidente. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 05 de dezembro de 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Análise da Inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira. Rio de Janeiro: 2012.

\_\_\_\_\_. Balanço Energético Nacional 2016: ano base 2015. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

\_\_\_\_\_. Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas): 2004-

2015. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumomensaldeenergiael%C3%A9tricaporclasse\(regi%C3%B5esesubistemas\)%E2%80%932011-2012.aspx](http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumomensaldeenergiael%C3%A9tricaporclasse(regi%C3%B5esesubistemas)%E2%80%932011-2012.aspx)>. Acesso em: 22 de março de 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Renda domiciliar per capita 2016. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Trabalho\\_e\\_Rendimento/Pesquisa\\_Nacional\\_por\\_Amostra\\_de\\_Domicilios\\_continua/Renda\\_domiciliar\\_per\\_capita/Renda\\_domiciliar\\_per\\_capita\\_2016.p\\_df](ftp://ftp.ibge.gov.br/Trabalho_e_Rendimento/Pesquisa_Nacional_por_Amostra_de_Domicilios_continua/Renda_domiciliar_per_capita/Renda_domiciliar_per_capita_2016.p_df)>. Acesso em: 20 de março de 2017.

\_\_\_\_\_. Censo demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=21&dados=0>>. Acesso em: 07 de dezembro de 2016.

INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS NA AMÉRICA LATINA (IDEAL). O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica: Edição 2015. Disponível em: <[https://issuu.com/idealeco\\_logicas/docs/2015\\_ideal\\_mercadogdfv\\_150901\\_final](https://issuu.com/idealeco_logicas/docs/2015_ideal_mercadogdfv_150901_final)>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2016.

LARONDE, R. Reliability of Photovoltaic Modules Based on Climatic Measurement Data. France: University of Angers, 2010.

MIRANDA, A.B.C.M. Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Projeto de graduação em Engenharia Elétrica. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.



## CAPÍTULO 5

# RESÍDUOS SÓLIDOS NAS PRAIAS DA AVENIDA LITORÂNEA DE SÃO LUÍS-MA

Marcio José Celeri<sup>1</sup>  
José Manoel Mondego Ramos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Docente na Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Geociências.

<sup>2</sup> Bacharel em Direito e Geografia pela Universidade Federal do Maranhão.

### RESUMO

O crescimento populacional e o intenso processo de urbanização são fatores que podem levar ao desequilíbrio ambiental. A cidade de São Luís no estado do Maranhão vivenciou esses dois fatores nas últimas décadas, sobretudo com a chegada de grandes projetos industriais, que trouxeram desenvolvimento socioeconômico, mas também alguns problemas de natureza urbana, social e ambiental, gerada pela expansão desordenada do território e com construções de moradias em áreas pouco prováveis para essa finalidade. Na mesma esteira do incremento populacional avança, também, a geração dos resíduos sólidos urbanos, proveniente do consumo dos recursos naturais e de produtos manufaturados, que são agravados pela disposição e destinação ambientalmente inadequadas. Este estudo analisou a geração dos resíduos nas praias de São Marcos e Calhau na Avenida Litorânea de São Luís (MA) com pesquisas de campo, com as técnicas de transectos georreferenciados e caracterização das prováveis fontes, para entender de que forma o crescimento urbano contribuiu para o aumento da geração de resíduos sólidos e os seus reflexos no meio geográfico. O resultado auxiliará o poder público no enfrentamento dos problemas gerados no descarte e consumo, trazendo instrumentos importantes no avanço da prevenção, redução e reciclagem dos resíduos sólidos, sem desmerecer outros preceitos normativos como leis de âmbito federal, estadual e municipal com orientações para prevenção dos impactos ambientais.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos. Caracterização. Praias. São Luís.

## 1 INTRODUÇÃO

O consumo é uma atividade que faz parte da vida do ser humano ao longo da história. O desenvolvimento das sociedades, notadamente com o industrialismo e a concentração da população nos centros urbanos, impulsionou a produção de bens e serviços em larga escala, com objetivo de atender as novas demandas do mercado consumidor que começava a se expandir. Desta relação produção e consumo, surgiram os resíduos sólidos (RS), ainda hoje mencionados pela maioria das pessoas como “lixo”, que a princípio era absorvido pela natureza devido ao baixo volume produzido, porém, na atualidade, passou a figurar como um dos maiores problemas ambientais do planeta.

A produção de bens e serviços, aliada aos avanços tecnológicos, tem submetido a natureza a um volume cada vez maior de RS, inclusive aqueles produzidos por materiais tóxicos como o chumbo presente no resíduo eletrônico, questões que se tornaram as mais discutidas nas últimas décadas em matéria ambiental, sobretudo porque a sociedade não tem sido capaz de reduzir a quantidade de bens consumidos e nem levado em conta a finitude dos recursos naturais ainda disponíveis.

O excesso de consumo pode facilmente levar ao desequilíbrio ambiental pela enorme quantidade de RS e formas de tratamento ainda inadequadas em determinadas cidades, deixando o ser humano cada dia mais vulnerável a eventos como enchentes, desabamentos de encostas e a contaminação por vários tipos de doenças. Compreender esses problemas é fundamental para a implementação de políticas públicas que sejam capazes de viabilizar recursos técnicos, sociais e econômicos em benefício dessa parcela expressiva da população que é afetada pelos impactos negativos da disposição irregular.

A geração de RS passou a ser um dos principais desafios, em que governo e sociedade têm um enorme compromisso com o meio ambiente sustentável. O Brasil há alguns anos vem se preocupando com as causas ambientais, principalmente depois da promulgação da Constituição Federal de 1988, que destinou um capítulo a essa temática e mais recentemente com a entrada em vigor da Lei 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), dispendo sobre princípios,

objetivos e instrumentos, bem como as diretrizes para a gestão integrada e ao gerenciamento de RS, com vistas a solucionar ou minimizar essa relevante questão ambiental no país.

Atividade produtiva e consumo sempre fizeram parte das necessidades humanas surge, diante dessa conjuntura um grande dilema: como continuar produzindo com a utilização de recursos naturais que são finitos e o que fazer com as sobras do processo de consumo, em que há um nítido esgotamento de absorção pela natureza? Pensando nisso, o legislador elencou por meio da PNRS, mecanismos voltados para a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental, destacando a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamentos dos RS, no intuito de conter seus efeitos nocivos ao meio natural, decorrentes das emissões de poluentes lançados no solo, nas águas e no ar. Como parte das medidas para solucionar esses problemas, a PNRS determinou em 2014 a extinção dos lixões a céu aberto nas cidades brasileiras e substituição por aterros sanitários.

A cidade de São Luís foi uma das primeiras capitais a cumprir as diretrizes da PNRS com o fechamento do lixão da Ribeira em 2015, segundo divulgação na mídia local, passando a depositar todo resíduo coletado da capital na Central de Tratamento de Resíduos no município de Rosário. Com isso, a área degradada pelo rejeito está sendo recuperada e acompanhada com monitoramento ambiental dos lençóis freáticos, do ar, do solo e da fauna, visando eliminar os impactos de anos de depósito irregular de RS (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 2018).

O crescimento populacional nas últimas décadas em São Luís, ocasionado pela instalação de polos industriais e a ausência de planejamento e zoneamento urbano eficaz, incorreu em ocupação aleatória do solo com construção de moradias em locais sem acesso à infraestrutura ou em áreas de riscos, aumentando os problemas de ordem ambiental como, por exemplo, a destinação e disposição de RS de maneira indiscriminada agredindo o meio ambiente. Em consequência das altas taxas de crescimento populacional e de alguns tipos de indústrias na área do Golfão Maranhense, a intensidade e a magnitude das atividades humanas na faixa costeira da Ilha do Maranhão impõem grande vulnerabilidade à paisagem costeira (FEITOSA; TROVÃO, 2006, p. 94).

Dessa forma, o aumento da população urbana somado ao desenvolvimento econômico e tecnológico potencializou o consumo, evidenciado pela quantidade e diversidade de RS depositados em áreas ambientais, lixões improvisados e nos espaços públicos de grande circulação, como as praias de São Marcos e Calhau na Avenida Litorânea, local do nosso estudo, onde os RS são acondicionados de forma inadequada e até dispostos na via pública, na faixa de areia e na vegetação que margeia o calçadão.

A Avenida Litorânea foi construída na década de 1990, visando o desenvolvimento urbano na parte norte da capital, com a finalidade de servir como polo de atração turística e melhoria da malha viária com a implementação do transporte coletivo. Com essa infraestrutura, começou a forte especulação imobiliária, tornando local de moradia para famílias de alto poder aquisitivo e a orla mais frequentada para atividades recreativas da população, sobretudo depois da construção de bares e restaurantes, intensificando dessa forma os vários problemas, principalmente nos aspectos sanitário e ambiental.

Diante desse cenário e como parte do nosso estudo, procedemos ao recolhimento dos RS nas praias do Calhau e São Marcos em três pontos georreferenciados, delimitados por transectos de 100m longitudinal, descendo até a maré (baixa mar). Os RS recolhidos em sacos plásticos de 100 litros foram separados, os orgânicos dos inorgânicos, depois caracterizados, pesados, identificadas prováveis fontes, como também padrões de consumo da população residente, comerciante e frequentadores e, finalmente, a formulação dos resultados.

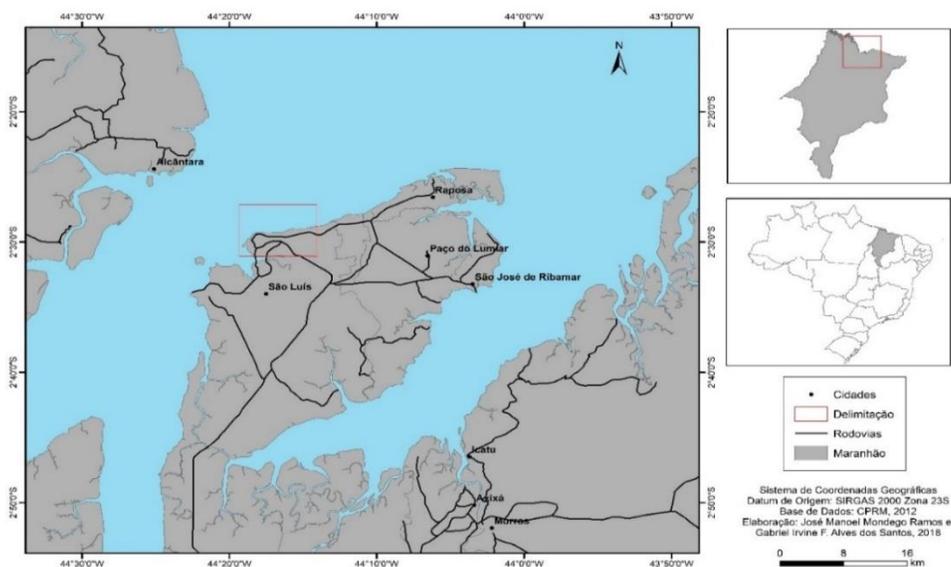
Destarte, o presente estudo permitiu avaliar de que maneira o processo de urbanização acelerada em São Luís contribuiu para um dos maiores problemas ambientais enfrentados atualmente: o acúmulo de RS em áreas impróprias. Este estudo visa permitir o conhecimento a respeito do potencial poluidor do produto ou resíduo, assim como a forma correta do descarte e tratamento dos mesmos e sugerir ações que possam minimizar os danos causados ao meio ambiente.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de São Luís está situada na mesorregião Norte Maranhense, integrando a microrregião da aglomeração urbana de São Luís, com uma população de 1.014,837 habitantes registrada no censo de 2010 e estimativa para 2017 de 1.091,868 habitantes (BRASIL, 2017).

A Ilha do Maranhão está posicionada na parte central do golfo, delimitada pelas baías de São Marcos e São José, consideradas as mais importantes da zona costeira do Maranhão tanto pelos aspectos fisiográficos, por serem desaguadouros dos maiores rios do estado (Mearim e Itapecuru), e por apresentarem intensa dinâmica da paisagem, quanto pela densidade das atividades humanas e a circulação de riquezas (FEITOSA; TROVÃO, 2006, p. 93). Destacam-se ainda, os canais profundos da baía de São Marcos que abriga um dos maiores complexos portuários do Brasil. Neste segmento da zona costeira emersa ao norte da cidade de São Luís (Figura 1), estão as praias de São Marcos e Calhau na Avenida Litorânea, onde foi realizado o presente estudo.

Figura 1. Localização da área de estudo, praias de São Marcos e Calhau



Fonte: Celeri (2018)

### 3 CONTRIBUIÇÃO DA GEOGRAFIA NA RELAÇÃO DO HOMEM COM OS RESÍDUOS SÓLIDOS

A relação dos seres humanos com os RS vem desde os primórdios da civilização, tornando-se mais evidente com a Revolução Industrial. A sua compreensão como transformação dramática das formas de abastecimento pressupõe uma percepção análoga sobre as forças que provocaram a mudança nos hábitos de procura e na transformação de uma classe consumidora, surgida entre as camadas médias da sociedade inglesa do século XVIII (CAMPBELL, 2002 apud PORTILHO, 2010, p. 82). Na nossa atual sociedade, configura-se como um tema desafiador a criação de uma consciência nacional sobre os padrões de consumo e disposição adequada dos rejeitos. Os governos, sociedade organizada e organismos internacionais têm elaborado pautas com questões técnicas, preceitos normativos (leis), conferências, educação ambiental, investimentos em saneamento, dentre outros, no sentido de minimizar os efeitos nocivos que esses rejeitos trazem para a sociedade e o planeta.

A ciência geográfica, por sua vez, vai mais além: considera uma questão socioespacial, sendo solicitada cada vez mais para interpretar essa interface sociedade/natureza. A geografia de hoje fala de população e de paisagens, interessa-se pelos oceanos, pelas montanhas, pelos ambientes extremos, mas também pelas áreas rurais, pela cidade, pelas grandes metrópoles e pelos espaços cada vez maiores de urbanização difusa (CLAVAL, 2010, p. 7). Essa visão holística a faz identificar os acontecimentos e as transformações que ocorrem na sociedade e no planeta terra.

O espaço geográfico é a base concreta da vivência terrena do homem. O ato de transformação da natureza em meios de produção e de vida é a prática de construção consciente do espaço (MOREYRA, 2014, p. 103). Constitui, portanto, os pisos sobre os quais se fixam as populações humanas e são desenvolvidas suas atividades, derivando daí valores econômicos e sociais (GUERRA; CUNHA, 2012, p. 25). É o espaço construído pelas ações dinâmicas da natureza e os criados pelo trabalho humano em conjunto com as relações que ocorrem na vida em sociedade, ou seja, é o resultado de uma interação entre uma sociedade localizada e um dado meio natural e transformado pelo homem (SANTOS, 2012, p.36).

A cidade como espaço de convivência das pessoas passou por várias mudanças ao longo da história Mumford (2008, p. 35) afirma que na primeira transformação urbana:

A cidade pode ser descrita como uma estrutura especialmente equipada para armazenar e transmitir os bens da civilização e suficientemente condensada para admitir a quantidade máxima de facilidades num mínimo de espaço, mas também capaz de um alargamento estrutural que lhe permita encontrar um lugar que sirva de abrigo às necessidades mutáveis e às formas mais complexas de uma sociedade crescente e de sua herança social acumulada (MUMFORD, 2008, p. 35).

As cidades com essa configuração urbana, intensificada a partir da Revolução Industrial, experimentando inovações na produção agrícola, na organização dos negócios e na tecnologia, tiveram consequências revolucionárias para a sociedade, economia e política, impulsionando as pessoas a se deslocarem do campo para a cidade (PERRY, 2015, p. 357). Com esse aumento populacional, precisou-se intervenção do Estado para solucionar os problemas ocorridos do crescimento desordenado das cidades industriais, abrindo caminhos que resultaram na capacitação de mobilizar o potencial humano em todas as direções, seja no planejamento, no domínio do transporte, da comunicação por longas distâncias, do processo industrial, do comércio e da arquitetura para promoção do bem estar da população.

A vida urbana trouxe certa comodidade para a população, mas também uma série de problemas que afetaram de maneira extremamente nociva a vida das pessoas. Nas cidades medievais a crescente população, muitas vezes incapaz de expandir para fora dos seus muros, cobriu os espaços abertos interiores, causando graves erros higiênicos, como os detritos constituídos de matéria orgânica que se decompunham e misturavam com a terra, provocando vários tipos de doenças infecciosas (MUMFORD, 2008, p.347). Não é diferente da era moderna, com os grandes aglomerados urbanos, onde o padrão de salubridade é melhor, mas que ainda é acometido por uma infinidade de doenças provenientes da falta de padrões adequados de saneamento básico, dentre os quais o acúmulo de RS, principalmente nos espaços públicos e bairros nas periferias das cidades onde a presença de serviços públicos ainda é deficitária.

Os RS na sociedade primitiva eram quase inexistentes em razão do alto grau de deslocamento dos humanos, não gerando acúmulo dos rejeitos de consumo, pois poucos existentes eram absorvidos pela natureza. Porém à proporção que os povos foram fixando suas moradias, os problemas começaram a surgir, agravando-se na Idade Média e, sobretudo, anos mais tarde com o industrialismo. Com pouco planejamento, surgiram diversos problemas, tais como o lixo que se multiplicava e era exposto nas ruas, sem nenhum tratamento, esgotos abertos, rios poluídos, fumaça das fábricas e ruas imundas disseminando doenças, atraindo insetos e animais e possibilitando o surgimento de diversas epidemias. Quase todos que escreveram sobre cidades industriais relataram o mau cheiro, a imundície, a aglomeração desumana, a pobreza e a imoralidade (PERRY, 2015, p.359). O planejamento das cidades europeias no século XIX foi proposto como alternativa pública de solução dos problemas urbanos decorrentes da industrialização e do crescimento demográfico, em particular daqueles relacionados à miséria, à poluição e à segregação socioespacial (VITTE; KEINERT, 2009, p. 21).

A urbanização pode ser entendida como um processo de transição de pessoas que vivem no campo e passam por algum motivo a viver no meio urbano. No Brasil, o monopólio da terra e a monocultura promovem a expulsão da população do campo, provocando a expansão física das cidades. A política de planejamento urbano é sempre um instrumento público de controle das relações sociais, que se realiza por meio de medidas e procedimentos de disciplinamento e regulamentação da ação dos agentes públicos e privados no processo de produção do espaço (VITTE; KEINERT, 2009, p. 24). A ausência dessa política, que envolve saneamento básico, ordenamento territorial, educação, segurança, saúde, moradia e emprego, traz consequências negativas, como a favelização, violência urbana, desmatamento, impermeabilização do solo pelo asfalto, poluição por gases das indústrias e dos automóveis aumento da geração dos resíduos sólidos tanto industrial como residencial, que contaminam diretamente os lençóis freáticos, rios dos centros urbanos, problemas de enchentes e doenças por veiculação hídrica.

Dentre esses aspectos negativos para o ser humano e o meio onde vive, destacamos os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), que historicamente

são fruto da degradação e degenerescência dos objetos, de valor econômico ou afetivo, resultantes da transformação e/ou do consumo de materiais (NEVES; MURATORI, 2009). Embora seja um problema que acompanha o homem ao longo da sua existência, em escala mínima, com a industrialização, os RSU passou a ser de fato um problema de saneamento básico, atingindo principalmente as áreas de maior concentração urbana, deixando marcas profundas no meio ambiente, intensificando-se à proporção que a sociedade atingi a patamares maiores de ocupação do espaço e de consumo.

A quantidade e diversidade dos RS gerados estão diretamente relacionadas com o aumento da população e o crescimento da economia. Para minimizar os efeitos danosos à população, é condição essencial o envolvimento de toda sociedade com o apoio do poder público e outros seguimentos envolvidos, com o objetivo de encontrar soluções viáveis e duradouras para melhorar o meio ambiente urbano, transformando as cidades em locais humanizados, agradáveis para viver e livre dos efeitos indesejáveis de degradação ambiental e outras mazelas provocadas pelo homem. A solução para problemas ambientais específicos exige conhecimento específico (VITTE; KEINERT, 2009, p. 3).

Desta forma, pensar o ambiente em Geografia é pensar uma dimensão do espaço geográfico enquanto uno e ao mesmo tempo com múltiplas dimensões e não inviabilizar o ambiental pensado sob outras matrizes complementares e/ou antagônicas. Portanto, a ciência geográfica passa a ter um papel fundamental no sentido de garantir uma visão mais ampla de todas as etapas dessa dinâmica, por não dissociar o viés técnico-operacional da análise social (CELERI, 2012, p. 33).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A etapa de campo teve início com o reconhecimento do local da pesquisa consistindo no percurso em toda extensão da Avenida Litorânea, compreendendo as praias de São Marcos e Calhau, com um mapa de localização dos bares, restaurantes, quiosques e banca de revistas, (Figura 4), confrontando essas informações *in loco*, exceto os hotéis, moradias e

outros estabelecimentos comerciais que estão do outro lado da avenida, e que não fazem parte do nosso campo de pesquisa.

Foram identificados os pontos de maior acúmulo de RS, a forma como são acondicionados, distribuição das lixeiras ao longo da avenida, a existência ou não de coleta seletiva nos estabelecimentos comerciais e se os mesmos dispõem de uma área apropriada de descarte para posterior coleta pelo serviço de limpeza pública municipal. Ainda como parte do levantamento de campo, não concretizado com aplicação de formulários de pesquisas, foram as conversas informais com frequentadores, trabalhadores dos restaurantes e o pessoal do serviço de limpeza, a respeito das principais questões negativas que envolvem os RS nesse ambiente marinho. Essas informações foram essenciais para conhecer melhor a realidade local, os anseios e a visão de cada pessoa sobre os cuidados que todos devem tomar ao frequentar os espaços públicos sem agredi-lo.

Após as primeiras análises e ambientação de toda extensão da Avenida Litorânea, desta vez com o uso do GPS, foram marcadas todas as coordenadas geográficas dos quiosques (bares e restaurantes), banca de revista, barracas de venda de cocos, lixeiras de plástico fixadas nos postes de iluminação pública, contêineres de metal com capacidade para 1.000 litros, tonéis de metal com capacidade de 200 litros e pequenas construções recuadas de alvenaria no formato de “U” para descarte de RS, no total de 129 pontos marcados com suas respectivas coordenadas. Iniciou-se na Praça dos Pescadores até o final da avenida na praia do Calhau, contemplando também o prolongamento construído em 2012 que, mesmo, sem bares e restaurantes, possui atividades de venda de coco presentes.

Figura 2. Uso e ocupação da Avenida da Litorânea em São Luís- 2018



Fonte: Celeri (2018)

A marcação dessas coordenadas teve como objetivo catalogar todos os pontos que são fontes tanto de geração como descarte. Verificou-se, também, a existência de RS em quase todos os recipientes, com maior volume próximo aos quiosques e barracas de venda de cocos. Mesmo com a distribuição das lixeiras de plástico em quase toda extensão da praia, estas ainda são insuficientes, sem levar em conta que muitas apresentavam avarias pela ação do tempo ou por conduta humana, além da pequena abertura (Figura 3) que impossibilita o depósito de RS maiores, ocorrendo transbordo ou deixados no chão. Como medida paliativa, o serviço de limpeza pública colocou alguns recipientes com capacidade maior, porém esses sem locais demarcados e dispostos de forma aleatória no calçadão, servindo, assim até de obstáculos para pessoas que praticam atividades físicas como caminhadas e passeio ciclístico.

Não foram encontrados recipientes para coleta seletiva. Os que estavam dispostos ao longo da avenida continham RS diversificados, nos recipientes maiores como os contêineres com capacidade para 1.000 litros (Figura 4) e tambores de óleo e graxa que foram improvisados como lixeiras. Nesses recipientes são depositadas as sobras de construção, os

resíduos orgânicos (podas de árvores, restos de cocos) e inorgânicos (vidro, metal, plástico, borracha, madeira), enfim, todo tipo de resíduo. Além de não estarem distribuídos de maneira uniforme não tem um local apropriado.

Figura 3. Recipiente de plástico para coleta de resíduos sólidos na Avenida Litorânea



Fonte: captura própria

Figura 4. Contêiner de metal para depósito de Resíduos sólidos na Avenida Litorânea



Fonte: captura própria

Figura 5. Lixeiras de alvenaria na Avenida Litorânea em São Luís



Fonte: captura própria

Figura 6. Depósito irregular de resíduos sólidos na Avenida da Litorânea em São Luís



Fonte: captura própria

As pequenas construções improvisadas de alvenaria em formato de “U”, dispostas em grande extensão da avenida litorânea (Figura 5), para servir de base para as lixeiras de metal, também são usadas para descarte de RS avulsos pelos estabelecimentos comerciais.

Neste aspecto, pela falta de disposição adequada (Figura 6), os RSU, por suas características e composição, favorecem a atração e proliferação de insetos, roedores e animais domésticos que destroem as embalagens espalhando sujeiras sólidas e líquidas na via pública, favorecendo parte da cadeia de transmissão de doenças. Vale lembrar que os restos de cocos, garrafas e outras embalagens deixadas nesses locais, ou na vegetação, podem ser um potencial foco criador de mosquitos transmissores da zika, dengue e chikungunya pelo acúmulo de água nesses recipientes, principalmente no período chuvoso.

Ações como essas ainda são comumente praticadas pela população, observadas durante o período da pesquisa. Parece algo normal para grande parte dos frequentadores depositar restos de consumo, principalmente embalagens de plásticos e restos de cocos na vegetação e na areia da praia, além das questões de saúde pública já mencionadas. Também é uma severa agressão à natureza, inibindo de certa forma o turismo. A cidade como o Rio de Janeiro (RJ), uma das cidades que mais atrai o turista, está aplicando multas para aqueles que jogarem lixo na praia, como forma de inibir essas práticas nocivas (CELERI, 2012).

Sendo assim, o rejeito pode constituir um meio favorável na transmissão de doenças por via direta, que ocorre através de micro-organismos patogênicos (bactérias, vírus, protozoários e vermes), os quais, alcançando os RS, sobrevivem por algum tempo podendo contaminar as pessoas, principalmente aqueles que manipulam esses resíduos, incidindo em doenças epidérmicas, intestinais ou respiratórias (MOTA, 1997). A transmissão por via indireta alcança um número maior de pessoas. Embora não estando em contato direto com os RS, o fato de estar acumulado em local inadequado pode tornar o ambiente propício para a proliferação de roedores e insetos, levando à contaminação por meio desses vetores.

Com relação à forma de acondicionamento dos RS produzidos nas praias do Calhau e São Marcos a maioria dos comerciantes utilizam sacos plásticos e caixas de papelão que são colocados nos containers da Companhia de Limpeza Pública ou depositam nas lixeiras improvisadas, construídas de alvenaria ou, ainda, abrem buracos na areia da praia para deposição dos RS (Figura 6), que depois serão recolhidos pelo pessoal da limpeza em caminhões e caçambas.

Após essas observações em dias e horários alternados, tivemos uma noção geral sobre as questões dos RS nas praias de São Marcos e Calhau, e partimos para a coleta dos mesmos nesses dois ambientes de pesquisa. A coleta foi realizada no dia 12 de maio de 2018, com a maré em baixa mar (Diretoria de Hidrografia e Navegação, Marinha do Brasil - São Luís Maranhão - 02°31,6'S S; 044°18,7' W - carta 00412) (MARINHA DO BRASIL, 2018), em três pontos georreferenciados: dois na praia do Calhau e um na praia de São Marcos.

A área compreendida em cada uma das três coletas foi em um transecto amostral, com o estiramento de um cordão com o comprimento de 100 m paralelo ao calçadão da avenida, fixando as extremidades com hastes de metal, onde delimitamos uma linha imaginária descendo até o nível da maré em baixa mar, formando uma área e, dentro dela, procedemos ao recolhimento de todos os RS, inclusive na vegetação no limite superior da praia para avaliar também o padrão de deposição.

Figura 7. Demarcação de transecto na praia de São Marcos



Fonte: captura própria

Figura 8. Resíduos sólidos da primeira coleta da praia do Calhau



Fonte: captura própria

Nesta coleta obteve-se uma grande variedade de resíduos inorgânicos (plástico, vidro, tecido, metal, madeira, isopor, borracha, dentre outros) e orgânicos (Figura 8). O maior volume foi de embalagens de plástico e restos de cocos, principalmente próximos aos quiosques e bares, mesmo com a rotina diária de limpeza pública. Nas três coletas a predominância foi de cocos em quantidade/peso, porém o plástico devido sua vasta utilização foi o mais encontrado.

Por isso que esse tipo de material tem sido causa de preocupação de ambientalistas e defensores da vida marinha, por representar um dos principais vilões do ambiente marinho, pois é confundido por muitos animais com alimento, o que ocasiona a morte de muitas espécies, como aves marinhas e tartarugas. Ao consumirem o plástico acabam morrendo por ficarem com o aparelho digestivo repleto desse material e isso diminui a capacidade de assimilação de nutrientes provenientes de alimentos verdadeiros (CUTRIM et al., 2016).

Para catalogar os dados da pesquisa não foi usado laboratório, todo trabalho foi realizado no campo. Os RS coletados foram separados por

categoria (Tabela 1), depois foram pesados os mais volumosos e em maior quantidade, os incluídos na categoria diversos, foram apenas pesados. Após o término, os RS e rejeitos recolhidos para análise foram depositados em contêineres do serviço de limpeza pública.

Tabela 1. Quantidade de resíduos sólidos coletados nas praias da Avenida Litorânea - 2018

Resíduos	1ª coleta Calhau	2ª coleta Calhau	3ª coleta São Marcos
Diversos	5,5	0,6	3,45
Papelão	1	0,5	-
Madeira	2	0,5	1
Plástico	3	0,7	1
Material de pesca	1,5	1	0,8
Restos de coco	35	110	25
Total kg	48	113,3	31,25

Fonte: Celeri (2018)

Em termos de peso e volume, os restos de cocos têm uma quantidade expressiva, isso considerando apenas aqueles dispostos dentro das áreas previamente demarcadas (transectos). Para se chegar ao peso total em cada área, pesamos um resto de coco (+/- 1,100 kg) e multiplicamos pela quantidade encontrada. Notamos que este tipo de resíduo os usuários simplesmente deixam em qualquer local após consumir o conteúdo, mesmo que existam lixeiras nas proximidades. É de causar repulsa como a educação ambiental ainda não faz parte da vida dessas pessoas que agem de forma tão rasteira com relação ao meio ambiente.

Ainda sobre a diversidade dos RS nas três coletas, fica evidenciado a falta de consciência ambiental da maioria dos frequentadores desses espaços públicos. Ainda não têm o devido cuidado ao descartarem seus resíduos, que se somam aos que foram jogados e/ou deixados em outras praias, rios e córregos da ilha que fluem pela cidade e são trazidos pelas

correntezas depositando-se na areia e vegetação da orla, resultando, assim, na introdução de uma quantidade considerável desses rejeitos no ambiente marinho. Esse lixo prejudica a vida dos organismos bentônicos, como estrelas-do-mar, corais, caranguejos, esponjas, caramujos, entre outros, e dos nectônicos, principalmente os peixes (CUTRIM et al., 2016).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível afirmar que os RS se tornou um dos grandes problemas ambientais do planeta, apesar dos esforços para a adoção de mecanismos de controle desde a produção até a disposição final, com leis que tratam exclusivamente dessa questão. Porém, ainda não foram suficientes para conter os enormes danos de degradação ambiental provenientes dos restos de consumo pela população.

Proteger o meio ambiente e combater a poluição em todas as suas formas é dever de todos, cabendo ao poder público, de acordo com a política de RS, implantar planos de educação ambiental em todos os segmentos da sociedade, gestão e gerenciamento de RS no município, logística reversa, responsabilidade compartilhada, coleta seletiva e incentivar os munícipes a contribuir com o consumo consciente, controle do desperdício e, sobretudo, destinar os resíduos para locais adequados. Se todas essas ações de responsabilidade da população não forem suficientes para diminuição dos impactos causados pelos RS, uma das alternativas encontradas por algumas prefeituras brasileiras é multar pessoas que jogam resíduos na via pública. Só assim pode ser capaz de diminuir efeitos indesejáveis das sobras pós-consumo deixadas pela população.

Como os meios de controle de poluição ainda são incipientes em São Luís, grande quantidade de resíduos são retirados diariamente das praias que foram analisadas, não havendo sequer uma diminuição acentuada no decorrer dos meses. Isso demonstra que algo de urgente precisa ser feito, sob pena de nunca chegarmos a níveis aceitáveis de geração de resíduos. É aquela máxima, que ainda está arraigada na cultura de grande parcela da população, “tem quem limpe”. E o poder público, por

sua vez, acha normal recolher toneladas de resíduos diariamente sem ter uma política de reciclagem bem definida, destinando quase todo esse quantitativo ao aterro sanitário, que pode servir de fonte de renda. Sem falar dos que se encontram em terrenos baldios e áreas de preservação, como os manguezais, rios e córregos que permeiam o espaço urbano da ilha, desembocando nas praias e oceanos, prejudicando o meio costeiro e marinho.

O presente trabalho de análise socioambiental com atenção voltada para a pesquisa de campo, o comportamento humano em relação ao consumo, geração e descarte de RS nas praias de São Marcos e Calhau, constata que o crescimento populacional nas cidades que não dispõe de Política Municipal de Resíduos Sólidos definida é diretamente proporcional ao volume produzido, ou seja, quanto maior a população mais RS gerados. Fica evidente que, se um governo não investe em educação em todos os níveis, dificilmente sua população terá a consciência de que preservar o meio ambiente é também preservar a continuidade da vida.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativa da população 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/sao-luis/panorama>>. Acesso em: 19 de março de 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Política Nacional de Resíduos sólidos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/politica-de-residuos-solidos>>. Acesso em: 03 de maio de 2018.

CELERI, Márcio José. A política Nacional de Resíduos Sólidos: proposta de adequação para a gestão e o gerenciamento dos consórcios intermunicipais. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.

CELERI, Márcio José. Gestão de Resíduos nas praias de São Luís. Relatório final de pesquisa para o CNPq. São Luís: 2018.

CLAVAL, Paul. Terra dos homens: a geografia. São Paulo: Contexto, 2010.

CUTRIM, Andréa Christina Gomes de Azevedo et al. Ecofaxina e Educação Ambiental nos Afloramentos de Laterita da Praia do Caolho, São Luís - MA,

2016. 2016. Disponível em:  
<<http://www.undb.edu.br/ceds/revistadoceds>>. Acesso em: 16 de agosto de 2018.

FEITOSA, Antônio Cordeiro; TROVÃO, José Ribamar. Atlas Escolar do Maranhão: Espaço Geo-histórico e Cultural. João Pessoa: Grafiset, 2006.

GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

MARINHA DO BRASIL. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Tábua de Maré de São Luís. Marinha do Brasil, 2018

MOREYRA, Rui. O pensamento geográfico brasileiro: as matrizes brasileiras. V.3, 1.ed. São Paulo: Contexto, 2014.

MOTA, Suetônio. Introdução à engenharia ambiental. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

MUMFORD, Lewis. A cidade na história: suas origens, transformações e perspectivas. 5. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

NEVES, Fábio de Oliveira; MURATORI, Ana Maria. A geografia do lixo: dos espaços de relegação aos de proximidade. 2009. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/geografar/article/viewFile/14340/9654>>. Acesso em: 23 de março de 2018.

PERRY, Marvin. Civilização ocidental: uma história concisa. Tradução Waltensir Dutra, Silvana Vieira. 4. ed. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2015.

PORTILHO, Fátima. Sustentabilidade ambiental, consumo e cidadania. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2010.

PREFEITURA DE SÃO LUÍS. Prefeitura e população participam juntos de ação em praias de São Luís. Disponível em: <<https://www.saoluis.ma.gov.br/comitedelimpeza>>. Acesso em: 24 de setembro de 2018.

SANTOS, Milton. Por uma Geografia Nova: Da Crítica da Geografia a uma Geografia Nova. 6. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012.

VITTE, Claudete de Castro Silva; KEINERT, Tânia Margarete Mezzomo. Qualidade de vida, planejamento e gestão urbana: discussões teórico-metodológicas. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.



## CAPÍTULO 6

### QUALIDADE AMBIENTAL: PROMOVENDO SAÚDE E A CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS AQUÁTICOS DE SANTO AMARO-MA

Margareth Marques dos Santos<sup>1</sup>  
Camila Mendes Fonsêca Barros<sup>2</sup>  
Natália Jovita Pereira<sup>3</sup>  
Débora Martins Silva Santos<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Graduada em Ciências Biológicas – Universidade Estadual do Maranhão.

<sup>2</sup> Graduada em Ciências Biológicas – Universidade Estadual do Maranhão.

<sup>3</sup> Mestranda em Recursos Aquáticos e Pesca – Universidade Estadual do Maranhão.

<sup>4</sup> Professora da graduação e pós-graduação em Recursos Aquáticos e Pesca – Universidade Estadual do Maranhão.

#### RESUMO

A relação do homem com o ambiente natural é uma preocupação pertinente no quadro ambiental e social na atualidade, principalmente quando se trata dos recursos naturais. A hidrografia do município de Santo Amaro é composta por rios e lagos, contudo, essa região apresenta indicadores de desenvolvimento humano abaixo da média nacional. Além disso, as atividades humanas têm determinado alterações no meio ambiente, por isso há a necessidade de educar ambientalmente a população, sendo uma estratégia de fundamental importância para a formação de cidadãos conscientes de suas responsabilidades com o meio ambiente. Nesse sentido, este trabalho objetivou promover a sensibilização, mobilização e conscientização da comunidade ribeirinha e dos pescadores quanto à preservação dos recursos aquáticos, a partir do processo de Educação Ambiental, respaldado pela avaliação da qualidade da água e do pescado. As ações estão sendo realizadas com pescadores do município de Santo Amaro e da comunidade de Bebedouro, bem como as coletas de material para o diagnóstico ambiental. Estas caracterizam o processo de sensibilização ambiental da comunidade, onde foram distribuídos materiais educativos e realizada uma roda de conversa sobre as temáticas ambientais e de saúde com a comunidade. Além das ações foi feita coleta de água para análise microbiológica e dos parâmetros físico-químicos. As análises da água indicaram que o Lago Jangada, que é

utilizado pela comunidade de Bebedouro, encontra-se contaminado com bactérias do grupo dos coliformes termotolerantes, tornando-se imprópria para sua utilização. Previamente foi realizado um diagnóstico observacional dessa comunidade. Pôde-se constatar que as comunidades de Bebedouro, bem como outras localizadas nas adjacências de Santo Amaro, encontram-se isoladas, portanto têm pouco ou nenhum acesso a serviços básicos, como os de saúde e saneamento, tendo que se deslocar através do transporte fluvial para regiões mais distantes. Diante dessa realidade as ações se voltaram para o aspecto da saúde, havendo um contato direto com a comunidade sobre questões das doenças parasitárias de veiculação hídrica através de instruções profiláticas das enfermidades. Além disso, foi realizada coleta de material para exames parasitológicos. Essas instruções, em conjunto com as questões sobre o ambiente em que vivem, são fundamentais para o desenvolvimento de ideias de caráter conservacionista que podem cessar lacunas de conhecimento, uma vez que estimulam a mentalidade socioambiental, o autocuidado e profilaxia quando se trata de doenças, melhorando a qualidade de vida da população.

Palavras-chave: Educação Ambiental. Qualidade da água. Saúde.

## 1 INTRODUÇÃO

O município de Santo Amaro do Maranhão compreende a área ocidental dos Lençóis Maranhenses, abrangendo parte do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, unidade de conservação ambiental criada para preservar a integridade do extenso conjunto de dunas móveis, intercaladas por lagoas de origem pluvial. As lagoas têm duração efêmera, formando-se durante os meses de verão e outono e exaurindo-se durante a estação seca que corresponde ao inverno e à primavera (ARAÚJO; SOUSA; FEITOSA, 2011).

A hidrografia do município é composta por rios e lagos, das quais temos o rio Negro, que delimita o limítrofe territorial com o município de Barreirinhas e o rio Alegre que banha o município, além de lagos formados ao entorno de Santo Amaro já na área do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, tendo destaque o Lago Santo Amaro, por ser um dos mais caudalosos da região (BRASIL, 2003).

Os meios de produção são de natureza essencialmente extensiva, empregando técnicas rudimentares e propiciando baixos níveis de produtividade. A pesca tem um caráter fortemente sazonal, caracterizada pelo volume de água dos lagos que transbordam na época chuvosa. A população vive especialmente da agricultura e da pesca artesanal, praticada no rio Grande e nos lagos Jangada, Gurupiriba, Travosa e Betânia (BRASIL, 2003). Entretanto, existem poucos estudos que caracterizam a cadeia produtiva da pesca e a qualidade sanitária dessa prática na região.

Em relação ao Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) em 2010, Santo Amaro ocupou a 204ª posição entre os 217 municípios maranhenses, em que seu Índice foi de 0,518 naquele ano (IBGE, 2010). Devido a isso se observam alguns problemas socioambientais como a falta de saneamento básico, pois não há rede de coleta e sistema de tratamento de esgoto no município, o abastecimento de água é feito através de poços existentes no quintal das casas, praças e com auxílio de bombas manuais (ARAÚJO; SOUSA; FEITOSA, 2011).

Para Barcellos e Quitério (2006), os fatores ambientais, sociais e culturais atuam sobre as populações condicionam e determinam o processo de produção das doenças. Os grupos sociais que vivem em áreas com carências de serviços de saneamento ambiental estão sujeitos a potencializar efeitos adversos na saúde por meio de contaminantes, locais de proliferação de vetores e outros. Conhecer a população e saber sua visão sobre recursos do meio ambiente é tarefa fundamental para obter bons resultados diante de um trabalho de educação ambiental (TUAN, 1980; NEMETZ, 2004, CANABRAVA, 2007). A educação, a percepção e as atividades de contato com o meio devem ser utilizadas para possibilitar a expansão de uma consciência conservacionista através do envolvimento afetivo das pessoas com a natureza (NEIMAN, 2007).

Diante dessa problemática, o conhecimento da qualidade da água é fundamental para população que faz uso desse recurso e poderá subsidiar decisões em relação ao manejo/planejamento sustentável desta importante região do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses. Além disso, a Educação Ambiental é uma ferramenta que aproxima a comunidade dos problemas ambientais e fornece informações científicas

para os mesmos, salientando as consequências causadas pelo despejo de poluentes nas fontes hídricas, tendo como objetivos sensibilizar e mobilizar a comunidade, visando mudanças no comportamento dos mesmos.

## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O município de Santo Amaro apresenta seu território entre as Bacias do rio Peria, correspondendo a 60% do território, e do rio Preguicas, com 40% do total. Possui uma grande riqueza hídrica, destacando-se os rios Queixada, das Pedras e Negro, além de outros, como o Lago Santo Amaro, que se apresenta relevante para a população local (IMESC, 2016).

A zona rural dessa região se encontra isolada, com diversas comunidades sem atenção básica. Uma dessas comunidades é denominada “Bebedouro” - local de estudo e realização das ações - apresentando uma população com aproximadamente 60 pessoas e com poucas residências. O local é banhado pelo Lago Jangada, que é utilizado para pesca, banho e utilização doméstica da população.

As atividades produtivas desenvolvidas na região se concentram no setor primário da economia, representada pela agricultura, pecuária, pesca e extrativismo vegetal. A pesca é artesanal e tem um caráter fortemente sazonal, caracterizada pelo volume de água dos lagos que transbordam na época chuvosa. É praticada no rio Alegre e nos lagos Santo Amaro, Gurupiriba, Travosa e Betânia (BRASIL, 2003).

Em relação à saúde, o município possui sete Unidades Básicas de Saúde - UBS's que contam com uma Equipe de Saúde da Família, quatro Equipes de Saúde da Família com Saúde Bucal e uma equipe do Núcleo de Apoio a Saúde da Família que são compostas por profissionais que realizam prática assistencial, com procedimentos que facilitam a compreensão ampliada do processo saúde/doença e da necessidade de intervenções que vão além de práticas curativas. Em Santo Amaro a relação entre profissionais da saúde e a população é 1/206 habitantes, segundo o IMESC (2016).

Essa proporção não supre as necessidades da população e, considerando a falta de saneamento básico, é necessário que haja uma investigação sobre a qualidade da água, considerando também a importância desta na propagação de micro-organismos que apresentam riscos de infecção para população.

## 2.1 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO MAIS PROVÁVEL DE COLIFORMES TOTAIS E TERMOTOLERANTES PARA AS AMOSTRAS DE ÁGUA

Para a análise microbiológica da água foi utilizada a técnica de determinação do número mais provável de coliformes totais e termotolerantes, segundo Apha (2005) e Silva *et al* (2000), utilizando 3 séries de cinco tubos (total de quinze tubos), que consiste na diluição de 10 ml da amostra em tubos contendo caldo lauril sulfato de sódio em concentração dupla com tubos de Durham invertidos. Em seguida eram feitas duas diluições consecutivas em tubos contendo caldo lauril sulfato de sódio em concentração simples com tubos de Durham invertidos, com 1 ml e com 0,1 ml da amostra respectivamente.

Os tubos eram incubados em estufa a 35 °C por 24 a 48 horas até apresentar presença de gás nos tubos de Durham (prova presuntiva positiva). Dos tubos com produção de gás, alíquotas eram transferidas para tubos contendo caldo VB (caldo verde brilhante bile lactose 2%) para detecção de coliformes totais e para tubos contendo caldo EC (caldo *Escherichia coli*) para detecção de coliformes termotolerante. As amostras VB eram incubadas em estufas a 35 °C e as amostras EC a 45°C. A partir do número de tubos com produção de gás (prova confirmatória positiva) e com o auxílio de uma tabela de NMP, foi obtido o número mais provável de coliformes termotolerantes (APHA, 2005).

## 2.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Os parâmetros físico químicos analisados foram a temperatura, pH, oxigênio dissolvido e salinidade, obtidos *in situ* pelo multiparâmetro HANNA com GPS HI 9828.

## 2.3 EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Sob a ótica da Educação Ambiental Crítica para Sociedades Sustentáveis, destacada por Leão e Silva (1999), foram realizadas ações, com palestras e conversas explicando conceitos, mostrando como o processo de degradação da região ocorre, bem como os impactos causados a esse ecossistema, além de conceitos e ciclo de doenças que estão diretamente relacionadas com a comunidade, de forma a sensibilizar a comunidade visando a aquisição de novas ideias e concepções.

A aplicação dessa metodologia para educar ambientalmente é caracterizada pelo entendimento das origens, causas e consequências da degradação ambiental, por meio de uma metodologia interdisciplinar, visando a uma nova forma de vida.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA

As análises microbiológicas da água realizadas durante o período chuvoso indicaram, através da determinação do número mais provável (NMP), a presença de coliformes termotolerantes. As análises foram realizadas com base na Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 - artigo 15 e Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 - artigo 16. Nas tabelas 1 e 2 estão distribuídos os resultados relativos à determinação do NMP de coliformes termotolerantes por 100 ml de água e os parâmetros físico-químicos correspondentes ao período chuvoso, referente a cacimba e ao lago, respectivamente.

Todos os parâmetros físico-químicos acima analisados encontram-se de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, exceto o oxigênio dissolvido (OD) que apresentou a concentração de <4,00 mg/L. A resolução estabelece que a quantidade de oxigênio dissolvido não deve ser inferior a 5mg/L estando em concentrações abaixo do permitido.

Tabela 1. Resultados referentes às análises microbiológicas e parâmetros físico-químicos da cacimba

Parâmetros físico-químicos e microbiológico da Cacimba	Resultados
pH	6,35
Salinidade	< 0,10%
Temperatura	24,60 ° C
Turbidez	18,10 NTU
Oxigênio dissolvido	< 4,00 mg/L
<i>Coliformes Termotolerantes</i>	< 1,00 NMP/1000 mL

Fonte: elaboração própria

Tabela 2. Resultados referentes às análises microbiológicas e parâmetros físico-químicos do Lago Jangada

Parâmetros físico-químicos e microbiológico do Lago Jangada	Resultados
pH	4,60
Salinidade	< 0,10%
Temperatura	24,70 ° C
Turbidez	0,44 NTU
Oxigênio dissolvido	< 4,00 mg/L
<i>Coliformes Termotolerantes</i>	< 2.420,00 NMP/1000 ml

Fonte: elaboração própria

O oxigênio dissolvido é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos (VON SPERLING, 1996). O conteúdo de oxigênio dissolvido nas águas superficiais depende, dentre outros fatores, da quantidade e tipos de matérias orgânicas instáveis que contenha a água, sendo o OD um fator importante na autodepuração que é o restabelecimento do equilíbrio do meio aquático, por mecanismos naturais. Durante a autodepuração os compostos orgânicos são convertidos em compostos inertes e não prejudiciais aos rios do ponto de vista ecológico (QUEGE; SIQUEIRA, 2005). Cruz (2014), afirma que a abundância de algumas espécies de peixes pode estar

relacionada com a interação entre a baixa concentração de oxigênio dissolvido e com os altos valores de condutividade da água.

Em relação às análises microbiológicas, os valores encontrados do Número Mais Provável (NMP) de coliformes termotolerantes por 100mL na amostra do Lago Jangada apresentaram-se acima do permitido pela Resolução CONAMA 357/2005, havendo a presença de bactérias do grupo *Escherichia coli*.

Os micro-organismos do grupo coliformes são os mais utilizados como indicadores de contaminação (BATISTA *et al.* 2010). O fato da *E. coli* ser de origem exclusivamente fecal, e de ser encontrada em altas densidades nas fezes de humanos, leva à constatação de que a água do Lago está recebendo o despejo de esgoto domésticos *in natura*. E, segundo Silva, Junqueira e Silveira (2001), a presença da *E. coli* está intimamente associada ao comparecimento, em determinado local, de micro-organismos intestinais patogênicos, ou seja, micro-organismos capazes de provocar doenças.

Devido às condições de saneamento da comunidade de Bebedouro, o Lago Jangada é utilizado para a pesca, banho e uso doméstico, configurando, portanto, uma via de contaminação, visto que foram encontrados níveis altos de coliformes termotolerantes.

Na comunidade pode-se observar que há criação de animais, sendo que estes circulam livremente pela comunidade, não havendo o cuidado de recolher as fezes ou acomodar os animais em locais distantes do corpo hídrico (Figura 1), sendo esse fato um agravante de contaminação da área estudada.

Assim, torna-se importante o controle microbiológico da água devido sua característica de veículo de transmissão de bactérias, dentre estas, coliformes totais e termotolerantes, protozoários, vírus e fungos causadores de inúmeras doenças ao homem. Esses micro-organismos são responsáveis pela ocorrência de diarreias, disenterias, hepatites, cólera entre outras enfermidades graves (YAMAGUCHI *et al.*, 2013)

Figura 1. Animais próximo ao Lago Jangada



Fonte: captura própria

### 3.2 EDUCAÇÃO AMBIENTAL

O primeiro contato se deu com alguns gestores municipais, como o secretário de Turismo, a presidente da Colônia de Pescadores Z-51, professores e alunos do curso de Gestão Ambiental do Instituto FAFIB, (Figura 2). Foram apresentadas as propostas do projeto, a logomarca (Apêndice 1), banner explicativo (Apêndice 2) que foi disponibilizado para exposição e folder (Apêndice 3) com o guia das ações que seriam realizadas.

A problemática ambiental assume papel de relevância social, cultural, econômica, ecológica, entre outras, em proporções cada vez mais alarmantes e nocivas à qualidade de vida de uma população. Surgem os debates, conscientização, reflexão, mobilizações, para atuar, de forma participativa e comprometida em defesa do ambiente natural e do meio social, bem como, e fundamentalmente, da relação do homem com o homem. (QUADROS, 2007)

Nesse sentido, foram realizadas atividades de caráter educativo visando questões ambientais e de saúde na comunidade de Bebedouro.

Figura 2. Entrega de banner informativo



Fonte: captura própria

Constatamos a dificuldade desse processo, diante da resistência da comunidade em comparecer aos encontros promovidos pela equipe de trabalho. Contudo, foram realizadas reuniões e o contato direto com os moradores em suas residências.

No primeiro encontro com a comunidade de Bebedouro foi realizada uma breve contextualização com a liderança da comunidade sobre o projeto, com o objetivo de facilitar a comunicação e os encontros posteriores, sendo informada a metodologia que seria utilizada na execução do trabalho na comunidade.

A comunidade de Bebedouro, bem como outras localizadas nas adjacências de Santo Amaro, encontra-se isoladas, portanto tem pouco ou nenhum acesso a serviços básicos, como os saúde e saneamento, tendo que se deslocar através do transporte fluvial para regiões mais distantes.

Assim, pode-se observar que essa comunidade se encontra em vulnerabilidade social, necessitando de atenção e políticas públicas de caráter social e ambiental.

É alarmante a realidade vivida pelos moradores dessa comunidade, não havendo o exercício da cidadania ambiental. É importante ressaltar que essa área está inserida em Unidade de Conservação, contrastando com o cenário de desamparo da comunidade.

A busca pelo processo educativo e a inclusão desse público nas tomadas de decisões é um objetivo a ser alcançado diante da realidade observada nessa comunidade, culminando no processo de cidadania desse grupo. Segundo Oliveira e Guimarães (2004), a cidadania é o exercício pleno da participação na vida coletiva, incluindo o acesso ao direito fundamental ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, considerado um bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, devendo o poder público e a coletividade defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (art. 225 da CF/88).

Na concepção atual, ser cidadão significa ser participe da vida política como decorrência direta e imediata do acesso efetivo aos direitos fundamentais (BRAIDO; CAPORLINGUA, 2014).

Segundo Braido e Caporlingua (2014), a proteção prevista constitucionalmente deve abranger uma concepção de meio ambiente que abarque aspectos que vão além da defesa dos meios bióticos, integrando também os aspectos sociais, culturais, históricos, tecnológicos e biológicos.

Considerando esses aspectos, foi realizado previamente um diagnóstico observacional dessa comunidade, destacando a falta de saneamento básico que é um serviço diretamente relacionado à saúde. Segundo relatos dos moradores, estes têm um alto índice de diarreias e verminoses, que são doenças associadas a má qualidade da água consumida pela população.

Há uma grande quantidade de crianças na comunidade. E esse grupo se torna mais vulnerável pelo contato maior com o ambiente e pela falta de instrução sobre a prevenção de algumas doenças. Assim, a atenção em um dos encontros com a comunidade voltou-se para as crianças.

A comunidade dispõe de uma cacimba<sup>1</sup> sendo esta a principal fonte de água para consumo (Figura 3). Contudo, a instalação desse equipamento nessa região configura uma problemática, pois a hidrografia é caracterizada pela presença de água superficial (rios, córregos, lagos, lagoas e lagunas) e água subterrânea (lençóis freáticos), que se encontram a poucas profundidades. Considerando a geologia, a pedologia e o tipo de sedimento da região, a água infiltra com facilidade.

Figura 3. Cacimba instalada para uso da comunidade



Fonte: captura própria

Na comunidade não há sistema de esgotamento sanitário, então a instalação de cacimbas sem um prévio estudo do solo pode ser prejudicial para a saúde da população que utiliza a água para o consumo, uma vez que efluentes são despejados diretamente no solo, infiltrando, assim como a água para os lençóis freáticos, culminando na contaminação direta da população.

---

<sup>1</sup> Cacimba – poço escavado ou perfurado no solo, para aproveitamento do lençol freático, com profundidade de até 20 metros, revestido, tampado e equipado com bomba elétrica ou manual.

Santo Amaro ocupou a 204ª posição entre os 217 municípios maranhenses, em que seu Índice foi de 0,518 naquele ano (IBGE, 2010). Segundo Araújo, Sousa e Feitosa (2011), devido a isso é possível observar alguns problemas socioambientais como a falta de saneamento básico, pois não há rede de coleta e sistema de tratamento de esgoto no município o abastecimento de água é feito através de poços existentes no quintal das casas e praças com auxílio de bombas manuais.

O autor também relata que essas soluções de saneamento adotadas são prejudiciais para o ambiente e para a saúde da população, uma vez que quando são feitas fossas e poços rasos em terreno arenoso com lençol freático a ponto de afloramento, criam-se meios propícios para endemias. Assim, o mesmo solo arenoso e extremamente permeável que recebe a perfuração de poços também é infiltrado por efluentes sanitários.

Ressalta-se que o agravante é que o lençol freático da cidade é praticamente superficial. A cidade está situada na cota 13m e no período chuvoso, com o solo encharcado, a água transborda dos rios conectando-se aos lagos, formando extenso espelho de água. Tal fragilidade natural convive com a ausência de tecnologias e infraestruturas adequadas àquele meio, o que expõe a população a iminentes riscos ambientais, sobretudo, à saúde (CARVALHO, 2007 *apud* BONTEMPO, 2010).

Ingerir água com baixa qualidade é um problema de saúde pública. Os órgãos federais estabelecem normas para o controle da qualidade e destacam a presença de uma grande quantidade e diversidade de micro-organismos na água, por isso deve passar por análise e tratamento antes da sua ingestão (BRASIL, 2006).

Além disso, em um dos encontros com a comunidade foi informado de maneira simples e acessível sobre as doenças parasitárias de veiculação hídrica e sobre a sanidade do pescado presente no Lago Jangada. Essa ação constitui uma forma de prevenir e orientar a comunidade sobre doenças simples e de fácil tratamento.

Medidas socioeducativas são ferramentas que podem cessar lacunas de conhecimento sobre as parasitoses intestinais, uma vez que estimulam o autocuidado e profilaxia das parasitoses melhorando a

qualidade de vida da população e/ou minimizando a contaminação por parasitos.

Portanto, a população está sendo engajada nesse processo de forma participativa e ativa na execução das ações de controle das parasitoses, das doenças causadas pela disposição inadequada de lixo e esgoto, de forma a gerar mudanças comportamentais, a partir de mobilização comunitária e educação em saúde, abrangendo todas as áreas do saneamento ambiental. Estas práticas combinadas são capazes de reduzir a prevalência das verminoses e de vetores, conseqüentemente, melhorar a qualidade de vida da população.

Para que ocorra o processo educativo não é só necessário informar, mas deve ser gerada uma ação transformativa no cotidiano dos envolvidos, abordando temas simples sobre o meio ambiente de forma direta e acessível. Dado a isso, entende-se a grande importância da Educação Ambiental em contribuir para a formação de uma sociedade mais participativa nas questões ambientais, que envolva a todos, formando cidadãos com uma visão mais crítica diante da sua realidade socioambiental.

Educação Ambiental, nesse sentido, revela-se como uma ferramenta para o alcance da cidadania ambiental, na busca de novos padrões socioambientais pelos seres humanos. A contribuição da Educação Ambiental para a construção da cidadania ambiental baseia-se, assim, no empoderamento dos indivíduos para a participação ativa nos espaços relativos à sua vida social e profissional (BRAIDO; CAPORLINGUA, 2014)

Portanto, a Educação Ambiental está sendo direcionada para a cidadania ativa da comunidade, considerando seu sentido de corresponsabilidade que, por meio da ação coletiva e organizada, buscará a compreensão e a superação das causas estruturais e conjunturais dos problemas ambientais sanitários locais.

## 4 CONCLUSÃO

A prática da Educação Ambiental permitiu compreender a realidade social, política, econômica e ambiental na qual a comunidade de Bebedouro está inserida. De acordo com os resultados de qualidade da água, essa comunidade está vulnerável e necessita de atenção principalmente voltada para a saúde, de modo que melhore a sua qualidade de vida.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard methods for examination of water and wastewater. 21th. ed. Washington: 2005.

ARAÚJO, T.D.; SOUSA, J.B.C.; FEITOSA, A.C. Potencial turístico do município de Santo Amaro do Maranhão-Estado do Maranhão-Brasil. Revista Geográfica de América Central. Número Especial EGAL, 2011. p. 1-14. Disponível em: <<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal13/Geografiasocioeconomica/Geografiaturistica/13.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

BARCELLOS C., QUITÉRIO L. A. D. Vigilância ambiental em saúde e sua implantação no Sistema Único de Saúde. Revista de Saúde Pública, vol. 40, no. 1, São Paulo, jan./feb. 2006.

BATISTA. J. E. C. *et al.* Determinação de coliformes totais e fecais na água marinha e na carne do bivalve *Anomalocardia brasiliiana* (GMELIN, 1791) extraídos para consumo humano na praia de Nova Cruz – PE. X Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão UFRPE, 2010.

BRAIDO, J. A.; CAPORLINGUA, V. H. Da cidadania ambiental à Educação Ambiental política: desafios na pesca artesanal em Rio Grande – RS e São José do Norte – RS. Revista Direito Ambiental e sociedade, v. 4, n. 2, 2014. p. 179-205.

BRASIL. Plano de Manejo do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses. São Luís: Ministério do Meio Ambiente, 2003.

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

BRASIL. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

CANABRAVA, C. C. R.; LEITE, E. B.; ABUHID, V. S. Educação ambiental para a conservação: a espécie *Parides burchellanus* (WASTWOOD, 1872). 2007. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas), Minas Gerais, 2007.

BONTEMPO, Karina P. Santo Amaro, do isolamento ao caos. In: 4º CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO, SUSTENTÁVEL, 2010, Faro, Portugal. Livro de resumos [do] congresso luso-brasileiro... São Carlos: EESC/CETEPE, 2010. p. 273. Disponível em: <[http://pluris2010.civil.uminho.pt/Actas/pluris\\_pub.pdf](http://pluris2010.civil.uminho.pt/Actas/pluris_pub.pdf)>.

CRUZ, Khamila Tondinelli Souza. Padrões de diversidade beta de assembleias de peixes em ribeirões submetidos a diferentes graus de conservação. Monografia para conclusão de curso Bacharelado em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina, 2014.

IMESC (Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos). Plano Mais IDH: Diagnóstico Avançado; Santo Amaro do Maranhão. São Luís, 2016. 74p. il. Disponível em [http://imesc.ma.gov.br/src/upload/diagnosticoavancado/pdf%20\(23\).pdf](http://imesc.ma.gov.br/src/upload/diagnosticoavancado/pdf%20(23).pdf) Acesso em: 14 mar 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo demográfico 2010. Índice de Desenvolvimento Humano. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/santo-amaro-do-maranhao/pesquisa/37/30255>. Acesso em: 15 março 2018

LEÃO, A. L. C.; SILVA, L. M. A. Fazendo Educação Ambiental, 4ª ed. rev. atual. Recife: CPRH, 1999, 32p. (Biblioteca Pernambucana do Meio Ambiente, 002). Disponível em: <http://www.projeto reciclar.ufv.br/docs/cartilha/educacaoambiental.pdf>. Acesso em 07 de Janeiro de 2017

NEIMAN, Z. A Educação ambiental através do contato dirigido com a natureza. 234 p. Tese (Doutorado em Psicologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

NEMETZ, S. M. M. C. S. Balneabilidade de praias do litoral centro-norte de Santa Catarina: estudo de percepção ambiental. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2004.

OLIVEIRA, F. de P. M. de; GUIMARÃES, F. R. Direito, meio ambiente e cidadania: uma abordagem interdisciplinar. São Paulo: Madras, 2004.

QUADROS, A. Educação Ambiental: iniciativas populares e cidadania. Monografia para conclusão de curso de Especialização de Pós- Graduação em Educação Ambiental. Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

QUEGE, K. E.; SIQUEIRA, E. Q. Avaliação da qualidade da água no córrego Botafogo na cidade de Goiânia-GO. Anais: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005.

SILVA N., JUNQUEIRA, V.C.A, SILVEIRA, N.F.A. Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos. São Paulo: Varela; 2001.

SILVA, N.; NETO, R.C.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N.F.A. Manual de métodos de análise microbiológica da água. Campinas: ITAL/Núcleo de Microbiologia, 2000.

TUAN, Yu-fu. Topofilia: um estudo da percepção, atitudes e valores do meio ambiente. São Paulo/Rio de Janeiro: DIFEL, 1980.

VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento biológico de águas residuárias - Princípios básicos do tratamento de esgotos. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1996

YAMAGUCHI, M. U., CORTEZ, L. E. R., OTTONI, L. C. C., OYAMA, J. Qualidade microbiológica da água para consumo humano em instituição de ensino de Maringá-PR. O Mundo da Saúde, São Paulo - 2013;37(3):312-320

## APÊNDICE 1. Logomarca do projeto



## APÊNDICE 2. Banner com informações sobre campanhas e ações do projeto

**Mais IDH, Mais Santo Amaro**

BioAqua

### Quem somos?

O Grupo de Pesquisa Biologia e Ambiente Aquático (GpBioAqua) realiza pesquisas sobre a qualidade dos ecossistemas aquáticos e analisa a saúde de peixes, além de sensibilizar comunidades de pescadores e ribeirinhos.

É importante monitorar a qualidade da água, porque as condições ambientais afetam a qualidade de vida dos seres vivos.

### O que vamos fazer?

Analisar a qualidade da água

Analisar a qualidade dos peixes

Sensibilizar a comunidade

### Santo Amaro do Maranhão: riquezas naturais, comunidade e saneamento ambiental

As riquezas naturais de Santo Amaro do Maranhão são inúmeras. Sua água e rio não podem ser desperdiçados por quem a vive, portanto é preciso que se conserve para as futuras gerações e para a comunidade.

As ações de pescadores é fundamental para o processo de fortalecimento e construção da gestão participativa dos recursos naturais. Assim, a sensibilização, quanto as questões ambientais da região serão como o primeiro passo público.

Santo Amaro do Maranhão vem atuando com a falta de saneamento ambiental. Assim, as pesquisas que serão realizadas pelo GpBioAqua servirá como apoio para a comunidade para melhor e qualidade de ambiente e de vida.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

MAIS IDH

FAPENA





## CAPÍTULO 7

# RESTAURAÇÃO DE VEGETAÇÃO NATIVA NO PARQUE NACIONAL DOS LENÇÓIS MARANHENSES: SELEÇÃO DE ESPÉCIES, TAXA DE CRESCIMENTO E SOBREVIVÊNCIA

Éville Karina Maciel Delgado Ribeiro Novaes<sup>1</sup>  
Alan Patrick Pereira da Rocha<sup>2</sup>  
Tirza Vinícia Sousa Fonteles<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Doutora em Biologia Vegetal pela Universidade Federal de Pernambuco, docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão.

<sup>2</sup> Graduando em Ciências Biológicas Instituto Federal do Maranhão, IFMA

### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar as características fisiológicas e ecológicas das espécies vegetais nativas do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (PNLM), a fim de selecionar as espécies mais adaptadas ao primeiro nível de sucessão ecológica, observando e comparando germinação de sementes e a taxa de sobrevivência de mudas de espécies nativas em plantios com a finalidade de recuperação de área degradada. As plântulas utilizadas no plantio foram cultivadas em viveiro e protegidas da insolação por cobertura de sombrite (30%). As mudas foram transplantadas durante o período chuvoso, no mês de março do ano de 2016 para parcelas de 200 m<sup>2</sup>, em covas de 30x30 cm regularmente distribuídas em linhas e colunas e distando 2 m uma da outra. A taxa geral de sobrevivência após doze meses de observações foi 44,6%. A taxa de sobrevivência das mudas de espécies nativas transplantadas no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses variou de acordo com a espécie. Após esse período obteve-se uma taxa de 67% de indivíduos de *Hymenea parviflora* Huber (Fabaceae) sobreviventes. Nenhuma muda de *Chrysobalanus icaco* L. (Chrysobalanaceae) sobreviveu ao longo desse período. A diminuição da chuva nos anos de plantio na área do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses pode ter diminuído a taxa de sobrevivência das mudas. *Hymenea parviflora* mostrou-se mais resistente à seca. *Chrysobalanus icaco* obteve a maior porcentagem de mudas mortas, provavelmente pelas altas temperaturas seguidas da escassez de

água, já que esta espécie só é encontrada, dentro do PNLM, em áreas que são alagadas durante o período chuvoso.

Palavras-chave: Unidades de Conservação. Recuperação. Sobrevivência.

## 1 INTRODUÇÃO

O desmatamento é um problema global e no Brasil persiste desde a colonização portuguesa que, com sua ocupação, trouxe como consequência a remoção da vegetação natural de biomas costeiros com a exploração do pau-brasil e da cana-de-açúcar. Entretanto, diversas comunidades vegetais foram preservadas, ainda que em menor grau. O contrário das restingas, que dentre todos os ecossistemas brasileiros, foram as que mais perderam espaço nos últimos anos.

A vegetação de restinga é o conjunto de comunidades vegetais composta por tipos distintos com fisionomias diversas, sob influência marinha e flúvio-marinha, distribuídas em mosaico e que ocorrem em áreas com diversidade ecológica, planícies arenosas, sobre depósitos litorâneos e feições costeiras, sendo comunidades edáficas, por dependerem mais da natureza do solo que do clima (ARAÚJO; LACERDA, 1987; BRASIL, 1996).

O ecossistema de restinga é pobre em nutrientes e apresenta baixa diversidade de plantas, pois poucas espécies são capazes de sobreviver em condições tão extremas. Apesar do frágil equilíbrio e da alta taxa de degradação, observam-se grandes remanescente de restinga, ainda que com sinais de perturbação antrópica. Esses ecossistemas vêm sofrendo nos últimos anos com o processo de degradação ambiental e com a intensificação das ocupações antrópicas. Então, é necessário elaborar estratégias de recuperação com o objetivo de minimizar ou extinguir o impacto causado a esses ecossistemas.

O êxito dos projetos de recuperação de áreas degradadas está diretamente ligado à qualidade dos indivíduos que o compõem, portanto, a tecnologia de sementes e a produção de mudas são fatores cruciais no processo de recuperação de áreas degradadas. Na produção de mudas, alguns fatores devem ser considerados, como o tipo e o tamanho do

recipiente, o tipo de substrato, a intensidade da luz e o local onde as mudas serão produzidas.

O trabalho de recomposição de vegetação está cada vez mais difundido e a demanda por dados técnicos sobre as espécies adequadas, produção de sementes, condições ideais de armazenamento, implantação de projetos, tratamentos culturais e manejo destas espécies no campo são de extrema importância para o êxito de programas de recuperação de áreas degradadas (MORAES, 2007).

Inúmeros são os benefícios de um programa de reflorestamento. Dentre eles estão a redução da erosão do solo e da contaminação da água, contribuição para com as correntes subterrâneas e a manutenção dos rios, redução da poluição acústica, fonte sustentável de madeira e a importância na preservação da fauna e da flora silvestres.

O Parque Nacional é uma das categorias de Unidades de Conservação (UCs) de proteção integral que, segundo o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (BRASIL, 2000), tem como objetivo básico a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico.

Dentre os parques nacionais, está o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (PNLM). Criado em junho de 1981, conta com uma área de 155 mil hectares, dos quais 90 mil são constituídos de dunas livres e lagoas interdunares. Está inserido no bioma Marinho Costeiro e é composto de áreas de restinga (que compõe 89% da sua vegetação), campos de dunas livres e costa oceânica (BRASIL, 2003).

O primeiro parque nacional com áreas recuperadas foi o da Tijuca, que apesar de ter sido criado em 06 de julho de 1961, apresentou um processo de recuperação da vegetação natural nos séculos XVII e XVIII, em resposta à devastação causada pela extração de madeira e da utilização em monoculturas, especialmente o café. O reflorestamento do parque foi coordenado pelo major Manoel Gomes Archer que, após algum tempo, foi substituído pelo Barão d'Escragnolle. Este, além do reflorestamento,

iniciou também um trabalho de paisagismo voltado para o uso público e a contemplação (PARQUE DA TIJUCA, 2017).

A visitação em unidades de conservação é uma forma de aproximar a sociedade e despertar o seu interesse sobre a conservação de espaços naturais, pois é uma oportunidade para a recreação e o aprendizado em contato com a natureza. Isso traz uma maior dinâmica para as economias locais, mas também traz, se feita de maneira errada, alguns problemas. O grande desafio das visitas em parques é desenvolver um turismo responsável e integrado à diversidade sociocultural, aos conhecimentos tradicionais e à conservação da biodiversidade (BRASIL, 2000).

O desflorestamento em Unidades de Conservação Ambiental causado, principalmente, pela interferência humana, indica um alto agravante de degradação ambiental.

## 2 OBJETIVO

Estudar as características fisiológicas e ecológicas das espécies vegetais nativas do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses a fim de selecionar as espécies mais adaptadas ao primeiro nível de sucessão ecológica, em plantios com a finalidade de recuperação de área degradada.

## 3 METODOLOGIA

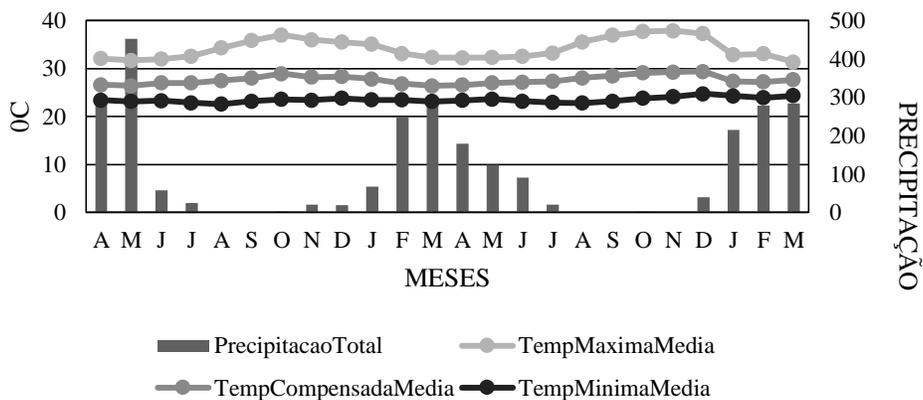
### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, localizado no litoral oriental do estado do Maranhão, preserva um ecossistema único de dunas, com lagoas temporárias e perenes, manguezais e restingas, revelando um potencial para o desenvolvimento de pesquisas científicas voltadas para a conservação, manejo e monitoramento ambiental (BRASIL, 2003). Grande parte da economia local vem da exploração do turismo dentro do parque, com visitação às lagoas por meio de veículos tracionados.

A vegetação do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses ocupa uma área de 453,28 km<sup>2</sup>, dos quais 89 por cento são constituídos predominantemente por vegetação de restinga (BRASIL, 2003).

O clima da região é tropical megatérmico (enquadrando-se no tipo Aw' de acordo com a classificação de Köppen), com pluviosidade anual em torno de 2000 mm. Os dados climatológicos apontam duas estações bem definidas: uma chuvosa (janeiro a julho) e uma de estiagem (agosto a dezembro). A temperatura média anual pode variar entre 26°C e 27°C (Figura 1).

Figura 1. Climatograma de abril de 2014 a março de 2016 do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses



Fonte: elaboração própria

### 3.2 SELEÇÃO DAS ESPÉCIES, GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS

Foram realizadas visitas mensais ao PNLM para coleta de sementes. As espécies vegetais foram selecionadas de acordo com critérios como maior ocorrência e facilidade de obtenção das sementes, estabelecendo-se como prioritárias espécies de rápido crescimento, de dispersão.

As sementes foram coletadas de frutos maduros e armazenadas em sacos de papel em laboratório sob condições ambientais. As sementes foram desidratadas em estufa para a obtenção da massa seca. Este estoque de sementes foi utilizado para os testes de germinação e para o crescimento das plântulas em viveiro.

Os testes de germinação foram realizados no Laboratório de Biologia do Instituto Federal do Maranhão – *Campus* Barreirinhas, à temperatura ambiente e luz natural difusa. As sementes foram colocadas para germinar em placas de Petri forradas com folha dupla de papel de filtro umedecidas com água destilada, sendo utilizadas em cada tratamento 4 repetições de 10 sementes por placa, quando possível.

No primeiro ano de execução do trabalho, os testes de germinação foram realizados com sementes intactas. No segundo, foram realizados com sementes intactas e escarificadas. O tratamento de escarificação mecânica manual foi realizado com auxílio de lixa.

A velocidade de germinação foi calculada pelo somatório do número de sementes germinadas a cada dia, dividido pelo número de dias decorridos entre a semeadura e a germinação.

### 3.3 PRODUÇÃO E PLANTIO DE MUDAS

As plântulas utilizadas no plantio foram cultivadas em viveiro e protegidas da insolação por cobertura de sombrite (30%) e foram colocadas em garrafas PET de dois litros, visando o reaproveitamento das garrafas da região de Barreirinhas e, conseqüentemente, a redução do lixo, visto que não há programa de reciclagem no município. O ápice das garrafas foi retirado e preenchidas com terra preta sem adubação.

As mudas foram transplantadas em áreas piloto, no decorrer da trilha para a Lagoa Azul, que tem sido grande preocupação dos analistas ambientais do ICMBio, visto a grande movimentação de veículos tracionados. Por causa dos passeios turísticos, esta trilha encontra-se fora dos padrões, tendo sido perdida grande parte da cobertura vegetal. É interesse do ICMBio, e uma das Ações Gerenciais Gerais Internas prevista

no Plano de Manejo do PNLM, recuperar a vegetação não só da trilha, mas de todas as áreas degradadas dentro do PNLM (BRASIL, 2003).

As mudas foram transplantadas durante o período chuvoso, no mês de março do ano de 2016 para parcelas de 200 m<sup>2</sup>, em covas de 30x30 cm regularmente distribuídas em linhas e colunas e distando 2 m uma da outra. Ao redor das mudas foi realizado o coroamento, ou seja, remoção da vegetação em um raio de um metro ao redor das covas, quando necessário.

As mudas foram transplantadas em blocos. A sobrevivência das plântulas de cada espécie nas parcelas foi contabilizada a cada mês, até o tempo máximo de doze meses.

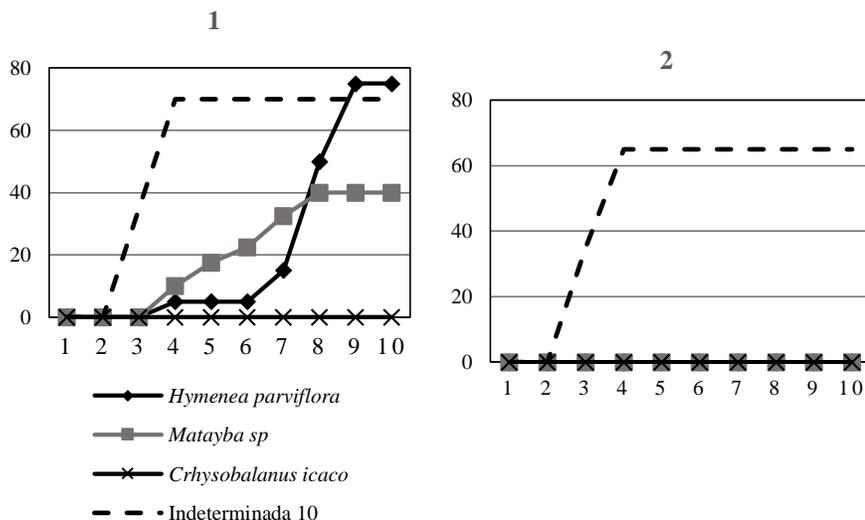
#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro ano deste trabalho, foram coletadas sementes de 8 espécies vegetais: Indeterminada 1, *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth (Malpighiaceae), Indeterminada 3, Indeterminada 4, Indeterminada 8, Indeterminada 9, Indeterminada 11, Indeterminada 12. Estas sementes foram colocadas para germinar sem nenhum tratamento de escarificação e não houve germinação de nenhuma delas. Estas espécies, provavelmente, possuem dormência causada pelo tegumento da semente.

Diversos fatores endógenos e exógenos estão relacionados à dormência de sementes (BEWLEY; BLACK, 1994). Adversidades como seca, salinidade e escassez de nutrientes conferem às restingas circunstâncias de grande imprevisibilidade ambiental, o que pode estar relacionado com a dormência encontrada nas sementes de muitas das espécies estudadas (ZAMITH; SCARANO, 2004).

No ano seguinte, foram encontradas sementes de espécies diferentes daquelas do primeiro ano e estas foram submetidas aos dois tratamentos: intactas (não-escarificadas) e escarificadas (escarificação mecânica). Dentre as sementes coletadas no segundo ano de experimento, houve germinação de *Matayba* sp. (Sapindaceae), *Hymenea parviflora* Huber (Fabaceae) e Indeterminada 10 (Figura 2).

Figura 2. Germinação de espécies escarificadas (1) e não escarificadas (2) coletadas no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses



Fonte: elaboração própria

As demais que haviam sido coletadas: (Indeterminada 2, Indeterminada 5, Indeterminada 6 e Indeterminada 7) não possuíam sementes suficientes para a realização de novos experimentos, visto que não foram encontradas sementes maduras nos períodos das coletas posteriores. Deste modo, não passaram por outros tratamentos.

A desidratação das sementes promovida em estufa resultou em perda média de água entre 1,86% e 45,06% após a estabilização da massa. As sementes da espécie *Matayba sp.* foram as que apresentaram maior perda de umidade, com 45,06%, seguida da espécie Indeterminada 2, com 42,46%. Já as com menores percentuais foram as de Indeterminada 3 e Indeterminada 9, com 10,8% e 1,86% respectivamente. Considerando todas as espécies coletadas, a média de perda de umidade foi cerca de 20%.

Segundo Davide e Silva (2008), a umidade relativa do ar tem relação com o grau de umidade das sementes, além de controlar a ocorrência dos

diferentes processos metabólicos que ela pode sofrer. A secagem, porém, propicia o armazenamento e evita a degradações e alterações químicas dos tecidos durante a mesma. A secagem reduz a umidade da semente até o grau adequado para que as mesmas sejam armazenadas preservando sua qualidade fisiológica e evitando sua deterioração.

Além disso, o excesso de água pode ser prejudicial à germinação das sementes, pois limita a entrada de oxigênio, diminui a respiração, provoca atrasos ou paralisações no desenvolvimento das plântulas, causando anormalidades, como a ausência de radículas e a formação de plântulas hialinas, podendo resultar na morte das sementes (MARCOS-FILHO; CICERO; SILVA, 1987; CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

Com relação à Velocidade de Germinação, a espécie Indeterminada 10 foi a que apresentou o maior índice, sendo 4,2, seguida de *Matayba* sp., 3,3 e *Hymenea parviflora* Huber 0,9.

Foram utilizadas 226 sementes de cinco espécies vegetais para a produção de mudas: *Hymenea parviflora* Huber e *Chrysobalanus icaco* L. e três espécies não identificadas. As espécies foram escolhidas por terem número suficiente de sementes coletadas para produção de mudas.

A taxa de germinação dessas sementes no viveiro foi de aproximadamente 70%, produzindo, então, 150 mudas, no total. Foi considerada como germinação a emissão de parte aérea pela plântula. Das 101 mudas de *H. parviflora* cultivadas, 100% germinaram apresentando crescimento rápido.

*H. parviflora* é uma das espécies arbóreas que mais ocorrem em ambiente peri-domiciliar e é característica de ecossistema amazônico, operando como um georreferenciador no direcionamento dos caminhos e rotas para aldeias ou acampamentos do povo Myky (BRASIL, 2002). Segundo Embrapa (2009), é uma das espécies produtoras de madeira para diferentes finalidades e com grande potencial para uso em reflorestamento e sistemas agroflorestais pelas características ecológicas que apresenta.

Apesar da espécie *C. icaco* não ter germinado em nenhum teste de germinação em laboratório, as 150 sementes que foram escarificadas para uso no plantio em mudas em viveiro germinaram e cresceram, gerando

plântulas com média de 53,3 mm de diâmetro e altura média de 67,6mm. Apresentou taxa de 72% de germinação e crescimento lento.

Uma das dificuldades enfrentadas por quem trabalha com produção de mudas de espécies florestais nativas é o crescimento lento de muitas delas. Em face disso, é de fundamental importância a definição de protocolos e estratégias que favoreçam a produção de mudas com qualidade, em menor espaço de tempo (CUNHA et al., 2005).

Segundo Prance (1972), *C. icaco* é conhecida no Brasil como abajurú, abajerú, bajerú, guajurú, guagirú, entre outros nomes populares. Esta espécie ocorre no litoral brasileiro e também no litoral dos países do Norte da América do Sul, América Central e México, bem como na costa ocidental da África.

Todas as partes da planta de *C. icaco* apresentam inúmeras utilidades. A casca cozida é utilizada por pescadores da América e África para tingir, endurecer e dar mais durabilidade às suas redes (PIO-CORRÊA, 1926; FONSECA-KRUEL et al., 2006). Os frutos são utilizados na fabricação de doces e em conservas (PIO-CORRÊA, 1926; BRAGA, 1960; FERRÃO, 1999; UGENT; OCHOA, 2006). O óleo da semente serve para preparar uma emulsão antidiarreica e para unguentos (PIO-CORRÊA, 1926). As raízes, cascas e folhas são adstringentes e utilizadas contra disenterias, catarro de bexiga, leucorreias (PIO-CORRÊA, 1926; FREISE, 1934; ROIG Y MESA, 1945; WONG, 1976; HOEHNE, 1978; AGRA et al., 2008) e pedra nos rins (FONSECA-KRUEL et al., 2006). Atua também como agente antitumoral (FERNANDES et al., 2003) e no combate ao diabetes mellitus.

Indeterminada 10 apresentou uma taxa de germinação de 94,73% e crescimento rápido, enquanto Indeterminada 2 teve uma taxa de germinação de 71,42% e crescimento lento.

Indeterminada 3 não germinou. Provavelmente as sementes eram inviáveis ou as condições ambientais não eram adequadas. Vários fatores ambientais, dentre eles disponibilidade de luz, água, temperatura e condições edáficas, influenciam no desenvolvimento das espécies vegetais. A escassez ou o suprimento inadequado de um desses fatores pode ter interferido nesse resultado.

Das cinco espécies cultivadas em viveiro, apenas duas foram transplantadas para a área piloto, *H. parviflora* com 100 mudas e *C. icaco* com 50. As duas espécies não identificadas Indeterminada 2 e 10 não tiveram mudas transplantadas por terem tido um baixo número de mudas produzidas e por estas serem utilizadas para obtenção da massa seca da plântula e a espécie Indeterminada 3 por não ter germinado.

Aos 30 dias do transplante para a área piloto, todas as mudas sobreviveram e não apresentaram mudanças na sua estrutura. É importante destacar esse resultado, pois a grande preocupação dos analistas do ICMBio era a predação das mudas por caprinos, que vivem soltos dentro do PNLM. Foram encontradas pegadas de caprinos na área de transplante, mas estes não predaram nenhuma muda. As mudas transplantadas possuíam alturas entre 18 e 23 cm, altamente vulneráveis à predação por caprinos, cutias ou outros mamíferos terrestres. Cavalcanti e Resende (2005) constataram em seu trabalho que os caprinos (*Capra hircus*) foram os animais que mais causaram danos às mudas, seguido do Caititu (*Tayassu tajacu*) e o tatu-peba (*Euphractus sexcinctus*).

Aos 60 dias, as mudas de *C. icaco* começaram a secar e muitas foram predadas por insetos por suas folhas serem mais tenras, o que não foi observado nas mudas de *H. parviflora*, que apresentam folhas mais espessas.

Apesar do crescimento lento no viveiro, *C. icaco* apresentou um crescimento vertical maior que *H. parviflora* na área de transplante. No entanto, *H. parviflora* mostrou-se mais resistente à seca que *C. icaco*.

Aos 90 dias, a taxa de sobrevivência foi de 100%, mas algumas mudas de *C. icaco* apresentavam grande parte de suas folhas predadas por insetos e muitas estavam completamente secas, mas ainda vivas.

Aos 120 dias, 25 (16,66%) mudas morreram por causas naturais. Destas, quatro (2,66%) eram de *H. parviflora*. Das 125 (83,33%) sobreviventes, 99 (66%) sofreram alterações fisiológicas (secagem) que desaceleraram os processos de crescimento vertical, consequência da pouca chuva.

Aos 150 dias, 120 (80%) mudas apresentaram secagem das folhas e 5 mudas estavam amareladas. Apesar de terem sido transplantadas no período chuvoso, as altas temperaturas e a escassez de água foram os principais fatores influentes deste resultado.

Os resultados climatológicos (Figura 1) indicam que as médias de temperatura se mantiveram acima das normais para a região de plantio e que a precipitação no mês de transplante ficou abaixo do normal em relação ao mesmo período dos últimos dois anos.

A taxa de sobrevivência das mudas nativas do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, após 150 dias (5 meses) de monitoramento, foi muito alta, 83,3%, similar aos resultados do trabalho de Scoles, Gribel e Klein (2011) realizado com mudas nativas de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), uma árvore nativa da Amazônia.

Figura 3. Mapa da sobrevivência de mudas transplantadas para área piloto no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses após doze meses

X	H	H	X	H	X	X	H	H	X	H	H	X	H	X
X	H	X	X	X	H	X	H	H	X	H	H	X	X	H
X	H	H	X	H	H	X	H	H	X	H	H	X	X	X
X	X	H	X	H	H	X	X	X	X	H	X	X	H	X
X	H	H	X	H	H	X	H	H	X	X	H	X	H	X
X	H	X	X	H	H	X	H	H	X	H	H	X	H	X
X	H	H	X	H	H	X	H	H	X	H	H	X	H	H
X	H	H	X	X	X	X	H	X	X	X	X	X	H	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

H = *Hymenea parviflora*; X = morta

Fonte: elaboração própria

Observando o mapa da sobrevivência das mudas, verifica-se que 92% das que estavam nas bordas das parcelas morreram e que a taxa de sobrevivência no interior das parcelas é maior. Resultado similar ao de Malchow, Koehler e Netto (2006) que verificaram uma redução no número

de árvores mortas, ao se distanciar da borda, o que se deve à atenuação da intensidade do efeito de borda, como a incidência de ventos e afloramento das raízes.

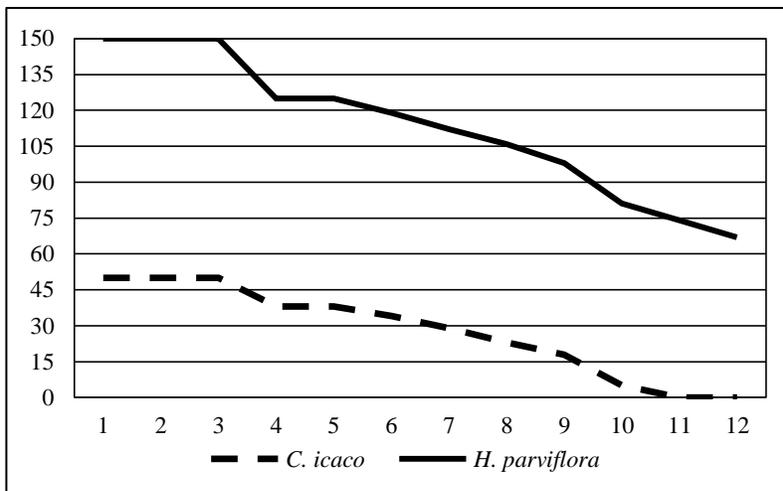
A taxa geral de sobrevivência após doze meses de observações foi 44,6% similar aos resultados de Leal (2017), realizado em uma mata de restinga periodicamente inundada, que após 330 dias de observações, constataram uma taxa de sobrevivência de 43,63%, e ao trabalho de Carrasco et al (2012), sobre produção e avaliação do crescimento de mudas de espécies florestais de restinga, com e sem adubação que, após vinte meses de observações, obtiveram uma taxa média de sobrevivência de 42% das mudas sem adubação.

A taxa de mortalidade foi alta (55,4%) quando comparada à do trabalho de Silva (2012), que obteve taxa de mortalidade de 30% avaliando o estabelecimento de mudas nativas em áreas de restauração ecológicas na RPPN Caruara - restinga do complexo lagunar Grussaí-iquipari, RJ.

Após doze meses de observações, obteve-se uma taxa de 67% de indivíduos de *Hymenea parviflora* sobreviventes. Nenhuma muda de *Chrysobalanus icaco* sobreviveu ao longo desse período (Figura 4).

A irrigação pode ser o fator de maior influência no estabelecimento das mudas na área de reflorestamento. Como mostra o trabalho de Silva (2012), a taxa de sobrevivência em área seca de restinga da RPPN Fazenda Caruara, no Rio de Janeiro, foi de 70% e na área alagada, 90%. A autora observou também que os indivíduos da área alagada apresentaram maior média de altura e maior diâmetro da base. A diminuição da chuva nos anos de plantio na área do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses pode ter diminuído a taxa de sobrevivência das mudas.

Figura 4. Taxa de sobrevivência de mudas de *Chrysobalanus icaco* L. (*Chrysobalanaceae*) e *Hymenea parviflora* Huber (*Fabaceae*) transplantadas para teste de reflorestamento no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses durante doze meses



Fonte: elaboração própria

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podemos concluir que as sementes das espécies selecionadas no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, em sua maioria, apresentam dormência e necessitam de um tratamento adequado para germinarem.

A escarificação manual com auxílio de lixa foi eficiente para a quebra da dormência de *Hymenea parviflora* e *Chrysobalanus icaco*, porém, não com as demais espécies que passaram pelo mesmo tratamento.

Este estudo deve ser continuado tomando-se medidas periódicas e por um maior período de tempo a fim de se verificar o comportamento das diferentes espécies que representam grupos ecológicos distintos e também famílias que possuem comportamentos diferenciados no processo de sucessão vegetal.

A taxa de sobrevivência das mudas de espécies nativas retiradas do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses variou de acordo com a espécie. *Hymenea parviflora* mostrou-se mais resistente à seca e, portanto, quase todas as mudas desta espécie sobreviveram. *Chrysobalanus icaco* obteve a maior porcentagem de mudas mortas, provavelmente pelas altas temperaturas seguidas da escassez de água, já que esta espécie tem preferência por áreas que são alagadas durante o período chuvoso.

## REFERÊNCIAS

AGRA, M.F.; SILVA, K. N.; BASÍLIO, I. J. L. D.; FRANÇA, P. F.; BARBOSA FILHO, J. M. Survey of medicinal plants used in the region Northeast of Brazil. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 18, p. 472-508, 2008.

ARAÚJO, D. S. D.; LACERDA, L. D. A natureza das restingas. *Ciência Hoje*, São Paulo, v. 6, n. 33, p. 42-48, 1987.

BEWLEY, J.D.; BLACK, M. Dormancy and the control of germination. In: BEWLEY, J.D.; BLACK, M. *Seeds: physiology of development and germination*. New York: Plenum Press, 1994. p. 199-214.

BRAGA, R. *Plantas do Nordeste, especialmente do Ceará*. 2ª ed. Fortaleza: Imprensa Oficial, 1960.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA 007/96. Brasília, DF, 23 jul. 1996. Disponível em: <<http://www.lei.adv.br/007-96.htm>> Acesso em: 10 mai. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. 2000. Disponível em: <[https://www.mma.gov.br/estruturas/240/\\_publicacao](https://www.mma.gov.br/estruturas/240/_publicacao)>. Acesso em: 01 ago. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. 2011. Disponível em: <[https://www.mma.gov.br/estruturas/240/\\_publicacao](https://www.mma.gov.br/estruturas/240/_publicacao)>. Acesso em: 01 ago. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano de Manejo do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses. São Luís: Ministério do Meio Ambiente, 2003.

BRASIL. Resumo do relatório circunstanciado de identificação e delimitação da terra indígena Menkü. Diário Oficial da União, Brasília, DF,

19 abr. 2002. Seção 1, p. 27. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/servlet/INPDFViewer?jornal=1&pagina=27&data=19/04/2012&captchafield=firistAccess>>. Acesso em: 04 set. 2016.

CARRASCO, P. G. et al. Produção e avaliação do crescimento de mudas de espécies florestais de restinga, com e sem adubação. 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. Bento Gonçalves - RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000.

CAVALCANTI, N. B.; RESENDE, G. M. A sobrevivência de plantas de imbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) em área de caatinga nativa e degradada. 2005. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/162558>>. Acesso em: 06 set. 2016.

CUNHA, A. O.; ANDRADE, L. A.; BRUNO, R. L. A.; SILVA, J. A. L.; SOUZA, V. C. Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex D.C.) Standl. Revista *Árvore*, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 507-516, 2005.

DAVIDE, A.C.; SILVA, E.A.A. Produção de sementes e mudas de espécies florestais. Lavras: Ed. UFLA, 2008. p. 11-82.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) Amazônia Oriental. Produção de mudas de espécies florestais nativas da Amazônia. 2009. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/61947/1/FDProducaoMudas.pdf>>. Acesso em: 04 de set. 2016.

FERNANDES, J. et al. Pentacyclic triterpenes from *Chrysobalanaceae* species: cytotoxicity on multidrug resistant and sensitive leukemia cell lines. *Cancer Lett*, v. 190, p. 165-169, 2003.

FERRÃO, J. E. M. Fruticultura tropical. Espécies com frutos comestíveis. Lisboa: Instituto de Investigações Científica Tropical, 1999.

FONSECA-KRUEL, V. S. et al. Plantas úteis da restinga: o saber dos pescadores artesanais de Arraial do Cabo, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2006.

FREISE, F. W. Plantas medicinais brasileiras. São Paulo: Secretaria de Agricultura, 1934.

HOEHNE, F. C. Plantas e substâncias tóxicas e medicinais. São Paulo: Secretaria da Agricultura, 1978.

LEAL, Luiz Roberto Zamith Coelho. Sobrevivência inicial de espécies arbustivas e arbóreas plantadas em área degradada de mata de Restinga periodicamente inundada. Disponível em: <<http://www.botanica.org.br/trabalhos-cientificos/56CNBot/56CNBot-1277.pdf>>. Acesso em: 20 de jun. 2017.

MALCHOW, Eduardo; KOEHLER, Alexandre Bernardi; NETTO, Sylvio Péllico. Efeito de borda em um trecho da Floresta Ombrófila Mista, em Fazenda Rio Grande, PR. Revista Ciência Animal, v. 4, n. 2, 2006.

MARCOS-FILHO, J.; CICERO, S.M.; SILVA, W.R. Avaliação da qualidade das sementes. Piracicaba: FEALQ, 1987.

MORAES, Jane Valadares. Morfologia e Germinação de Sementes de *Poecilanthe parviflora* Bentham (Fabaceae - Faboideae). Dissertação (mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2007.

PARQUE DA TIJUCA. Ministério do Meio Ambiente História. Disponível em: <<http://www.parquedatijuca.com.br/#historia>>. Acesso em: 15 set. 2017.

PIO-CORRÊA, M. Dicionário de Plantas Úteis do Brasil e das exóticas cultivadas. Vol.3. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional. 1926.

PRANCE. G. T. Chrysobalanaceae. Flora Neotropica. Monograph nº10. New York: Hafner Publishing, 1972.

ROIG Y MESA, J. T. Plantas Medicinales, aromáticas, y venenosas de Cuba. Habana: Ministério de Agricultura, servicio de Publicidad y Divulgación. 1945.

SCOLES, R., R. GRIBEL; G. N. KLEIN. Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais, v. 6, n. 3, p. 273-293, set-dez. 2011.

SILVA, Glauce Daniele Ferreira. Avaliação do estabelecimento de mudas nativas em áreas de restauração ecológicas na rppn caruara-restinga do complexo lagunar grussaí-iquipari, rj. 2012. Tese (doutorado). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2012.

UGENT, D.; OCHOA, C.M. La etnobotánica del Perú: desde la Prehistoria al Presente. Lima: Imprenta Universidad Nacional Mayor San Marcos. 2006.

WONG, W. Some folk medicinal plants from Trinidad. *Economic Botany*, v. 30, nº 2, p. 103-142, 1976.

ZAIDAN, Lilian B.P; BARBEDO, Claudio J. Quebra de dormência em sementes. In: *Germinação: do básico ao aplicado*. Porto Alegre: Artmed, 2008. p. 135-146.

ZAMITH, L.R.; SCARANO, F.R. Produção de mudas de espécies das Restingas do município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v.18, p.161-176, 2004.

# 3

ROBÓTICA,  
INOVAÇÃO E  
CIÊNCIA DE DADOS

SEÇÃO 3



## CAPÍTULO 8

# ANÁLISE DE DADOS DE MÍDIAS SOCIAIS E SISTEMAS DE RELACIONAMENTO DE CLIENTES: ESTUDOS DE CASO EM GOVERNO ELETRÔNICO

Antônio Fernando Lavareda Jacob Junior<sup>1</sup>

Bianca Valéria Lopes Pereira<sup>1</sup>

Fábio Manoel França Lobato<sup>2</sup>

Thaís Luciana Corrêa Braga<sup>3</sup>

Diego Lisboa Cardoso<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Centro de Ciências Tecnológicas (CCT), Universidade Estadual do Maranhão.

<sup>2</sup> Instituto de Engenharia e Geociências (IEG), Universidade Federal do Oeste do Pará.

<sup>3</sup> Universidade do Minho (Portugal).

<sup>4</sup> Instituto de Tecnologia (ITEC), Universidade Federal do Pará.

### RESUMO

Com o aumento da largura de banda e popularização do acesso à Internet as pessoas estão sempre conectadas. Com a potencialização no uso das redes e mídias sociais houve uma mudança na forma que ocorrem as interações sociais, comerciais, políticas e pessoais. Além disso, uma gama de conteúdo é produzida diariamente. Como as redes e mídias sociais são compostas pela opinião pública a respeito de diversos assuntos e temas variados, observando e analisando textos publicados é possível verificar a popularidade e reputação de um determinado órgão ou empresa, ou analisar a satisfação de clientes em relação a um produto ou serviço, examinar a conduta das pessoas e suas atitudes, identificando padrões e estruturas importantes. Seguindo essa abordagem se deu ascendência ao *Social Customer Relationship Management*, o qual utiliza essas características das plataformas de boca a boca eletrônico com o objetivo de minimizar a distância entre empresa e cliente, instituição e aluno, serviço e usuário. Nesse contexto, o governo eletrônico encontra-se em outra perspectiva, o qual precisa participar junto ao cidadão de discussões na rede, visando obter da rede a supervisão e avaliação dos programas, ações e atividades desenvolvidas pelo Estado. Neste contexto, este trabalho apresenta os conceitos relacionados na área de Social CRM, bem

como dois estudos de caso realizados em uma instituição pública de ensino e quais foram as contribuições deste para a replicação no tema Programa Espacial Brasileiro.

Palavras-chave: Mídias Sociais. SCRM. eGov.

## 1 INTRODUÇÃO

É indiscutível a importância das mídias sociais para os negócios dado a sua ubiquidade no cotidiano das pessoas. De acordo com o relatório da Hootsuite, atingimos neste ano de 2018 a marca de 4 bilhões de pessoas conectadas à internet, sendo que 42% desses usuários são ativos nas mídias digitais, com um crescimento de 17% comparado a janeiro de 2017. Este fenômeno fez com que os gestores e consultores tentassem identificar formas pelas quais as empresas podem fazer a aplicação lucrativa destes meios de comunicação.

O Brasil vem ganhando crescente destaque na área, sendo o terceiro colocado no ranking de tempo gasto na internet por dia, estimado em 9 horas e 14 min, ficando atrás da Tailândia e Filipinas com 9 h 38 min e 9h e 29 min respectivamente (HOOTSUITE, 2018). No que tange ao uso das mídias sociais, ainda de acordo com o relatório da Hootsuite, o brasileiro está em segundo lugar, com 3 horas e 39 minutos, ficando atrás apenas das Filipinas.

Este novo paradigma de comunicação surgiu com o advento da Internet 2.0, que por sua vez propiciou o surgimento de um conceito-chave no tema, o conteúdo gerado pelos usuários, conhecido pelo seu acrônimo UCG, do inglês, *User-Generated Content*. O UCG pode ser definido como qualquer forma de conteúdo, como imagens, vídeos, textos, disponibilizados na internet pelos usuários nas mídias sociais.

Esses dados eletrônicos são muito importantes para as organizações, uma vez que ajudam a: i) conhecer como os usuários percebem seus produtos e/ou serviços; ii) intensificar o relacionamento; iii) alinhar os negócios com as necessidades dos usuários (ROSENBERGER, 2015).

Neste cenário, órgãos do governo vêm adotando gradativamente as mídias sociais como forma de interação com o público (MERGEL, 2013). Essa interação pode contribuir para incorporar a opinião da sociedade nas ações e decisões políticas da administração pública. Neste sentido, faz-se necessário os estudos de como mensurar essas opiniões.

E nesse contexto que surge o *Social Customer Relationship Management* (Social CRM), traduzido como Gestão de Relacionamento com os Clientes por meio de Mídias Sociais. Este é um conceito que inclui estratégias, processos e tecnologias que reúnem as redes sociais na web e processos de Gestão de Relacionamento com o Cliente.

Nessa perspectiva, o objetivo deste trabalho é apresentar os conceitos relacionados na área de Social CRM e como estes podem contribuir para as práticas da gestão social por meio da extração de dados advindos das mídias sociais. Para atingir esse objetivo, faz-se uma discussão sobre os temas de mídias sociais, relacionamento com clientes e governo eletrônico (e-gov). Por fim, são apresentados estudos de caso realizados em uma instituição pública de ensino e os quais foram as contribuições deste para a replicação no tema Programa Espacial Brasileiro.

## 2 MÍDIAS SOCIAIS E GESTÃO DE RELACIONAMENTO COM CLIENTES

No trabalho seminal de Kaplan e Haenlein (2010) os autores advertem para a confusão terminológica entre mídias sociais e redes sociais online, tanto por profissionais quanto por pesquisadores. As primeiras se relacionam com o uso de tecnologias baseadas na web (ou móveis) para tornar a comunicação em um diálogo interativo, enquanto as redes sociais online representam estruturas entre seus membros. Vale observar que as RSO podem incorporar elementos das mídias sociais nestas plataformas, dependendo da categoria da plataforma em questão. Em Shazia et. al. (2018) é possível encontrar exemplos e categorização para RSO, por exemplo, o Facebook pode ser considerado uma rede social de amizade apresenta elementos de diálogo; o mesmo é válido para o

Twitter, o qual pode ser classificado como uma rede de seguidores, mas cujo principal foco é o compartilhamento de UGC.

Considerando a relevância das mídias sociais para os negócios, empresas e pesquisadores vêm dedicando considerável esforço no desenvolvimento de produtos e estratégias, tanto quanto ao melhor uso dessas plataformas como canal de comunicação de dupla via, quanto também na transformação dos dados gerados pelos usuários em *insights* úteis para o desenvolvimento de novas estratégias de negócio (LEHMKUHL; JUNG, 2013; LOBATO *et al.*, 2017), fazendo surgir um conceito denominado de Social CRM.

Grosso modo, o Social CRM adiciona as mídias sociais como canal de comunicação e fonte de dados aos sistemas de CRM (KUBINA; LENDEL, 2015). Neste ensejo, analisando as mídias sociais do ponto de vista do consumidor, essas plataformas representam uma fonte de informação acerca de marcas, produtos e serviços, uma folha de reclamações aberta e também um novo canal de comunicação com as empresas. Já do ponto de vista das empresas, além de ser canal de comunicação multidirecional, é uma fonte de dados rica e plural (Lobato *et al.*, 2017). Os mesmos autores apresentam um portfólio de possibilidades da combinação de análise de mídias sociais com os sistemas CRM, o qual está resumido na Tabela 1.

Os avanços recentes nas análises de mídias sociais e de UGC possibilitam cada vez mais a implantação de vários desses serviços por parte das empresas. Por exemplo, a detecção de comunidades permite agrupar consumidores de acordo com preferências (Silva *et al.*, 2018); a análise de sentimentos auxilia na identificação de postagens positivas ou negativas a respeito de produtos e marcas (CIRQUEIRA *et al.*, 2017), dentre outras inúmeras possibilidades.

Tabela 1. Portfólio de serviços do Social CRM

Setores relacionados ao CRM	Potenciais serviços associados ao Social CRM
Vendas	Recomendação de produtos
	Predição de compra
	Identificação de <i>Leads</i>
Marketing	Análise de mercado
	Gestão de campanhas em mídias sociais
	Gestão de marca adaptativa
	Análise do impacto de campanhas publicitárias
Serviço e suporte	Perguntas Frequentes (FAQ <sup>2</sup> ) nas mídias sociais
	Atribuição e priorização de atendimento de acordo com o conteúdo das postagens
	Fóruns de suporte à comunidade
Inovação	Redes sociais empresarias privadas
	Identificação dos desenhos e necessidades dos consumidores
	Identificação e monitoramento de tendências
Colaboração	Identificação de influenciadores digitais
	Recrutamento de colaboradores
Experiência do consumidor	Análise de comunidades
	Recrutamento de embaixadores de marcas

Fonte: Lobato *et al.* (2017)

Além das análises supraditas, observou-se também o surgimento de plataformas específicas para o Social CRM, como o caso de sites destinados ao boca-a-boca eletrônico, do inglês *electronic Word-of-Mouth*

<sup>2</sup> Frequent Answered Questions (FAQ)

(eWOM). No Brasil, o site ReclameAqui<sup>3</sup> merece destaque até novembro de 2018 o site contava com mais de 120 mil empresas cadastradas e 15 milhões de usuários e a 29ª no Brasil posição de acordo o Ranking Alexa<sup>4</sup>, tal como mostra a Figura 1.

Figura 1. Posicionamento do site ReclameAqui



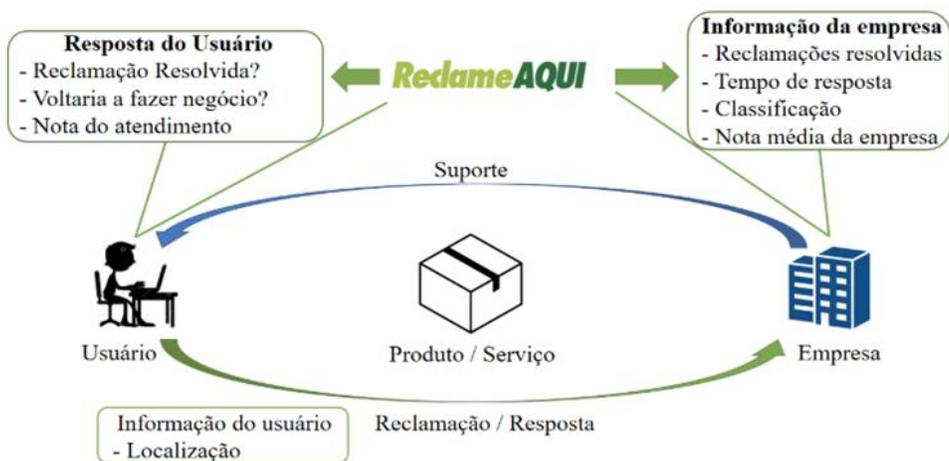
Fonte: Alexa Traffic Ranks (2018)

O ReclameAqui é um excelente exemplo de Social CRM e de eWOM, mostrando as duas facetas de plataforma de comunicação e de fonte de dados. De Almeida e colaboradores modelaram o esquema de interação consumidor-empresa no site ReclameAqui, como mostra a Figura 2.

<sup>3</sup> <https://www.reclameaqui.com.br/>

<sup>4</sup> <https://www.alexa.com/topsites/countries/BR>

Figura 2. Esquema de interação entre consumidor-empresa no site ReclameAqui.



Fonte: ReclameAqui (2018)

Apesar do Social CRM ser mais abordado no âmbito privado, percebe-se que os cidadãos também têm buscado as mídias sociais para manifestar opinião acerca de serviços prestados por entidades públicas. Em 2015 o ReclameAqui lançou uma plataforma integrada para este fim. Em escala mundial, outras plataformas baseadas em inteligência coletiva e, sobretudo, em UGC, também têm se destacado como provedores de mecanismos que empoderam os cidadãos no acompanhamento e cobrança de entidades públicas, como, por exemplo, o caso do Avaaz<sup>5</sup>.

### 3 GOVERNO ELETRÔNICO

De acordo com Jardim (2000), a capacidade política de governar ou governabilidade decorre da relação de legitimidade do Estado e do seu governo com a sociedade, enquanto a governança refere-se à capacidade

<sup>5</sup> <https://avaaz.org/>

financeira e administrativa de um governo de implementar políticas. Para fins analíticos, no entanto, convém se falar em capacidade governativa, cuja relação com a informação permite refletir sobre o governo eletrônico.

Vilella (2003) explica que, na língua inglesa, *eletronic government* possui uma versão simplificada – *e-government*. Em língua portuguesa, a expressão e-governo, amiúde, também se encontra de forma abreviada – e-gov. Ainda que, na escrita, as duas palavras possam ser tomadas como iguais, numa dimensão conceitual, elas se ancoram em diferentes perspectivas.

Guimarães e Medeiros (2005) afirmam que, com o objetivo de verificar como o tema vem sendo tratado, a Organização das Nações Unidas (ONU) coleta dados dos países acerca das novas formas de interação Estado/sociedade para construir um de seus indicadores qualitativos, denominado índice de e-participação – o qual mede, do ponto de vista do cidadão, a relevância e a utilidade das informações e serviços providos por meio de programas de governo eletrônico que pretendem incrementar o diálogo da sociedade com o governo para a construção do processo político. O índice de e-participação da ONU avalia três itens: 1) e-informação, isto é, se há *websites* que informam sobre políticas e programas, leis, orçamentos, regulamentos e outras questões de interesse público; 2) e-consulta, ou seja, se o *website* do governo apresenta, por exemplo, ferramentas para discussão on-line de políticas públicas; 3) e-tomada de decisão, que deve indicar se o governo levará em conta a opinião da sociedade, dando retorno real sobre questões específicas.

Para compreender o e-gov, entretanto, não se deve limitar o entendimento apenas ao acesso, via internet, às informações e aos serviços oferecidos pelos governos. Guimarães e Medeiros (2005) consideram o desenvolvimento da cidadania e da democracia, pois definem a governança eletrônica como um processo que visa à manifestação política e à participação da sociedade civil, junto ao governo e por meios eletrônicos, na formulação, acompanhamento da implementação e avaliação das políticas públicas. Ademais, pode-se entender o e-gov pelo âmbito estratégico, segundo o qual Estado “faz uso das novas tecnologias para oferecer à sociedade melhores condições de acesso à informação e serviços governamentais, ampliando a qualidade desses serviços e

garantindo maiores oportunidade de participação social no processo democrático” (JARDIM, 2000, p. 4).

Para este último autor, o governo eletrônico amplia a efetividade dos governos em, pelo menos, quatro aspectos: 1) torna-se mais fácil para a sociedade ter suas perspectivas consideradas pelos governos na (re)definição de políticas públicas; 2) alguns serviços prestados à sociedade podem ser melhores desenvolvidos em plataformas *on-line*; 3) a comunicação integrada entre as diferentes organizações governamentais pode tornar mais preciso o atendimento aos cidadãos; 4) a sociedade estará melhor informada sobre o governo, bem como sobre atualizações de leis, regulamentos, políticas e serviços.

Vilella (2003) cita o relatório *Rhetoric vs Reality - Closing the Gap*<sup>6</sup> (2001), segundo o qual, entre as iniciativas de governo eletrônico em 22 países, o Brasil destaca-se no rol dos 20 países mais avançados no mundo no que se refere a e-gov. A primeira iniciativa brasileira para a implantação do governo eletrônico data do decreto presidencial de 3 de abril de 2000, quando se iniciaram as atividades do Grupo de Trabalho Interministerial (também conhecido como Grupo de Trabalho em Tecnologia da Informação - GTTI) a fim de examinar e propor políticas, diretrizes e normas relacionadas com as novas formas eletrônicas de interação.

Guimarães e Medeiros (2005) afirmam que, naquele momento, foram lançadas as bases para a inclusão digital brasileira, uma vez que o GTTI assumiu o papel de facilitador na busca dos objetivos do Programa Sociedade da Informação (SocInfo), coordenado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCTI). Ainda de acordo com os autores, o SocInfo e o Programa de Governo Eletrônico brasileiro, que tem sido implementado sob coordenação e mobilização da Casa Civil da Presidência da República, consistem nos grandes programas governamentais rumo a uma política nacional para a tecnologia da informação.

---

<sup>6</sup> Disponível em: <<http://afyonluoglu.org/PublicWebFiles/eGovBenchmark/ACC/2001-Accenture.pdf>>

### 3.1 E-GOV E MÍDIAS SOCIAIS

O estudo de Alarabiat (2018) revela que, de maneira geral, os governos têm dificuldade em interagir com os cidadãos da forma como estes realmente preferem. Recentemente, os *sites* de mídias sociais, Facebook, Twitter, YouTube, Instagram, entre outras, mostram a capacidade única de fornecer uma nova maneira de comunicação entre governos e sociedade. Assim, as mídias sociais são vistas como uma maneira de preencher a lacuna e de consertar a separação comum entre governo e cidadãos. Consequentemente, os governos têm sido encorajados a dar passos para seguir os cidadãos onde eles estão, em vez de esperar que eles cheguem aos seus espaços “oficiais”. Globalmente, a maioria dos governos está confiando no Facebook para implementar iniciativas de e-participação mais do que outros *sites* de mídia social.

Faz-se necessário distinguir e-participação de governo eletrônico. A primeira, por natureza, é voluntária para os cidadãos – estes decidem se envolver ou não, por exemplo, em sistemas de e-petição e votação eletrônica. Na segunda, como canais e serviços do governo eletrônico, a adesão do cidadão é mandatória. Ainda de acordo com Alarabiat (2018), além da inegável popularidade, a capacidade das mídias sociais em criar fóruns de interação torna-as úteis para a e-participação, bem como permite que os projetos de e-participação se tornem mais visíveis e alcançáveis. Dados das ONU apontam que 152 de 193 países (isto é, quatro em cada cinco) integraram as mídias sociais em seus portais ou *sites* nacionais. É importante ressaltar que a e-participação vai além de apenas questões políticas ou de votação em eleições.

No entanto, o sucesso da e-participação não pode ser atingido apenas por meio do fornecimento de ferramentas técnicas. Não há garantias de que a disponibilização de várias ferramentas de e-participação necessariamente conquiste o interesse e envolvimento dos cidadãos em tais iniciativas. Provavelmente, existem outros fatores determinantes que influenciam a participação dos cidadãos, daí a importância de pesquisas multidisciplinares em contextos mais diversos.

## 4 ESTUDOS DE CASO

No cenário da administração pública, a comunicação se configura como instrumento qualitativo de gestão para construir uma relação mais próxima do Estado com a sociedade, bem como na divulgação de informações de interesse público (ALVES, 2014).

Neste contexto, esta seção apresenta dois estudos de caso realizados na Universidade Federal do Pará e, por fim, a estrutura a ser utilizada no desenvolvimento do estudo de caso do Programa Espacial Brasileiro.

### 4.1 UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

Dois estudos envolvendo a Universidade Federal do Pará (UFPA)<sup>7</sup>, a maior universidade pública da Amazônia, revelam desafios no que se refere ao relacionamento entre as instituições públicas e a sociedade por meio das mídias digitais.

O primeiro estudo avaliou o desempenho de diferentes algoritmos para Análise de Sentimento (AS), por meio da ferramenta iFeel, utilizando como bases de dados textos provenientes de redes sociais e escritos em português brasileiro. O iFeel consiste num *framework* desenvolvido pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), composto por 19 métodos voltados especificamente para a Análise de Sentimento. “Essa ferramenta foi desenvolvida a fim de gerar um *survey* sobre uma avaliação de desempenho de diversos métodos de mineração de opinião para diferentes fontes de dados e tipos de texto, na língua inglesa” (CIRQUEIRA, 2016, p. 3). Posteriormente, os dados foram traduzidos para português brasileiro por meio da ferramenta Yandex Translate.

---

<sup>7</sup> Constituída por 14 institutos, sete núcleos, 36 bibliotecas universitárias, dois hospitais universitários e uma escola de aplicação, a UFPA conta com mais de 40 mil estudantes, do ensino fundamental e médio à pós-graduação, bem como do ensino técnico e de cursos livres. Ainda, além da capital Belém, desenvolve atividades em 12 *campi* do interior do Estado do Pará. Disponível em: <<https://portal.ufpa.br/index.php/universidade>>

Além dos comentários da página da UFPA no Facebook, o estudo utilizou os comentários de mais três *fanpages*: Prefeitura de Belém, Prefeitura de Curitiba e Humaniza Redes. Ainda, à exceção da Humaniza Redes, também foram consideradas os demais perfis no Twitter. Em geral, os testes realizados conseguiram dividir os comentários em positivos e negativos.

A principal contribuição da pesquisa consiste em, no caso de um perfil de uma instituição pública que recebe muitos comentários por dia e não pode dispor de ferramentas pagas para a moderação desses comentários, haver uma filtragem inicial a fim de identificar possíveis reações negativas, bem como respondê-las tão logo quanto possível.

O segundo estudo objetivou detectar as comunidades da UFPA, com base nos três perfis institucionais no Facebook, no Twitter e no Instagram, a partir de técnicas de agrupamento (*clustering*) – isto é, “a divisão de objetos presentes na base de dados em grupos, os quais possuem características similares entre si e dissimilares em relação a objetos de grupos distintos” (NASCIMENTO, 2016, p. 13). Para a coleta dos dados, utilizou-se a Graph API<sup>8</sup>, que concede acesso aos dados de usuários, páginas e grupos existentes na rede, sendo igualmente necessária a criação de uma aplicação para a requisição de dados.

Foram identificados quatro grupos presentes na estrutura dos dados coletados da página da UFPA no Facebook. O total de 4.682 usuários interagiu com a página por meio de curtidas e comentários em 1.634 postagens publicadas no ano de 2015. “É possível ressaltar que mais de 95% dos seguidores não acompanham as atualizações da página, pois não interagiram com nenhuma publicação no período” (NASCIMENTO, 2016, p. 48). Já no Twitter, foram identificados apenas dois grupos, com um total de 268 usuários que interagiram por meio de comentários e compartilhamentos em 3.200 tuítes no período de fevereiro de 2015 a fevereiro de 2016. Por fim, no Instagram, foram encontrados três grupos, cujo total era de 2.232 usuários ativos no período de setembro de 2012 a maio de 2015. A análise considerou 812 fotos.

---

<sup>8</sup> Disponível em: <<https://developers.facebook.com/docs/graph-api>>

O segundo estudo revelou, ainda, que a comunidade acadêmica se envolve mais em postagens que fazem referência a profissões das diversas áreas de estudo da universidade, bem como que, no mês de janeiro, a popularidade das postagens aumenta consideravelmente em relação ao resto do ano, pois se trata do período de divulgação dos estudantes aprovados no processo seletivo. Para Nascimento (2016, p. 3), publicações que fazem referência a “personagens do cinema, séries de TV ou memes da internet, também fazem bastante sucesso entre os seguidores da página, demonstrando o caráter jovem de uma grande parte dos usuários”.

#### 4.2 PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO

Instituída em 1994, a Agência Espacial Brasileira é o órgão responsável por administrar a política espacial brasileira, a qual é compreendida pelo desenvolvimento de planos de veículos lançadores, administração dos Centros de Lançamento, dentre outras. Magalhães et. al (2017) afirma que “a população brasileira, em geral, não conhece a atuação ou compreende a relevância para o país do que a Agência Espacial Brasileira (AEB) produz”. Neste caso, a AEB precisa procurar formas de dar mais transparência e publicidade nas políticas desenvolvidas buscando alcançar a governança eletrônica, isto é, proporcionar meios eletrônicos para manifestação política e participação da sociedade civil na formulação, acompanhamento da implementação e avaliação das políticas públicas (GUIMARÃES; MEDEIROS, 2005).

Neste contexto, pretende-se, a partir dos dados publicados nas mídias sociais, investigar a aplicação de técnicas de Inteligência Computacional à área de *Social Customer Relationship Management*, a fim de realizar a descoberta de conhecimento no tema de política espacial brasileira. Para atingir este objetivo, a partir das lições aprendidas no estudo de caso da UFPA (seção 4.1) e adaptando ao problema em tela, far-se-á uso da seguinte metodologia de análise de dados:

- a) Captura dos dados: primeiramente será realizada a obtenção dos dados em diferentes redes sociais utilizando termos de pesquisa e *hashtags* relacionados ao tema de política espacial brasileira;

b) Preparação da base de dados: neste estágio é feito o pré-processamento dos dados capturados. Essencialmente, são realizadas operações de manipulação de dados, as quais envolvem tarefas como: seleção de dados – identificação de quais informações são essenciais para a análise; limpeza de dados: envolve qualquer tipo de tratamento nos dados selecionados a fim de assegurar a qualidade da informação e remoção de ruídos (tais como caracteres especiais, nomes próprios, links, dentre outros); codificação dos dados: conversão dos dados para adaptar ao padrão utilizado como entrada dos algoritmos a serem utilizadas na análise (por exemplo, transformação de valores numéricos em categorias ou intervalos);

c) Descoberta de conhecimento: a partir da base de dados (*dataset*) tratada e enriquecida nos passos anteriores, será realizada a identificação dos métodos mais adequados de Inteligência Computacional que podem ser aplicados nos dados, a fim de transformar em conhecimento útil para tomada de decisão estratégica.

Além da contribuição científica que se espera gerar na etapa C, pretende-se obter resultados similares ao estudo de caso da UFPA, a saber:

a) Identificação da polarização (positiva ou negativa) e dos principais tópicos de discussão relacionados às postagens realizadas nas mídias sociais sobre o tema política espacial brasileira;

b) Detecção de comunidades em diferentes mídias sociais que tem interagido com páginas/perfis relacionados ao tema aeroespacial.

Por fim, ao realizarem as observações e avaliações dos resultados obtidos, pretende-se validar com um órgão vinculado a AEB.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o conceito de *Social Customer Relationship Management* (Social CRM), o qual inclui estratégias, processos e tecnologias que reúnem as redes sociais na web e processos de Gestão de Relacionamento com o Cliente. Além disso, destacou-se que

este conceito não está somente limitado à relação empresa-cliente, uma vez que a relação governo-cidadão possui características parecidas e que pode fazer uso das técnicas e estudos que vêm sendo desenvolvidos na área. Esta aplicação pode ser vista como uma maneira de preencher a lacuna e de consertar a separação comum entre governo e cidadãos.

Para demonstrar a viabilidade técnica desta aplicação, este trabalho apresentou dois estudos de caso realizados na Universidade Federal do Pará. Os estudos revelaram que o público universitário está cada vez mais enredado nas redes sociais, em busca de informações sobre o conceito das estruturas públicas da educação e das possíveis ocupações dos campos de conhecimentos ofertados na Universidade. Com a sumarização dos materiais coletados, tornou-se possível identificar os grupos que seguem a página da UFPA no Facebook e algumas outras características específicas a respeito destes.

Dessa maneira, os órgãos públicos, como a AEB, precisam se emparelhar com esse progresso científico, de modo a obter novos meios de se relacionar com seus atuais e futuros público-alvo. Neste caso, a partir das lições aprendidas nos estudos de caso, uma metodologia de análise de dados foi apresentada, a qual será aplicada para descoberta de conhecimento de dados advindos de mídias sociais relacionadas ao Programa Espacial Brasileiro.

## REFERÊNCIAS

ALARABIAT, A. A. Electronic participation through social media citizens' acceptance factors at local government level. 2018. Tese (doutorado), Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1822/56307>>. Acesso em 5 de Novembro de 2018.

ALMEIDA, G. R. T.; LOBATO, F.; CIRQUEIRA, D. Improving Social CRM through eletronic word-of-mouth: a case study of ReclameAqui. XIV Workshop de Trabalhos de Iniciação Científica, [s. l.], 2017.

ALVES, C. A.. Gestão da comunicação das universidades federais: mapeamento de ações e omissões. 2014. Programa de Pós-graduação em Comunicação, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru. Disponível em: <<https://cristianoalvarenga.com/wp->

content/uploads/2016/09/Disserta\_Cristiano\_Alvarenga.pdf>. Acesso em 5 de Novembro de 2018.

CIRQUEIRA, D. R. Avaliação de desempenho de algoritmos de Análise de Sentimento para português brasileiro. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Engenharia da Computação e Telecomunicações, Universidade Federal do Pará, Belém.

CIRQUEIRA, D.; JACOB, A.; LOBATO, F.; SANTANA, A. L.; PINHEIRO, M. Performance Evaluation of Sentiment Analysis Methods for Brazilian Portuguese. In: ABRAMOWICZ, W.; ALT, R.; FRANCZYK B. (Eds.). Business Information Systems Workshops: BIS 2016 International Workshops, Leipzig, Germany, July 6-8, 2016, Revised Papers. Cham: Springer International, 2016. p. 245–251.

GUIMARÃES, T. A.; MEDEIROS, P. R. A relação entre governo eletrônico e governança eletrônica no governo federal brasileiro. Cadernos EBAPE.BR, Rio de Janeiro, v. 3, n. 4, dezembro de 2005.

HOOTSUITE. Digital in 2018: World´s Internet Users pass the 4 billion mark. 2018. Disponível em: < <https://hootsuite.com/pt/pages/digital-in-2018>>.

JARDIM, J. M. Capacidade governativa, informação, e governo eletrônico. DataGramaZero Revista de Ciência da Informação, [s. l.], v. 1, n. 5, p. 1-7, 2000. Disponível em <<http://www.brapci.inf.br/index.php/article/view/0000001220/11ad98b41955a2148df53895206cd914/>>. Acesso em 5 de Novembro de 2018.

KAPLAN, A. M.; HAENLEIN, M.). Users of the world, unite! The challenges and opportunities of Social Media. Business Horizons, [s. l.], v. 53, n. 1, p. 59–68, 2010.

KUBINA, M.; LENDEL, V. Successful Application of Social CRM in The Company. Procedia Economics and Finance, [s. l.], v. 23, p. 1190-1194, outubro 2014.

LEHMKUHL, T.; JUNG, R. Towards Social CRM - Scoping the concept and guiding research. EInnovations: Challenges and Impacts for Individuals, Organizations and Society, p. 190–205, 2013.

LOBATO, F.; PINHEIRO, M.; JACOB, A.; REINHOLD, O.; SANTANA, Á. Social CRM: Biggest Challenges to Make it Work in the Real World. ABRAMOWICZ, W.; ALT, R.; FRANCZYK B. (Eds.). Business Information Systems Workshops: BIS 2016 International Workshops, Leipzig, Germany, July 6-8, 2016, Revised Papers. Cham: Springer International, 2016. p. 221–232.

MAGALHÃES, Gabriel G.M.S. *et al.* Seleção de Técnicas de Mineração de Dados para Segmentação de Mercado. Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining (BraSNAM\_CSBC), [S.l.], v. 6, n. 1/2017, julho 2017. Disponível em: <<http://portaldeconteudo.sbc.org.br/index.php/brasnam/article/view/3255>>

MERGEL, I. Social media adoption and resulting tactics in the U.S. federal government. *Government Information Quarterly*, [s. l.], v. 30, n. 2, pp. 123-130, 2013.

NASCIMENTO, I. A. Análise de comunidade em redes sociais utilizando técnicas de mineração de dados: um estudo de caso nas redes da UFPA. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Engenharia da Computação e Telecomunicações, Universidade Federal do Pará, Belém.

RECLAMEAQUI. Esquema de interação entre consumidor-empresa no site ReclameAqui. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/figure/Esquema-de-interacao-das-reclamacoes-no-Reclame-Aqui\\_fig1\\_321105499](https://www.researchgate.net/figure/Esquema-de-interacao-das-reclamacoes-no-Reclame-Aqui_fig1_321105499)>. Acesso em: 29 de nov. 2018.

ROSENBERGER, M. Social Customer Relationship Management: An Architectural Exploration of the Components. In: Janssen M. *et al.* (eds). *Open and Big Data Management and Innovation*. Cham: Springer, 2015.

SHAZIA, T., F., P. F. S.; SOFIA, F.; JOÃO, G.; TABASSUM, S.; PEREIRA, F. S. F.; GAMA, J. Social network analysis: An overview. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, [s. l.], v. 8, n. 5, setembro/outubro 2018.

SILVA, W.; SANTANA, Á.; LOBATO, F.; PINHEIRO, M. A Methodology for Community Detection in Twitter. In: 2017 IEEE/WIC/ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEB INTELLIGENCE. 2017, Leipzig, Alemanha. Proceedings. NewYork: The Association for Computing Machinery, 2017. p. 1006-1009.

VILELLA, R. M. Conteúdo, Usabilidade e Funcionalidade: três dimensões para a avaliação de portais estaduais de Governo Eletrônico na Web. 2003. Dissertação (mestrado), Escola de Ciência da Informação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <<http://bogliolo.eci.ufmg.br/downloads/VILELLA%20Conteudo%20Usabilidade%20e%20Funcionalidade.pdf>>.



## CAPÍTULO 9

# CONSTRUÇÃO E ESTUDOS ELETROQUÍMICOS DE ÂNODOS PARA BATERIAS E SUPERCAPACITORES A PARTIR DE RESÍDUOS AMBIENTAIS

Weliton Silva Fonseca<sup>1</sup>  
Auro Atsushi Tanaka<sup>1</sup>  
Paulo Oliví<sup>2</sup>  
Nerilso Bochi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Eletroquímica, CCET, Universidade Federal do Maranhão, São Luís.

<sup>2</sup> Departamento de Química, FFCLRP, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.

<sup>3</sup> Departamento de Química, CCET, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

### RESUMO

A crescente demanda por formas compactas de armazenamento de energia tem gerado esforços da comunidade científica para identificar sistemas eletroquímicos capazes de suprir a demanda de eletricidade de sistemas portáteis, como smartphones, sistemas embarcados e outras tecnologias emergentes. Por outro lado, o desenvolvimento tecnológico tem produzido uma crescente produção de resíduos potencialmente danosos ao meio ambiente. Neste contexto, este trabalho apresenta os resultados parciais do projeto que vem sendo executado com recursos de apoio à pesquisa outorgados pela FAPEMA, visando buscar estratégias sustentáveis para converter resíduos gerados pela sociedade em materiais nanoestruturados para baterias e supercapacitores.

Palavras-chave: Baterias. Supercapacitores. Materiais nanoestruturados.

### 1 INTRODUÇÃO

Baterias são uma classe de dispositivos eletroquímicos capazes de converter energia química em energia elétrica, tendo como componentes básicos células eletroquímicas compostas por cátodo, ânodo e eletrólito.

As baterias são a forma de armazenamento de energia mais utilizada pela sociedade moderna, devido a demanda por fontes de energia cada vez menores e leves para suprir energia a sistemas eletrônicos portáteis. As baterias podem ser divididas em dois grupos: baterias primárias, que uma vez descarregadas não podem ser recarregadas, pois são baseadas em reações químicas irreversíveis, e baterias secundárias, que podem ser reutilizadas em geral por mais de 300 ciclos com mais de 80% de retenção de carga (BOCCHI *et al.*, 2000). Outra forma de armazenar energia é por meio de supercapacitores que, diferentemente dos capacitores convencionais, os quais se baseiam-se no acúmulo de cargas por fenômenos físicos macroscópicos, se baseiam no acúmulo de cargas por meio de processos eletroquímicos que ocorrem entre a dupla camada elétrica de uma superfície condutora e um eletrólito; podendo também acumular carga através da pseudocapacitância, ou seja, das propriedades capacitivas geradas pela adsorção de íons (WINTER; BRODD, 2004).

Embora fenômenos elétricos sejam conhecidos desde a antiguidade, quando as propriedades elétricas do âmbar foram estudadas por diversos filósofos incluindo Thales de Mileto, a quem é creditada sua descoberta (BAILEY, 2001), a primeira forma de armazenar eletricidade foi a garrafa de Leyden, criada em 1745, pelo alemão Ewald Georg von Kleist e, em 1746, independentemente pelo holandês Pieter van Musschenbroek (HO *et al.*, 2010). Todavia, foram os trabalhos pioneiros de Alessandro Volta e Luigi Galvani, no final do século XVIII que levaram à descoberta da pilha, o primeiro sistema capaz de gerar energia elétrica baseado na energia química. Galvani descobriu que os músculos da perna de uma rã se contraíam quando entravam em contato com dois metais diferentes. Inicialmente, este fenômeno foi atribuído à “eletricidade animal”, pois ele acreditava ser um tipo de fluido invisível gerado pelos animais. Volta discordou das conclusões de Galvani e focou-se no fato de que dois metais diferentes eram necessários para gerar o fenômeno e concluiu que os dois metais eram a fonte do fenômeno e não a rã. Para provar suas conclusões, criou uma pilha com uma junção de pares de discos metálicos separados por um meio condutor composto de papel molhado com água salgada (DE ANDRADE MARTINS, 2008).

Outras pilhas foram produzidas e um exemplo notável é a pilha de Daniell, criada por John Frederic Daniell, que representou um grande avanço comparado com as versões anteriores da pilha (SISTRUNK, 1952). Subsequentemente, em 1866, foi criada a pilha de Leclanché baseada em um cátodo de zinco e um ânodo de óxido de manganês misturado com carbono e imersos em um eletrólito de cloreto de amônia, conceito ainda hoje aplicado para as células primárias atuais conhecidas como pilhas alcalinas. Um grande marco na história das baterias foi a criação da primeira bateria recarregável, criada pelo físico francês Gaston Planté que, em 1859, produziu a bateria de chumbo-ácido, um modelo de bateria adotado até os dias atuais pela indústria automobilística (SCROSATI, 2011). Em 1901, foi desenvolvida a bateria de níquel-cádmio, que dominou o mercado até a década de 80 mas que, por sofrer perda de carga causada pelo efeito memória, foi substituída no mercado pelas baterias de íons de lítio.

Nos últimos anos, investimentos na exploração de energia renovável têm crescido mundialmente e o manejo de resíduos ambientais é um tópico recorrente em diversos estudos publicados recentemente (POL, 2010; ZHUO *et al.*, 2014), uma vez que encontrar formas eficazes de conciliar a exploração de energia renovável com formas de converter resíduos ambientais em materiais mais úteis tem chamado atenção por ser uma alternativa sustentável comparada aos métodos de manejo de resíduos e até aos processos de síntese de materiais atuais (FONSECA *et al.*, 2015; MENG *et al.*, 2016). Em destaque na exploração de resíduos ambientais podemos citar a energia solar e eólica, que são tecnologias bem estabelecidas e desenvolvidas, cujas aplicações exigem sistemas de armazenamento de energia eficientes, como baterias e supercapacitores (SCROSATI, 2010).

Baterias de íons de lítio são atualmente a fonte de energia dominante no mercado de eletrônicos portáteis (LOUU *et al.*, 2008). Normalmente são conectadas em série ou em paralelo para se adequar à demanda de energia do usuário. Em uma bateria de íons de lítio comum, os materiais ativos no cátodo e no ânodo são  $\text{LiCoO}_2$  e grafite, respectivamente, isolados eletricamente por uma membrana de polipropileno, imersos em uma solução do eletrólito  $\text{LiPF}_6$  em uma mistura

de solventes orgânicos como carbonato de etileno (EC) e dietil carbonato (DEC) (DENG *et al.*, 2011). Um outro tipo de bateria ainda em fase de desenvolvimento é a bateria de íons de sódio, que são cotadas como uma futura alternativa de baixo custo para as baterias de íons de lítio, que atualmente dominam o mercado. Diversos materiais são estudados como possíveis ânodo e cátodo, em geral formas amorfas de carbono e compostos análogos a estruturas usadas como cátodos para baterias de íons de lítio, como  $\text{NaCoO}_2$ , devido à semelhança entre os dois metais alcalinos. Outro tipo promissor de bateria, também em fase de desenvolvimento, são as baterias de metal-ar que consistem em sistemas eletroquímicos capazes de realizar a reação reversível  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \leftrightarrow 4\text{OH}^-$  no cátodo de ar. O processo de descarga é regido pela reação de redução do oxigênio (ORR) que move o sistema para a direita e o processo de carga pela reação de evolução do oxigênio (OER) que o move para a esquerda. O principal problema encontrado na fabricação deste tipo de dispositivo está em encontrar catalisadores que sejam eficientes para estas duas reações; denominados catalisadores bifuncionais. Até o momento, os melhores catalisadores encontrados para a ORR são os baseados em platina e para a OER os baseados em óxido de rutênio ou irídio. Entretanto, a baixa estabilidade cíclica e o alto custo destes materiais os tornam cada vez menos atrativos (FU *et al.* 2017).

Outro sistema eletroquímico de armazenamento em destaque são os supercapacitores eletroquímicos, que constituem uma classe de sistemas de armazenamento capazes de fornecer alta densidade de energia em curtos períodos de tempo. Os supercapacitores são sistemas eficientes para aplicações que requerem rápidos ciclos de carga e descarga contínuos e, normalmente, requisitados também para aplicações que demandam alta potência e, em geral, utilizados para reaproveitar a energia que normalmente seria perdida na forma de calor dissipado durante constantes ciclos de aceleração e desaceleração em veículos automotivos. Diferentemente das baterias, sua carga se baseia nas reações eletroquímicas que ocorrem na dupla camada elétrica formada entre o eletrodo e o eletrólito (SCHERSON *et al.*, 2016).

Assim sendo, este trabalho apresenta os resultados parciais de uma pesquisa em andamento que utiliza formas sustentáveis de converter

resíduos descartados pela sociedade em materiais alternativos com alta atividade catalítica e potencial para aplicações em baterias e supercapacitores, buscando uma forma de solucionar os principais problemas associados à fabricação e melhoria dos sistemas de armazenamento de energia modernos, por meio da conversão de resíduos ambientais em materiais nanoestruturados de modo a solucionar problemas emergentes nas áreas de energia e na gestão de resíduos industriais e domésticos (ZHUO *et al.*, 2012).

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 SÍNTESE DOS MATERIAIS

Nanoestruturas de um catalisador baseado em um espinélio de níquel e cobalto foram preparadas através de um método de síntese hidrotermal de etapa única, utilizando como doador de ânions um resíduo orgânico: cabelo humano. Todos os reagentes mencionados possuíam grau analítico e foram utilizados sem tratamento adicional.

Uma amostra de cabelo humano foi doada pelo autor (W.S.F), lavada por 2 horas em isopropanol e água deionizada, com o intuito de remover qualquer traço de produtos químicos. Em seguida, a amostra foi secada em uma mufla aquecida a 70 °C, por 24 horas, e então 500mg foi pesada em uma balança analítica e reservada para futuro uso.

Em uma síntese convencional, cloreto de cobalto hexahidratado ( $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), cloreto de níquel hexahidratado ( $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) e uréia ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ) foram completamente dissolvidos em uma solução contendo água deionizada (Milipore Milli-Q) e etilenoglicol. Em seguida, resíduos de cabelo humano foram adicionados à solução previamente preparada e após 1 hora de agitação a mistura foi transferida para uma autoclave forrada com Teflon<sup>®</sup>. O reator autoclave foi selado e mantido à 200°C por 24 horas e então resfriado até a temperatura ambiente. Após a reação hidrotermal, o sólido foi separado através de filtração a vácuo e o produto foi coletado.

## 2.2 TESTES ELETROQUÍMICOS

A atividade eletrocatalítica do catalisador foi avaliada com o auxílio de um bipotenciostato modelo AFCBP1 da Pine Instrument Company, utilizando a técnica de eletrodo de disco rotatório numa célula eletroquímica convencional, contendo um eletrólito alcalino de KOH 0.1 mol L<sup>-1</sup>. As medidas eletroquímicas foram realizadas utilizando um eletrodo de trabalho de carbono vítreo (CV) modificado com o catalisador suportado sobre filme fino de Nafion<sup>®</sup>, uma placa de platina (Pt) como eletrodo auxiliar e um eletrodo de referência do tipo Ag/AgCl.

Os supercapacitores foram avaliados em um potenciostato Autolab PGSTAT 302N, por meio de medidas com as técnicas de voltametria cíclica e cronopotenciometria, num intervalo de potenciais entre 0 V a 0,4 V ou dentro da zona entre os potenciais de desprendimentos do hidrogênio e do oxigênio dos materiais empregados na fabricação. Além disso, a quantidade de carga foi estimada por meio de análise cronopotenciométrica, sob uma densidade de corrente equivalente à massa de material ativo depositada na superfície do eletrodo CV. Nestes estudos, o tempo de descarga é equivalente à capacidade de armazenamento de energia do supercapacitor, de acordo com a equação:

$$C = \frac{I * t}{m * P}$$

onde C corresponde à capacitância do material testado, “I” a corrente, “t”, o tempo de descarga, “m” à massa do material ativo e “P”, potencial aplicado.

## 2.3 CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS

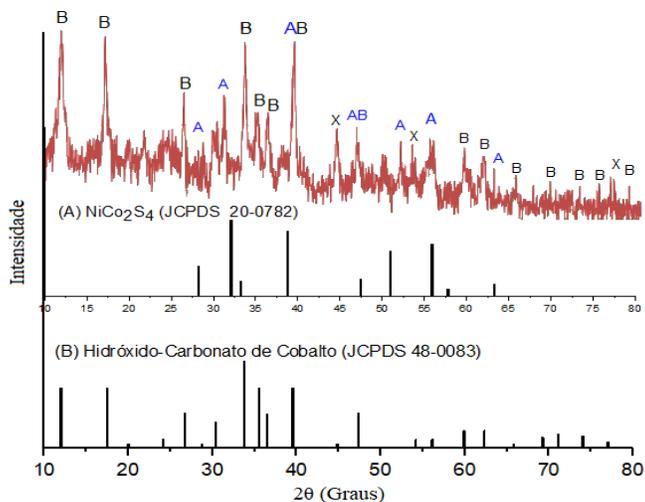
Com o intuito de analisar a morfologia e a estrutura cristalina do material desenvolvido, técnicas de caracterização físicas foram aplicadas ao catalisador. Investigações sobre a morfologia do material foram realizadas utilizando um microscópio eletrônico de varredura Hitachi TM 3030 operado a 1.5 kV. As medidas por espectroscopia de raios-X por dispersão em energia (EDX) foram realizadas num espectrômetro para

microanálise elementar IXRF Systems 500 Digital Processing. O material foi analisado por meio de difração de raios-x utilizando um difratômetro modelo Siemens D5005, operando com radiação Cu-K $\alpha$  ( $\lambda = 0.15406$  nm) gerada a 40 kV e 40mA.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma comparação do espectro de difração de raios-X do catalisador sintetizado (Figura 1) com cartões do JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) evidenciou a presença de uma fase cristalina com picos característicos de espinélios de níquel e cobalto (indicados com um X na Figura 1 estão os picos característicos do níquel), cujas presenças podem ser atribuídas a pequenos desvios de fase cristalina causadas pela presença de níquel no composto.

Figura 1. Difração de raios-X do catalisador sintetizado comparado padrões da literatura



Fonte: elaboração própria

Os picos de maior intensidade são atribuídos à presença de hidróxido-carbonato de níquel e cobalto, um material comumente originado em reações hidrotermais com sais de níquel e cobalto na presença de uréia (XIAO *et al.*, 2018) e que possui baixa condutividade elétrica; não sendo possível portanto atribuir efeito sobre a sua atividade catalítica e apenas podendo servir como suporte para estruturas catalíticas na sua superfície. Além disso, este material possui difratogramas similares à de muitos espinélios de composição aniônica variada, sendo possível detectar sua presença através da comparação com o difratograma do hidróxido-carbonato de cobalto.

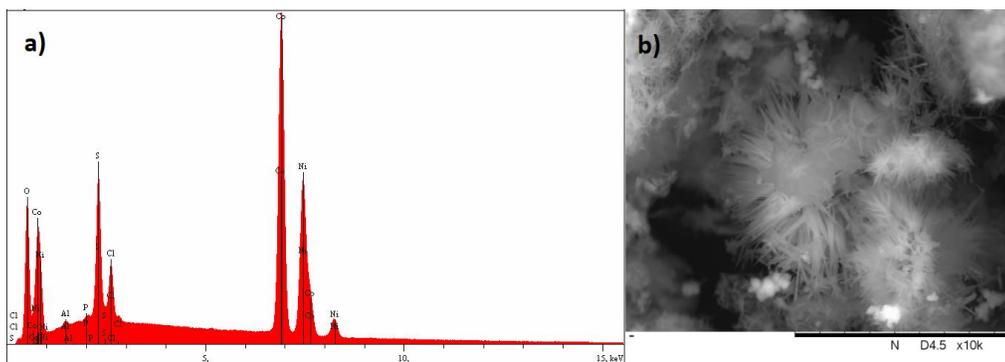
A outra fase cristalina identificada foi sulfeto de níquel e cobalto ( $\text{NiCo}_2\text{S}_4$ ), um ótimo condutor elétrico (XIA *et al.*, 2015) ao qual é atribuído propriedades catalíticas e supercapacitivas. A baixa intensidade dos picos do  $\text{NiCo}_2\text{S}_4$  pode ser explicada pelo método de síntese adotado, em que o doador de ânions é uma matéria orgânica rica em enxofre. Além disso, o baixo grau de sulfidação pode ser explicado pela troca de ânions entre o precursor de hidróxido-carbonato de níquel e cobalto e o enxofre contido na matéria orgânica, por meio de um processo conhecido como efeito Kirkendall, em que os ânions  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{OH}^-$  na superfície da estrutura cristalina do  $\text{NiCo}_2(\text{CO}_3)_{1.5}(\text{OH})_3$  são substituídos por  $\text{S}^{2-}$ , originando  $\text{NiCo}_2\text{S}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  (CAI *et al.* 2015).

Na Figura 2a, que representa os resultados da análise por espectroscopia de raios-X por dispersão em energia (EDX), podemos observar a predominância de compostos de níquel e de cobalto na proporção 1:2, ou seja, um valor proporcional à estrutura cristalina dos principais espinélios de níquel e de cobalto, compostos de fórmula geral  $\text{AB}_2\text{X}_4$ , em que A e B representam metais e X um ânion compatível. Entretanto, a proporção de enxofre sugere que o processo de sulfidação, ocasionado pela decomposição das estruturas de queratina presentes no cabelo humano, proporcionou uma conversão de aproximadamente 14,34% da superfície do precursor em uma estrutura de  $\text{NiCo}_2\text{S}_4$ , sendo possível também determinar a composição estequiométrica aproximada do hidróxido carbonato de níquel e cobalto como sendo  $\text{NiCo}_2(\text{CO}_3)_{0.35}\text{Cl}_{0.20}(\text{OH})_{1.10}$ , o que confirma os resultados descritos anteriormente. Tais informações ajudam a classificar o material obtido

como sendo uma estrutura cristalina de composição  $\text{NiCo}_2\text{S}_4@\text{NiCo}_2(\text{CO}_3)_{0.35}\text{Cl}_{0.20}(\text{OH})_{1.10}$  possivelmente do tipo “*core-shell*” conforme reportado na literatura em estruturas cristalinas similares (LI *et al.*; 2016).

A imagem obtida com microscopia eletrônica de varredura (MEV), mostrada na Figura 2b, apresenta a morfologia das microestruturas do catalisador obtido e indicam a formação de microestruturas de tamanho relativamente uniforme do tipo “ouriço,” caracterizadas por nano agulhas que se originam de microesferas com diâmetros de aproximadamente 1-3  $\mu\text{m}$ , com diversas agulhas distribuídas radialmente a partir do centro da esfera (LIU *et al.*, 2018).

Figura 2. Análises do material obtido por a) EDX e por b) MEV



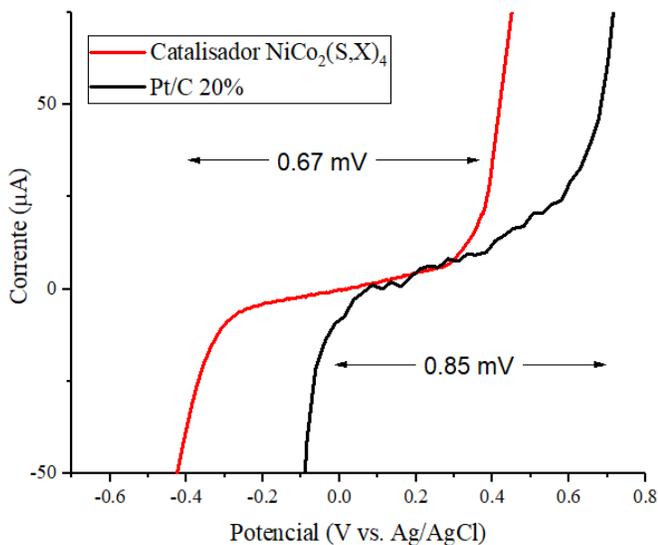
Fonte: elaboração própria

O material obtido,  $\text{NiCo}_2\text{S}_4@\text{NiCo}_2(\text{CO}_3)_{0.35}\text{Cl}_{0.20}(\text{OH})_{1.10}$ , foi preliminarmente testado como catalisador de uma bateria metal-ar, em que os potenciais de evolução e de redução do oxigênio são etapas fundamentais para estabelecer os potenciais de operação da bateria. Para isso, a atividade eletrocatalítica do catalisador obtido foi comparada com a do catalisador comercial 20% de platina dispersa sobre o carbono Vulcan XC-72 (Figura 3). Nesta figura, os potenciais da reação de redução de oxigênio (ORR), situados no lado esquerdo, e da reação de evolução do

oxigênio (OER), situados no lado direito, podem ser claramente identificados. Podemos observar que o desempenho eletroquímico do catalisador se assemelha com o dos calcogenetos de níquel e de cobalto, caracterizado por baixos potenciais de evolução e atividade satisfatória para a redução de oxigênio (LIU *et al.*, 2018). Além disso, pode-se também observar um baixo intervalo de potencial evolução-redução, da ordem de ~67 mV, quando comparado com o do catalisador comercial de Pt/C, que foi de ~85 mV, muito provavelmente devido ao fato do catalisador Pt/C ser mais eficiente para reações de redução e apresentar instabilidade quando submetido a potenciais de evolução (WANG *et al.*, 2016). Os baixos potenciais de evolução encontrados para o catalisador evidenciam ainda potencialidades da aplicação dos eletrodos para a eletrólise da água em sistemas geradores de hidrogênio (LIU *et al.*, 2015).

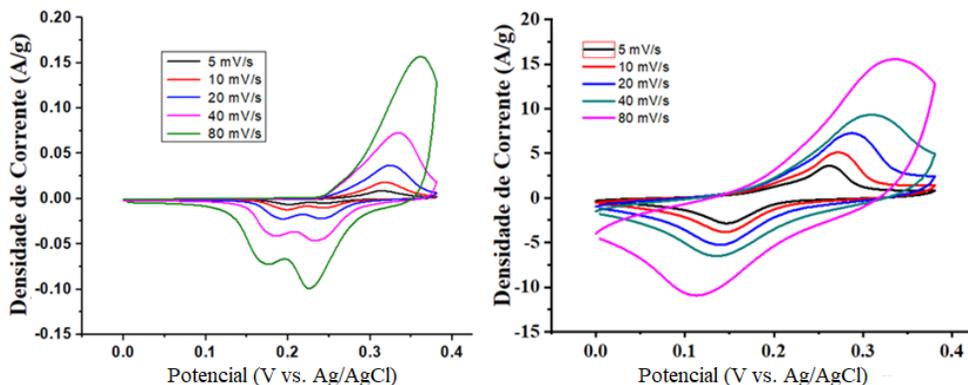
O potencial do material  $\text{NiCo}_2\text{S}_4@\text{NiCo}_2(\text{CO}_3)_{0.35}\text{Cl}_{0.20}(\text{OH})_{1.10}$  obtido para aplicações em supercapacitores foi avaliado em soluções KOH  $6 \text{ mol L}^{-1}$  com a técnica de voltametria cíclica e os resultados (Figuras 4 e 5) evidenciam as propriedades supercapacitivas do material, em que a área das curvas corresponde à corrente capacitiva do material. Em resumo, os resultados demonstram a viabilidade do uso do catalisador obtido como eletrodo para um supercapacitor, pois o aumento da carga capacitiva pode ser atribuído ao aumento de reações pseudo-capacitivas na superfície do material (YAN *et al.*, 2010).

Figura 3. Comparação do desempenho eletroquímico do catalisador obtido  $\text{NiCo}_2\text{S}_4@\text{NiCo}_2(\text{CO}_3)_{0.35}\text{Cl}_{0.20}(\text{OH})_{1.10}$  com a do catalisador comercial Pt/C 20%



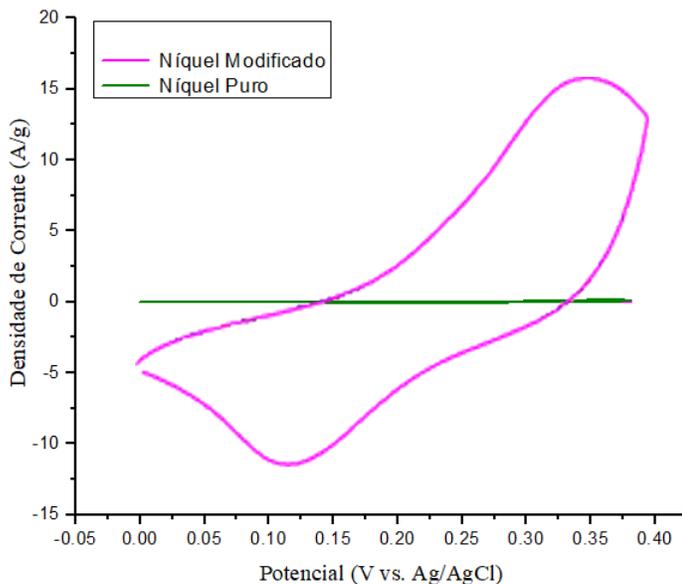
Fonte: elaboração própria

Figura 4. Testes eletroquímicos de um supercapacitor utilizando o material obtido  $\text{NiCo}_2\text{S}_4@\text{NiCo}_2(\text{CO}_3)_{0.35}\text{Cl}_{0.20}(\text{OH})_{1.10}$ .



Fonte: elaboração própria

Figura 5. Sobreposição das áreas capacitivas antes e após modificação do eletrodo com  $\text{NiCo}_2\text{S}_4@\text{NiCo}_2(\text{CO}_3)_{0.35}\text{Cl}_{0.20}(\text{OH})_{1.10}$ .



Fonte: elaboração própria

#### 4 CONCLUSÃO

O potencial dos processos de conversão de resíduos sólidos urbanos na presença de sais de níquel e de cobalto em materiais nanoestruturados para aplicações em sistemas de armazenamento de energia foi avaliado através da conversão de resíduos sólidos compostos por cabelo humano em um catalisador baseado em sulfeto de níquel e de cobalto, por meio de um método hidrotermal de etapa única. O catalisador obtido foi caracterizado fisicamente com o auxílio das técnicas MEV, EDS e DRX e identificado como um composto de morfologia do tipo “ouriço”, composto por  $\text{NiCo}_2\text{S}_4$  sobre um hidróxido-carbonato de níquel e cobalto, ou seja,  $\text{NiCo}_2\text{S}_4@\text{NiCo}_2(\text{CO}_3)_{0.35}\text{Cl}_{0.20}(\text{OH})_{1.10}$ . Estudos eletroquímicos demonstraram que o catalisador obtido apresenta excelente atividade eletrocatalítica, sendo viável aplicações em baterias metal-ar, uma vez que apresentou atividade bicatalítica e baixo potencial OER-ORR, em reações de eletrólise e geração de hidrogênio, com baixo sobrepotencial de

evolução de oxigênio, e em supercapacitores, devido a alta corrente capacitiva observada. Futuros estudos permitirão aprimorar a síntese do catalisador obtido a partir de modificações superficiais para melhorar o seu desempenho frente a cada uma das reações mencionadas e ampliar suas aplicações para baterias de íons de lítio ou sódio,

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo auxílio financeiro concedido para a execução deste trabalho (Processo UNIVERSAL-00827/17). W.S.F. agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida.

## REFERÊNCIAS

BAILEY, Adrian G. The charging of insulator surfaces. *Journal of Electrostatics*, v. 51, p. 82-90, 2001.

BOCCHI, Nerilso *et al.* Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. *Química Nova na Escola*, [s. l.], v. 11, n. 3, 2000.

CAI, Daoping *et al.* Construction of desirable NiCo<sub>2</sub>S<sub>4</sub> nanotube arrays on nickel foam substrate for pseudocapacitors with enhanced performance. *Electrochimica Acta*, v. 151, p. 35-41, 2015.

DE ANDRADE MARTINS, Roberto. Alessandro Volta e a invenção da pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 21, p. 823-835, 2008.

DENG, Da *et al.* Green energy storage materials: nanostructured TiO<sub>2</sub> and Sn-based anodes for lithium-ion batteries. *Energy & Environmental Science*, v. 2, n. 8, p. 818-837, 2009.

FONSECA, Weliton Silva *et al.* Trash to treasure: transforming waste polystyrene cups into negative electrode materials for sodium ion batteries. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, v. 3, n. 9, p. 2153-2159, 2015.

FU, Gengtao *et al.* Ni<sub>3</sub>Fe N Doped Carbon Sheets as a Bifunctional Electrocatalyst for Air Cathodes. *Advanced Energy Materials*, v. 7, n. 1, p. 1601172, 2017.

HO, Janet *et al.* Historical introduction to capacitor technology. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, v. 26, n. 1, 2010.

LI, Rui *et al.* NiCo<sub>2</sub>S<sub>4</sub>@ Co (OH)<sub>2</sub> core-shell nanotube arrays in situ grown on Ni foam for high performances asymmetric supercapacitors. *Journal of Power Sources*, v. 312, p. 156-164, 2016.

LIU, Danni *et al.* NiCo<sub>2</sub>S<sub>4</sub> nanowires array as an efficient bifunctional electrocatalyst for full water splitting with superior activity. *Nanoscale*, v. 7, n. 37, p. 15122-15126, 2015.

LIU, Wenwen *et al.* Controllable Urchin Like NiCo<sub>2</sub>S<sub>4</sub> Microsphere Synergized with Sulfur Doped Graphene as Bifunctional Catalyst for Superior Rechargeable Zn-Air Battery. *Advanced Functional Materials*, v. 28, n. 11, p. 1706675, 2018.

LOU, Xiong Wen *et al.* Self supported formation of needlelike Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanotubes and their application as lithium ion battery electrodes. *Advanced Materials*, v. 20, n. 2, p. 258-262, 2008.

MENG, Xinghua *et al.* Trash to treasure: Waste eggshells used as reactor and template for synthesis of Co<sub>9</sub>S<sub>8</sub> nanorod arrays on carbon fibers for energy storage. *Chemistry of Materials*, v. 28, n. 11, p. 3897-3904, 2016.

POL, Vilas Ganpat. Upcycling: converting waste plastics into paramagnetic, conducting, solid, pure carbon microspheres. *Environmental science & technology*, v. 44, n. 12, p. 4753-4759, 2010.

SCHERSON, Daniel A. *et al.* Batteries and electrochemical capacitors. *Interface*, v. 15, n. 1, p. 17-22, 2006.

SCROSATI, Bruno. History of lithium batteries. *Journal of solid state electrochemistry*, v. 15, n. 7-8, p. 1623-1630, 2011.

SCROSATI, Bruno *et al.* Lithium batteries: Status, prospects and future. *Journal of Power Sources*, v. 195, n. 9, p. 2419-2430, 2010.

SISTRUNK, Thomas O. John Frederic Daniell. *Journal of Chemical Education*, v. 29, n. 1, p. 26, 1952.

WANG, Mengran *et al.* Hydrangea-like NiCo<sub>2</sub>S<sub>4</sub> hollow microspheres as an advanced bifunctional electrocatalyst for aqueous metal/air batteries. *Catalysis Science & Technology*, v. 6, n. 2, p. 434-437, 2016.

WINTER, Martin; BRODD, Ralph J. What are batteries, fuel cells, and supercapacitors? *Chemical Reviews*, v. 104, n. 10, p. 4245-4270, 2004.

YAN, Jun *et al.* Fast and reversible surface redox reaction of graphene-MnO<sub>2</sub> composites as supercapacitor electrodes. *Carbon*, v. 48, n. 13, p. 3825-3833, 2010.

XIA, Chuan *et al.* Is NiCo<sub>2</sub>S<sub>4</sub> really a semiconductor? *Chemistry of Materials*, v. 27, n. 19, p. 6482-6485, 2015.

XIAO, Yingbo *et al.* Hierarchical 1D nanofiber-2D nanosheet-shaped self-standing membranes for high-performance supercapacitors. *Journal of Materials Chemistry*, v. 6, n. 19, p. 9161-9171, 2018.

ZHUO, Chuanwei *et al.* Synthesis of carbon nanomaterials through up-cycling agricultural and municipal solid wastes. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 51, n. 7, p. 2922-2930, 2012.

ZHUO, Chuanwei *et al.* Upcycling waste plastics into carbon nanomaterials: A review. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 131, n. 4, 2014.



## CAPÍTULO 10

# LABORATÓRIO DE COGNIÇÃO DE MÁQUINA, OTIMIZAÇÃO E ROBÓTICA: PRINCIPAIS ACHADOS E CONTRIBUIÇÕES

Alexandre César Muniz de Oliveira

Doutor em Computação Aplicada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.  
É Professor associado do Departamento de Informática da Universidade Federal do Maranhão.

### RESUMO

O projeto “Laboratório de Cognição de Máquina, Otimização e Robótica” objetiva investigar e desenvolver técnicas de otimização heurísticas aplicáveis a problemas encontrados na área de transporte aquaviário e ferroviário, bem como de robótica móvel, incorporando conceitos tais como otimização em tempo real robusta, multinível, multiobjetivo e detecção de subespaços promissores. O desenvolvimento de aplicações para problemas relacionados a terminais portuários, malhas ferroviárias e robótica móvel formam um conjunto de subprodutos necessários à implementação desses conceitos e têm grande potencial de interesse para setores produtivos brasileiros. Neste capítulo, são resumidas contribuições nos três pilares temáticos do projeto: Cognição de Máquina, que se destina à investigação de conceitos na área de Aprendizado de Máquina; Otimização Combinatória, no qual são desenvolvidas aplicações de interesse de grandes empresas maranhenses; e Robótica Móvel, destinada ao desenvolvimento de artefatos capazes de dar comportamento inteligente a equipamentos mecatrônicos.

Palavras-chave: Aprendizado de Máquina. Otimização. Robótica.

### 1 INTRODUÇÃO

O projeto “Laboratório de Cognição de Máquina, Otimização e Robótica” (LACMOR) objetiva investigar e desenvolver técnicas de otimização heurísticas aplicáveis a problemas encontrados na área de transportes aquaviário e ferroviário, bem como de robótica móvel,

incorporando conceitos tais como otimização em tempo real robusta, multinível, multiobjetivo e detecção de subespaços promissores.

O desenvolvimento de aplicações para problemas relacionados a terminais portuários e malhas ferroviárias formam um conjunto de subprodutos necessários à implementação e validação desses conceitos em subáreas de grande interesse para setores produtivos brasileiros. O planejamento de operações portuárias considera essencialmente questões relativas à alocação racional de recursos de forma a favorecer a eficiência do terminal. As operações realizadas no cais contemplam diferentes problemas, com destaque para alocação de berços, planejamento de circulação de trens e carga e descarga de navios.

Com relação à Robótica Móvel, a pesquisa inclui desenvolvimento de meta-heurísticas capazes de encontrar posicionamentos de robôs em tempo real, permitindo ainda incorporar novos critérios à função objetivo de forma a lidar, eficientemente, com novos e contraditórios objetivos, bem como integrar múltiplos robôs cooperativos, compartilhando informações.

Por possibilitar o desenho de meta-heurísticas híbridas e competitivas, o *framework Clustering Search* (FONSECA; OLIVEIRA, 2017) tem sido usado como ferramenta para validar aplicações em otimização combinatória. Este *framework* permite integrar otimizadores locais a meta-heurísticas a partir do conceito de detecção de regiões promissoras do espaço de busca onde se agrupam soluções candidatas durante o processo de convergência.

O projeto LACMOR tem possibilitado, dentre outros, aproximação com pesquisadores de grandes universidades brasileiras e estrangeiras, tais como UNIFESP, UFRJ, UFF e UFRGS; Ruhr-Universität Bochum, na Alemanha; e Universidade de Kent, no Reino Unido.

Neste capítulo, são resumidas as principais contribuições no tocante a três grandes temas previstos no âmbito do projeto LACMOR: Cognição de Máquina, que se destina à investigação de conceitos na área de Aprendizado de Máquina, tais como meta-aprendizagem, hiperheurísticas e mineração de dados; Otimização Combinatória, que

engloba aplicações envolvendo modelagem matemática e algoritmos metaheurísticos, de interesse de grandes empresas do parque industrial maranhense; e Robótica Móvel, destinada ao desenvolvimento de artefatos capazes de dar comportamento inteligente a equipamentos mecatrônicos a partir de modelos bio-inspirados.

## 2 APRENDIZAGEM E META-APRENDIZAGEM DE MÁQUINA

Como nenhum algoritmo é o melhor para todos os problemas de otimização combinatória, tem sido de grande interesse desenvolver sistemas de recomendação capazes de escolher o melhor algoritmo para resolver um problema em particular. Nesse sentido, características de instâncias de problemas podem ser extraídas e passadas a um algoritmo de aprendizado de máquina para que este faça associações entre as características específicas e as meta-heurísticas que melhor resolvem cada instância. Tais associações ocorrendo sobre o espaço de características formam o modelo de dados, induzido para prever qual meta-heurística tem maiores chances de resolver uma dada instância de problema.

O processo de aprender a aprender ou aprender a resolver um problema é chamado de meta-aprendizagem e não ocorre no nível do problema de otimização em si (no qual as meta-heurísticas operam), mas em um nível mais alto (meta-nível). Para tanto, duas escolhas de projeto devem ser feitas: 1) como representar instâncias do problema de otimização, formando meta-instâncias de classificação, geradas a partir de meta-características; e 2) como selecionar o melhor método metaheurístico usando um meta-modelo a partir de experiências passadas.

A equipe do projeto LACMOR e colaboradores têm empregado esforços para o desenvolvimento de um arcabouço de meta-aprendizagem capaz de recomendar meta-heurísticas para resolver problemas de otimização. O problema Máxima de Satisfabilidade (MaxSAT) foi escolhido inicialmente para validar essa abordagem que pode também ser estendida a outros problemas de otimização desde que representados de forma similar.

O problema de Satisfabilidade (SAT) está relacionado à tarefa de decidir se existe uma atribuição para as variáveis de uma expressão booleana de forma a atender a todas as cláusulas. O problema do MaxSAT é uma generalização NP-Difícil do SAT que procura descobrir qual configuração de variável satisfaz o máximo de cláusulas possível. O MaxSAT é computacionalmente intratável pois o tempo necessário para enumeração de todas as possíveis soluções cresce exponencialmente com o crescimento do número de variáveis.

Para o desenvolvimento da abordagem de recomendação de meta-heurísticas de otimização para instâncias do problema MaxSAT, é necessário definir os seguintes conjuntos: Meta-características, Meta-classes e Meta-classificador. Lembrando ao leitor que o termo “meta” prefixa os conceitos de característica (*feature*), classe (*class*) e classificador (*classifier*) devido aos mesmos estarem relacionados ao problema de classificação que resolve o meta-problema, ou seja decide o qual o melhor algoritmo de otimização; este sim diretamente relacionado ao problema a ser resolvido, no caso o MaxSAT.

## 2.1 DEFINIÇÃO DAS META-CARACTERÍSTICAS

Existem três principais representações baseadas em grafos não-direcionados e não-ponderados para problemas MaxSAT (NUDELMAN *et al.*; 2004): 1) Grafo de Variáveis (VG), no qual nós representamos variáveis e arestas que ligam variáveis que ocorrem na mesma cláusula pelo menos uma vez; 2) Grafo de Cláusulas (CG), em que nós representam cláusulas e arestas que vinculam cláusulas compartilhando pelo menos uma variável; 3) Grafo de Variável-Cláusula (VCG), um grafo bipartido onde, no primeiro subconjunto, cada nó é uma variável e está ligado a nós do segundo subconjunto que representam cláusulas.

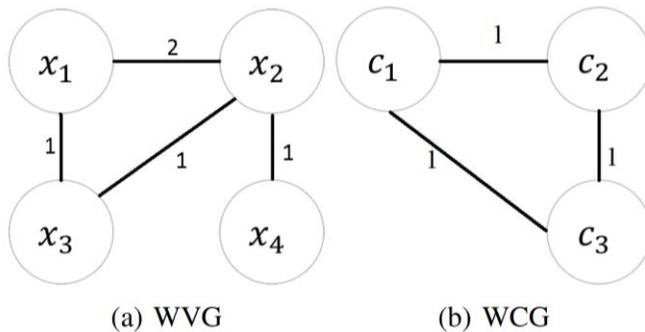
Com base nesses três grafos, propuseram-se novas representações que codificam mais informações sobre a estrutura do problema através da ponderação de arestas. As novas representações são chamadas de WVG e WCG (W para ponderada) (MIRANDA *et al.*, 2018). No WVG, pesos significam o número de cláusulas que as variáveis compartilham, sendo

uma forma de sinalizar a força da relação existente entre elas. Similarmente, na WCG, pesos significam o número de variáveis que um par de cláusulas compartilha. Na Figura 1, apresentam-se exemplos para grafos WVG e WCG, respetivamente, ambos derivados da expressão booleana:

$$(x_1 \vee \neg x_2 \vee x_3) \wedge (\neg x_2 \vee x_4) \wedge (\neg x_1 \vee \neg x_2) \quad (1)$$

que possui 4 variáveis e 3 cláusulas na forma normal conjuntiva (variáveis conectadas por disjunção e cláusulas conectadas por conjunção).

Figura 1. Representações para MaxSAT: grafos a) WVG e b) WCG



Fonte: Miranda *et al.* (2018)

A partir dos grafos WVG e WCG fora extraídas 6 características numéricas extras para compor juntamente com outras 15 características, já extraídas das versões não ponderadas desses grafos, um total de 21 meta-características, como por exemplo: número de nós, número de arestas, densidade, rank, somatório de pesos por nó (MIRANDA *et al.*, 2018).

## 2.2 DEFINIÇÃO DAS META-CLASSES

Meta-classes formam o conjunto de possíveis recomendações para solucionar o problema em questão. Neste caso, cada elemento consiste em um algoritmo de otimização metaheurístico com potencial para resolver instâncias MaxSAT baseando-se na experiência previamente adquirida para o problema. Além de definição dos algoritmos de otimização, existe um segundo fator a compor a meta-classe: os parâmetros de desempenho de cada algoritmo. Assim, a meta-classe consiste de uma associação entre algoritmo e os respectivos valores de parâmetros que levam esse algoritmo a alcançar bom desempenho para uma dada instância. Determinar quais valores de parâmetros devem ser usados para cada instâncias não é tarefa trivial. Pode-se usar o conhecimento disponível na literatura acerca do problema em questão ou pode-se construir esse conhecimento através de ferramentas específicas conhecidas como sintonizadores.

Em uma primeira proposição, foram definidos perfis de comportamento para cada meta-heurística através de variações de parâmetros disponíveis na literatura. Após cada algoritmo/parâmetros foi testado sobre as instâncias de treinamento e cada respectivo desempenho foi anotado, sendo atribuído a cada instância o respectivo meta-rótulo referente à meta-classe vencedora.

## 2.3 ESCOLHA DO CLASSIFICADOR

De modo geral, a tarefa de classificação é definida como o aprendizado de um mapeamento entre as instâncias e os rótulos de classe por meio de um algoritmo de classificação, buscando maximizar alguma medida do desempenho preditivo sobre instâncias de um conjunto de treinamento. O desempenho preditivo do mapeamento é estimado pela correta classificação de instâncias de um conjunto de teste, ausentes do conjunto de treinamento.

No contexto de meta-aprendizado, a tarefa de classificação pode ser definida como a construção de um meta-modelo (mapeamento) usando o conjunto de meta-instâncias (instâncias de classificação) para

prever qual meta-classe (metaheurística/parâmetro) deve ser aplicada a uma dada instância do problema MaxSAT.

Na Tabela 1, observa-se o desempenho de quatro classificadores: (*Decision Trees (DT)*, *k-Nearest Neighbours (k-NN)*, *Support Vector Machine (SVM)*, e *MultiLayer Perceptron (MLP)*) empregados para classificar as meta-instâncias que representam 555 instâncias MaxSAT comumente usadas em competições de algoritmos. Cada coluna de resultados diz respeito a um conjunto diferente de meta-características, sendo *Bespoke* aquelas encontradas na literatura não derivadas de grafos e que são específicas para MaxSAT; as três colunas seguintes são extraídas de grafos não ponderados, igualmente encontradas na literatura; as duas últimas colunas, WVGMF e WCGMF, são proposições novas, ambas derivadas de grafos ponderados. Os resultados em negrito são estatisticamente diferentes dos demais, na mesma linha da tabela.

Tabela 1. Porcentagem de meta-instâncias classificadas corretamente (acurácia)

Clas.	Bespoke	VGMF	CGMF	VCGMF	WVGMF	WCGMF
DT	<b>0.8769</b>	0.8732	0.8677	0.8668	0.8704	0.8650
<i>k</i> -NN	0.8082	0.8041	<b>0.8209</b>	<b>0.8212</b>	0.7875	<b>0.8218</b>
SVM	<b>0.8720</b>	0.7632	0.6339	0.8162	0.7891	0.6308
MLP	0.8701	<b>0.8718</b>	0.8650	<b>0.8733</b>	<b>0.8702</b>	0.8692

Fonte: Miranda *et al.* (2018)

Como pode ser observado, o melhor resultado obtido para todos os classificadores e conjunto de dados foi obtido com Árvore de Decisão (DT) e conjunto *Bespoke*, alcançando 87,69% de acurácia. Todavia, não existe um conjunto de meta-características claramente superior para todos os classificadores. Analisando o impacto da ponderação do grafo, pode-se concluir que adicionar pesos ao conjunto de dados VGFMF melhorou significativamente o desempenho preditivo ao usar o classificador SVM e

adicionar pesos à representação CGMF melhorou significativamente o desempenho preditivo ao usar o classificador MLP (MIRANDA *et al.*, 2018).

## 2.4 SINTONIZAÇÃO DE META-HEURÍSTICAS

Conforme mencionado anteriormente, uma alternativa ao uso da literatura para determinar os parâmetros de desempenho de cada meta-heurística consiste em determiná-los através de algoritmos estimadores conhecidos como sintonizadores. Muitos métodos de sintonia são baseados em conceitos de análise de sensibilidade, combinados com heurísticas que tendem a reduzir o espaço de busca, eliminando configurações de parâmetros menos promissoras.

Algoritmos de corrida (*Racing Algorithms*) são métodos de ajuste em que a evolução do desempenho de uma configuração candidata pode ser executada de forma incremental em uma competição entre configurações candidatas na qual aquela que conseguir melhor desempenho, sobre parte do (ou todo) conjunto de treinamento, acaba sendo recomendada globalmente para as instâncias desse conjunto (FONSECA; OLIVEIRA, 2017).

Sintonia de parâmetros, no entanto, é uma tarefa que requer experimentos demorados, especialmente quando envolvem grandes instâncias de problemas. Além disso, a maioria dos métodos de sintonia existentes não é projetada para generalizar o ajuste de parâmetros, de modo que o treinamento em todo o conjunto de instâncias é necessário para obter parâmetros robustos (ADENSO-DIAZ; LAGUNA, 2006).

Durante a vigência do projeto LACMOR, têm sido investigados métodos de sintonia de meta-heurísticas como forma de dar apoio à tarefa de meta-aprendizagem no tocante à definição de meta-classes mais robustas. Como resultado, foi proposto o método de ajuste denominado *Cross-Validated Racing* (CVR ou Método de Corrida Cross-Validada).

O CVR é uma técnica de ajuste que emprega validação cruzada para avaliar o desempenho de diferentes configurações de parâmetros de meta-heurísticas, considerando diferentes conjuntos de instâncias do problema

em questão, em uma perspectiva de generalização baseada em Aprendizagem de Máquina (FONSECA; OLIVEIRA, 2017). Para tanto, separa-se uma certa porcentagem de instâncias de problemas para a etapa de treinamento, organizadas em *k-folds* mutuamente excludentes.

O treinamento consiste em realizar *k* sintonias baseadas em algoritmo de corrida, deixando um *grupo* de instâncias de fora (*leave one out*) para avaliação de desempenho dos parâmetros obtidos na *k*-ésima sintonia. Através da análise estatística, as configurações mais prováveis de serem as melhores permanecem na corrida até que a melhor ou melhor família seja encontrada. Os parâmetros devem permitir um bom desempenho da meta-heurísticaalvo mesmo quando aplicada às instâncias que estavam fora da etapa de treinamento.

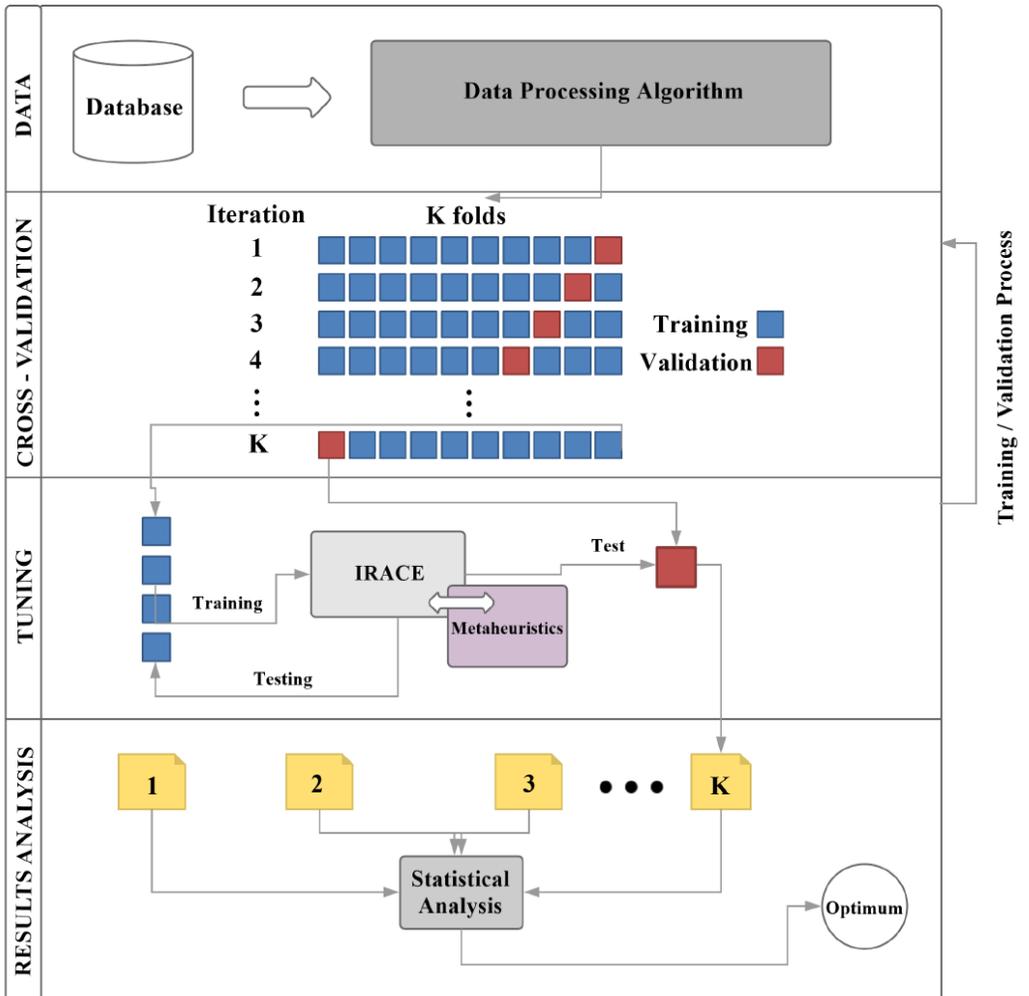
Na Figura 2, pode ser observado o esquema de funcionamento do CVR. A partir do banco de instâncias, são montados *k* grupos (*folds*) com o mesmo número de instâncias, mutuamente excludentes. O método de corrida que tem sido usado para ajustar parâmetros para cada grupo é o *pacote Irace* (LOPZE-IBÑEZ, 2016). As configurações candidatas escolhidas para cada grupo são então analisadas usando o método não paramétrico *Kruskal-Wallis* para a definição daquela com maior poder de generalização.

Dessa forma, a hipótese que tem sido defendida é que o CVR, apesar de executar *k* sintonias baseadas em corrida (*k* vezes mais lento do que usar algoritmo de corrida isoladamente), pode levar a uma melhor generalização de aprendizagem, ou seja, produzir bons resultados mesmo para instâncias deixadas de fora do treinamento. Assim, por não requerer o treinamento em todas as instâncias, o CVR vai acabar sendo mais rápido e eficaz que métodos concorrentes que necessite ser aplicados a todas as instâncias do problema em questão.

Considerando que o CVR usa um sintonizador por corrida embutido, o pacote *Irace*, o desempenho desses dois métodos foi avaliado em um experimento específico para medir a capacidade de generalização para instâncias não usadas em treinamento. A meta-heurísticaalvo escolhida foi o *Biased Random Key Evolutionary Clustering Search* (BRKeCS) (FONSECA; OLIVEIRA, 2016), um tipo de algoritmo evolutivo

híbrido que utiliza detecção de regiões promissoras por meio de agrupamento de soluções candidatas em um espaço de busca codificado por chaves viciadas e aleatórias.

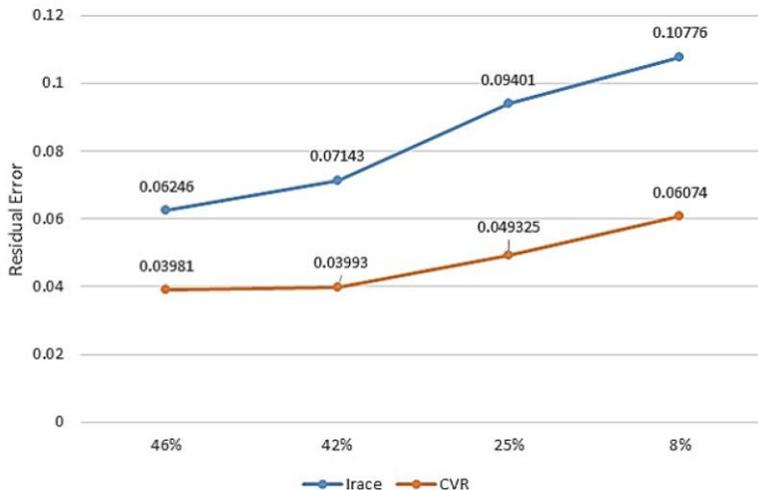
Figura 2. Esquema de funcionamento do CVR



Fonte: Fonseca e Oliveira (2016)

O problema alvo foi o *Permutation Flow Shop Problem (PFSP)*, um tipo problema escalonador de fluxo de tarefas em máquinas processadoras. Apenas uma porcentagem das instâncias PFSP foi usada no processo de sintonia de parâmetros, sendo que as maiores (instâncias de 500 tarefas) ficaram fora do treinamento para serem usadas na fase de teste. A Figura 3 mostra o comportamento do erro residual do BRKeCS para 46%, 42%, 25% e 8% do banco de instâncias de treinamento, quando ajustado por CVR e *lrace*. Como se pode observar, os parâmetros encontrados pelo CVR levam o BRKeCS a um desempenho mais robusto sobre as instâncias mais difíceis, que foram deixadas de fora do treinamento, devido a maior capacidade de generalização. O desempenho do BRKeCS treinado pelo CVR em apenas 8% do conjunto de dados é comparável ao seu desempenho quando treinado pelo *lrace* usando quase metade do conjunto de dados (46% das instâncias). Apesar da aparente superioridade do CVR neste experimento, convém observar que o *lrace* não foi projetado para generalizar e precisa ser treinado no mesmo conjunto de instâncias de teste. Como as instâncias de 500 tarefas não participaram do treinamento, *lrace* não sabe nada sobre elas.

Figura 3. Comportamento do CRV e *lrace* com a diminuição gradual de instâncias



Fonte: Fonseca e Oliveira (201

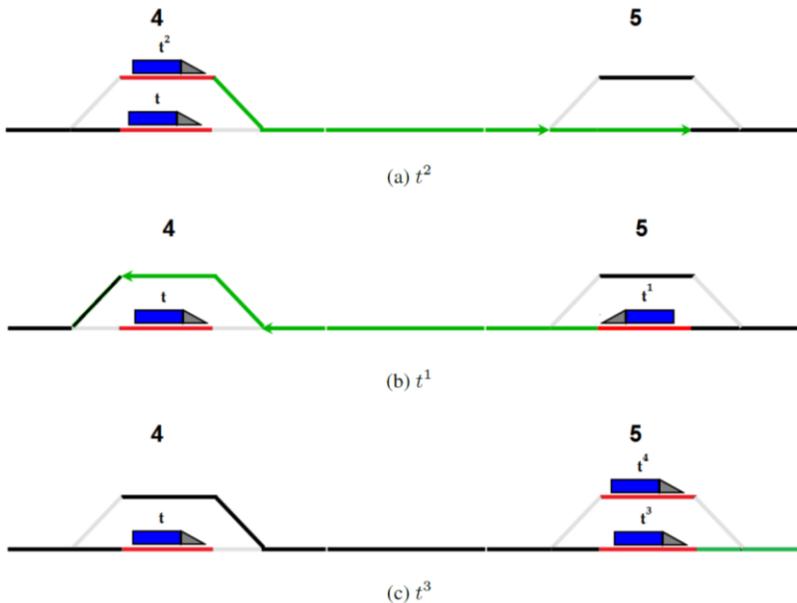
### 3 CIRCULAÇÃO DE TRENS OTIMIZADA

As ferrovias de carga são os principais meios de transporte de material a granel, como minério de ferro e bauxita, cujo destino geralmente são terminais portuários pertencentes a grandes companhias mineradoras e beneficiadoras. A opção de menor custo para aumento da capacidade de infraestrutura ferroviária é investir na melhoria do processo de programação de trens. No entanto, em algumas situações é extremamente complexo resolver problemas de otimização relacionados, uma vez que a maioria deles é computacionalmente intratável (NP-Difícil).

Por meio do Projeto LACMOR, tem sido investigado o Problema de Circulação de Trens (*Train Timetabling Problem - TTP*) em ferrovias de tráfego misto, com trens de carga e de passageiros compartilhando recursos com prioridades diferentes. Para tanto, foi proposto um novo modelo matemático estendido de trabalhos anteriores (PINHEIRO; MIRANDA; OLIVEIRA, 2016), contendo suporte adicional para inércia de trens, num contexto multi trilhos paralelos, o que permite ultrapassagem, mas sem risco de *deadlock*. Para conseguir um melhor *scheduling* de trens, foi proposto um algoritmo evolutivo híbrido baseado em *Evolutionary Clustering Search (ECS)* (PINHEIRO; MIRANDA; OLIVEIRA, 2016).

A Figura 4 ilustra cenários de tomada de decisão envolvendo dois e três trens que compartilham recursos. Na Figura 4a, a decisão tomada define a saída do trem  $t^2$  antes de  $t^1$ , ambos trafegando no mesmo sentido, diferentemente da Figura 4b que ilustra uma situação em que os trens viajam em sentidos opostos. A complexidade do problema reside no fato em que cada decisão, em cenários envolvendo dezenas de trens, tem efeito nas decisões subsequentes e pode levar a situações de baixa eficiência e até mesmo de acidentes. Na Figura 4c, o trem  $t$  somente pode deixar a locação de parada 4 após surgir vaga na locação 5.

Figura 4. Tomada de decisão envolvendo dois e três trens



Fonte: Pinheiro, Miranda e Oliveira (2016)

### 3.1 FRAMEWORK CLUSTERING SEARCH

Uma meta-heurística híbrida baseada em Busca Guiada por Agrupamentos (*Clustering Search -CS*) foi proposta para fazer frente às instâncias realistas construídas com base em cenários operacionais de uma importante empresa de mineração brasileira. CS é uma estrutura genérica que combina meta-heurísticas e algoritmo de agrupamento para detectar regiões promissoras do espaço de busca de forma a possibilitar a exploração dessas regiões por procedimentos de busca local específicos para problema. No caso da Busca Evolutiva Guiada por Agrupamentos (do acrônimo em inglês *Evolutionary Clustering Search - ECS*) aplicada ao TTP, um algoritmo genético é combinado com uma busca local gulosa para encontrar soluções candidatas de qualidade (PINHEIRO; MIRANDA; OLIVEIRA, 2016).

Os resultados obtidos pelo ECS foram analisados por meio do teste t bicaudal, assumindo diferentes variâncias (*teste t de Student*). As médias

das melhores soluções e tempos de execução, em minutos, podem ser vistos na Tabela 2. O ECS provou ser a meta-heurística mais eficaz quando comparada a outras abordagens que foram equipadas com as mesmas heurísticas de baixo nível, mas diferentes meta-estratégias (evolutiva, híbrida, busca local). Em negrito estão marcados os casos de resultado com diferença estatisticamente significativa. Pode-se observar que o melhor valor de função objetivo alcançado pelo ECS é estatisticamente superior em 7 das 10 instâncias ferroviárias testadas. Da mesma forma, pode ser visto que a abordagem ECS consome mais tempo de execução do que outros algoritmos, embora seja permitido exatamente o mesmo número de chamadas de funções objetivos para todos os algoritmos competidores. Isso se deve ao *overhead* causado pelo algoritmo de agrupamento.

Tabela 2. Resultados obtidos pelo ECS para 10 instâncias de grande porte do TTP.

Inst.	Algorithm									
	ECS		GA		EA		EB		SALNS	
	fitness	t(m)	fitness	t(m)	fitness	t(m)	fitness	t(m)	fitness	t(m)
112	<b>5.44</b>	24.75	5.70	11.54	5.62	8.28	5.52	17.02	5.65	7.06
21	<b>6.63</b>	42.13	7.78	26.51	6.97	21.08	6.81	38.00	7.00	15.73
211	5.34	54.78	5.91	24.05	5.49	19.41	5.35	23.62	5.55	14.9
351	<b>2.03</b>	9.61	2.38	4.10	2.29	3.13	2.10	4.82	2.13	3.03
357	<b>6.91</b>	34.53	7.26	20.11	7.17	16.23	7.07	23.90	7.25	11.71
67	<b>13.63</b>	276.80	13.78	82.08	13.76	88.03	13.74	100.16	14.01	168.36
303	1.13	3.02	1.45	1.67	1.37	1.77	1.20	1.63	1.16	3.43
830	<b>6.13</b>	24.25	6.49	13.65	6.25	15.56	6.26	14.71	6.35	24.4
887	<b>6.03</b>	57.52	6.32	29.97	6.20	30.87	6.20	30.76	6.52	49.68
979	4.50	15.36	4.88	7.55	4.58	8.24	4.55	7.99	4.59	1625

Fonte: Pinheiro, Miranda e Oliveira (2016)

#### 4 ROBÓTICA BIO-INSPIRADA

Exploração robótica pode ser definida como o ato de mover um robô em um ambiente desconhecido durante a construção de um mapa

útil para tarefas de navegação subsequentes. Uma boa estratégia de exploração autônoma gera um mapa completo ou parcial de maneira eficiente, com mínima ou nenhuma intervenção humana. O problema de exploração está relacionado ao problema de Mapeamento e Localização Simultâneos (conhecido por seu acrônimo em inglês, SLAM), que é caracterizado por um robô móvel, colocado em um local desconhecido, executando um algoritmo capaz de construir incrementalmente, a partir de informações fornecidas por sensores de distância ou visuais, um mapa consistente do ambiente, determinando simultaneamente a localização do robô nesse mesmo mapa.

Abordagens bio-inspiradas têm sido usadas para fornecer novos *insights* para resolver problemas gerais, incluindo localização e mapeamento, bem como exploração autônoma. Uma estratégia bio-inspirada conhecida como RatSLAM é baseada no sistema de navegação presente no hipocampo do cérebro de roedores e pode ser usada em ambientes internos e externos (MILFORD; WYETH; PRASSER, 2004). No método SLAM baseado em características tradicionais, é necessário extrair recursos do ambiente, o que limita o método a um ambiente onde haja recursos suficientes. Além disso, torna-se difícil resolver problemas como a associação de dados para determinar locais já visitados. O RatSLAM executa o SLAM baseado em aparência, que é eficaz para problemas de fechamento de ciclos (MILFORD, WYETH, 2008).

A partir do mapeamento do ambiente, a exploração autônoma pode ser realizada usando métodos tradicionais baseados em campos potenciais que têm a característica de apresentarem mínimos locais e, com isso, podem aprisionar um robô que siga avidamente o gradiente descendente do campo potencial. As funções multimodais possuem similarmente várias inflexões em sua paisagem, o que aumenta a dificuldade para algoritmos baseados em gradiente ou qualquer outro com comportamento de otimizador local. Para este tipo de função, otimizadores globais, baseados em meta-heurísticas, têm mostrado um desempenho notável, em especial os bio-inspirados (MENEZES *et al.*, 2018).

A abordagem multi-robótica tem potencial para ser mais eficiente em relação ao tempo total gasto, uma vez que a tarefa pode ser

paralelizada e finalizada em um tempo inversamente proporcional ao número de robôs usados, com possível redução de custos. Isso pode ser visto, por exemplo, em aplicações de tempo crítico, como missões de busca e resgate pós-desastre, bem como robôs explorando e desarmando minas terrestres cooperativamente (MENEZES *et al.*, 2018). Abordagens bio-inspiradas também têm sido aplicadas num contexto multi-robótico, especialmente em atividades que podem ser hostis ou maçantes, perigosas e sujas para intervenções humanas.

O projeto LACMOR tem destinado esforços no desenvolvimento de estratégias de exploração autônoma baseada em meta-heurística de otimização. Em um primeiro momento, modelou-se o ambiente na exploração através de uma função objetivo multimodal na qual os pontos mínimos de energia são potencialmente os melhores alvos para o robô. Um algoritmo bio-inspirado, baseado em no comportamento de vagalumes, o *Firefly Algorithm* (FA), foi proposto para guiar a exploração autônoma, selecionando alvos sobre a paisagem contínua modelada pela função objetivo (SANTOS *et al.*, 2018).

Ainda no âmbito do LACMOR, foi proposta uma abordagem cooperativa para mapeamento *indoor* usando RatSLAM, a partir do compartilhamento de informações de vídeo entre dois robôs, colocados no mesmo local inicial e fechando um ciclo após percursos diferentes, com sobreposição parcial. Cada robô registra um vídeo de seu caminho específico e gera - usando RatSLAM - um mapa parcial do ambiente. Os vídeos são compartilhados entre os robôs para produzir um mapa completo.

#### 4.1 RATSLAM

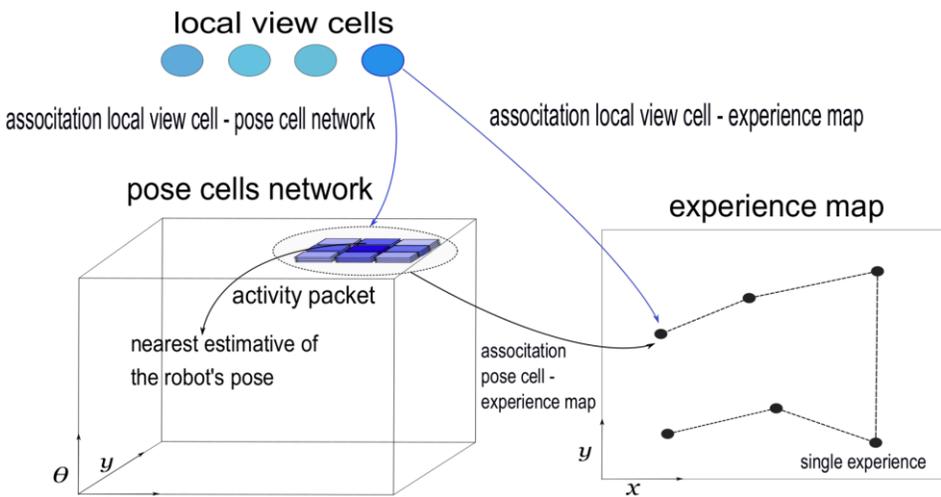
RatSLAM é um sistema de mapeamento e navegação baseado no processo neural subjacente à navegação no hipocampo de roedores e no córtex entorrinal. Na arquitetura RatSLAM, estão definidos três módulos principais: *pose cells* (células de pose), *local view cells* (células de visão local) e *experience map* (mapa de experiência). Além disso, há o *Sistema*

de Visão de Robô e um módulo de *Auto Motion Cues* (sugestões de movimento automático) (MILFORD; WYETH; PRASSER, 2004).

O módulo *Sistema de Visão do Robô* adquire as imagens e as envia para que o *Auto Motion Cues* calcule a velocidade translacional e angular do robô. A rede de células de pose é tridimensional formada por atratores ligados por conexões excitatórias e inibitórias. Nessa rede, cada célula representa a posição  $x,y$  e o ângulo do robô em relação ao chão (para robôs terrestres). As células de visão local são ativadas e injetam atividade na rede de células de pose, criando novas células de visão local ou excitando a conexão quando a cena é vista novamente pelo robô. O mapa de experiência é um gráfico estruturado representando o mapa topológico do ambiente.

Na Figura 5, são mostradas as associações entre células de visão local (círculos azuis), rede de células de pose (quadrados) e mapa de experiência. As células de visão local ativam um grupo de células da rede de poses. O centróide do grupo é a estimativa mais próxima da pose do robô no ambiente.

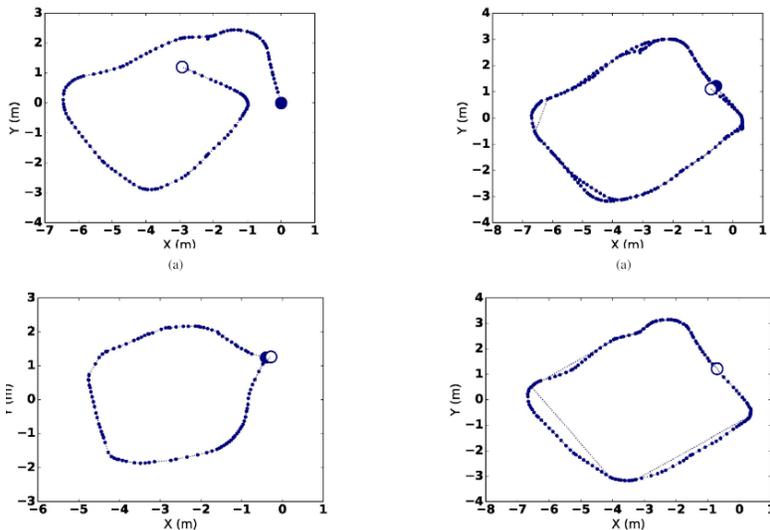
Figura 5. Associações entre células de visão local, pose e mapa de experiência.



Fonte: Milford, Wyeth e Prasser (2004)

A Figura 6 demonstra exemplos de mapa topológico obtido a partir do percurso realizado pelo robô num ambiente retangular fechado e com obstáculos estáticos. Os pontos cheio e vazio são, respectivamente, partida e chegada do robô. Quanto mais retangular é a figura geométrica, mais informações foram usadas para formar as redes de pose e de visão. Uma alternativa à necessidade de realizar várias voltas no ambiente é o compartilhamento de vídeos, com ganhos em termos de custo e tempo para mapeamento.

Figura 6. Exemplos de mapas topológicos obtido a partir do percurso realizado pelo robô.



Fonte: Menezes *et al.* (2018)

## 4.2 FIREFLY ALGORITHM

O *Algoritmo Firefly* (FA) faz uma analogia entre a luz emitida pelos vaga-lumes e a qualidade da solução candidata que ela representa no espaço de busca. Em essência, FA usa as seguintes regras (YANG; HE, 2013): a) o brilho de um vaga-lume é determinado pela avaliação da função

objetivo; b) os vagalumes são atraídos por outros vaga-lumes proporcionalmente ao brilho e isso diminui à medida que a distância entre eles aumenta; d) se não houver diferença de brilho entre dois vaga-lumes, o movimento ocorre de forma aleatória, caso contrário, o mais claro atrai o outro. Esse comportamento tende a levar a uma subdivisão dinâmica de toda a população em subgrupos, sendo que cada grupo pode enxamear em torno de cada modo ou ótimo local da função.

Para exploração autônoma usando FA, foi modelada uma função objetivo, ponderando componentes que representam possíveis reações do robô às informações coletadas pelos sensores. Portanto, os componentes funcionais representam comportamentos capazes de orientar a exploração, a saber: a) Ir para a fronteira: as células da fronteira atraem o robô; b) Evitar obstáculos: as células ocupadas com obstáculos devem repelir o robô; c) Evitar as posições visitadas: as células do mapa já visitadas devem repelir o robô.

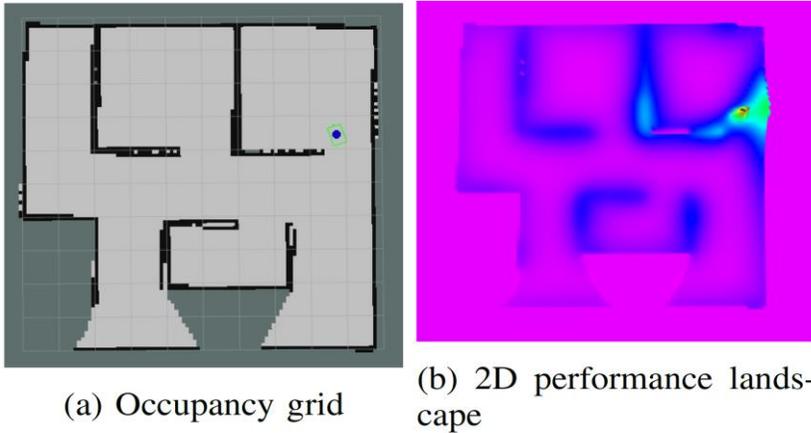
A função utilidade, tipicamente usada para avaliar ambientes a serem explorados, é transformada em uma função objetivo contínua que modela o ambiente observado pelo robô, atribuindo valores, a cada célula  $p$  da grade de ocupação, considerando o ganho de informação,  $C_f(p)$ , o risco de colisão,  $C_o(p)$ , e risco de retornar às áreas já exploradas,  $C_v(p)$ , conforme a Equação 2, a seguir, nomeada *Função de Perda Proporcional (PLF)*.

$$f(p) = \frac{\alpha \cdot C_f(p) + \beta \cdot C_o(p) + \gamma \cdot C_v(p)}{\rho \delta(p, r)} \quad (2)$$

Observa-se que a distância  $\delta(p, r)$  penaliza os pontos  $p$  mais distantes do robô  $r$  e reforça o conceito de localidade que permite organizar melhor a exploração, reduzindo o ganho de grandes aglomerados de pontos de fronteira distantes para incentivar uma exploração com menos revisitações. A combinação FA + PLF demonstrou ser eficiente, levando um robô simulado em ambiente ROS (Sistema Operacional Robótico) a completar o mapeamento dos ambientes testados com percurso e tempo de exploração reduzidos. A Figura 7b

mostra a superfície de desempenho 2D, gerada pela *PLF* para o ambiente descrito na grade de ocupação (*occupancy grid*), mostrada na Figura 7a, tendo o robô sido posicionado sobre o local representado pelo ponto azul.

Figura 7. *Função de Perda Proporcional* a partir da grade de ocupação que representa o ambiente a ser explorado pelo robô (ponto azul)



Fonte: Santos *et al.* (2018)

As Figuras 8a e 8b, por sua vez, mostram exemplos de trajetórias geradas durante a exploração. A Figura 8c mostra a convolução das 30 trajetórias geradas no mesmo ambiente, todas bem-sucedidas em termos de mapeamento completo do ambiente pelo robô simulado, gastando em média 300 segundos.

Figura 8. Convolução das 30 trajetórias bem-sucedidas



Fonte: Santos *et al.* (2018)

## REFERÊNCIAS

NUDELMAN, E; LEYTON-BROWN, K.; HOOS, H. H.; DEVKAR, A.; SHOHAM, Y. Understanding random SAT: Beyond the clauses-to-variables ratio. In: WALLACE, Mark (ed.). Principles and Practice of Constraint Programming-CP 2004. Berlin: Springer, 2004. p. 438-452.

MIRANDA, E.S; FABRIS, F.; NASCIMENTO, C.G.M.; FREITAS, A.A.; OLIVEIRA, A.C.M. Meta-learning for recommending metaheuristics for the MaxSAT problem. 7th Brazilian Conference on Intelligent Systems (BRACIS), out. 2018. No prelo.

FONSECA, T. H. L.; OLIVEIRA, A. C. M. Tuning of clustering search based metaheuristic by cross-validated racing approach. In: ROJAS, I.; JOYA, G.; CATALA, A. (eds.). Advances in Computational Intelligence. Cham: Springer International, 2017. p. 62--72.

LOPEZ-IBÁÑEZ, M.; DUBOIS-LACOSTE, J.; CACERES, L. Perez; STUTZLE, T.; BIRATTARI, M. The Irace package: Iterated racing for automatic algorithm configuration. Operations Research Perspectives, s. l., v.3, p. 43-58, 2016.

ADENSO-DIAZ, B.; LAGUNA, M. Fine-tuning of algorithms using fractional experimental designs and local search. Operations research, s. l., v 54, n. 1, p 99-114, 2006.

PINHEIRO, Eggo; MIRANDA, Enrico; OLIVEIRA, A. C. M. On the train timetabling problem and heuristics. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2016, Vitória. Anais do XLVIII SBPO Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira Pesquisa Operacional, 2016.

MILFORD, M. J.; WYETH, G. F.; PRASSER, D. Ratslam: a hippocampal model for simultaneous localization and mapping. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004. Proceedings, vol. 1. IEEE, 2004, p. 403-408.

MILFORD, M. J.; WYETH, G. F. Mapping a suburb with a single camera using a biologically inspired slam system. IEEE Transactions on Robotics, s. l., vol. 24, no. 5, p. 1038-1053, out. 2008.

MENEZES, Matheus Chaves; FREITAS, Edison Pignaton; CHENG, Sem; OLIVEIRA, Alexandre César Muniz; RIBEIRO, Paulo Rogério de Almeida. A Neuro-Inspired Approach to Solve a Simultaneous Location and Mapping Task using Shared Information in Multiple Robots Systems. 15 th

International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV 2018), Singapore, 18 a 21 de nov. de 2018. No prelo.

SANTOS, Raphael Gomes; FREITAS, Edison Pignaton; CHENG, Sem; RIBEIRO, Paulo Rogério de Almeida; OLIVEIRA, Alexandre César Muniz. Autonomous Exploration Guided by Optimisation Metaheuristic 15 th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV 2018), Singapore, 18 a 21 de nov. de 2018. No prelo.

YANG, Xin She; HE, Xingshi. Firefly algorithm: recent advances and applications. International Journal of Swarm Intelligence, [s.l.], v. 1, n. 1, p.36-50, 2013.



## CAPÍTULO 11

# JOGOS, GAMIFICAÇÃO, ACESSIBILIDADE E AUTORIA INTELIGENTE: UM RELATO SOBRE PESQUISAS DO LABORATÓRIO JOGA-AI

Eveline Sá<sup>1</sup>  
Karla Fook<sup>2</sup>  
Jeane Ferreira<sup>3</sup>  
Mauro Silva<sup>4</sup>  
Thiago Reis da Silva<sup>5</sup>  
José Nunes Oliveira<sup>6</sup>  
Evaldinolia Moreira<sup>2</sup>  
Omar Cortes<sup>1</sup>  
Dario Vieira<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Doutor(a) em Ciência da Computação e professora do IFMA Monte Castelo.

<sup>2</sup> Doutora em Computação Aplicada e professora do IFMA Monte Castelo.

<sup>3</sup> Doutora em Ciência da Computação e professora do IFMA Monte Castelo.

<sup>4</sup> Mestre em Ciência da Computação e professor do IFMA Monte Castelo.

<sup>5</sup> Doutor em Ciência da Computação e professor IFMA São João do Patos.

<sup>6</sup> Bacharel em Ciência da Computação e Analista de TI do IFMA Monte Castelo.

<sup>7</sup> Doutor em Ciência da Computação e professor da EFREI – Paris/França.

## RESUMO

O contexto atual de avanço das novas tecnologias da informação e comunicação (NTICs) tem proporcionado grandes mudanças em diversas áreas do conhecimento e no próprio cotidiano. Nesse contexto, torna-se fundamental pensar o papel que essas tecnologias exercem no âmbito social, principalmente nas áreas da educação e saúde. Em face disto, este artigo apresenta alguns dos resultados das pesquisas realizadas pelos grupos de pesquisa CAJES (Computação Aplicada a Jogos, Educação e Saúde) e GAEH-DM (Grupo de Algoritmos Evolutivos Híbridos e Data Mining) que tem como principais metas o desenvolvimento e utilização de jogos sérios e aplicações gamificadas para educação e saúde; investigação de algoritmos de Inteligência Artificial para adaptação de material didático ao perfil do aprendiz e desenvolvimento de aplicações para idosos a partir de tecnologias móveis e gamificação. Tais pesquisas favoreceram a estruturação de projetos integradores contemplando conhecimentos

como Informática na Educação e Saúde, Tecnologias Assistivas, Web Semântica, Inteligência Artificial, Interação Humano Computador e Engenharia de Software.

Palavras-chave: Jogos Sérios. Gamificação. Autoria Inteligente. Acessibilidade.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente sabe-se que a associação de jogos a contextos educacionais, além de motivar os aprendizes pelos aspectos lúdicos e desafiadores, permite também a inclusão de novas estratégias no auxílio à aprendizagem de conteúdo específicos, seja em salas de aula presenciais ou em ambientes virtuais de aprendizagem (PRENSKY, 2012). Eles permitem recriar, experimentar e testar recursos a partir do uso da imaginação e raciocínio lógico para solucionar problemas e situações articuladas para experimentar os potenciais do jogo e do jogador.

Os jogos educacionais são ferramentas que favorecem o intercâmbio de informações, são interdisciplinares e permitem desenvolver aspectos importantes na aprendizagem do aprendiz. Esta, por sua vez, é facilitada pelo fato do jogo ser um fator motivador de assimilação e de atenção ao que é apresentado, pois através dos jogos como processo de observação, os conteúdos podem ficar mais claros, didáticos e interessantes (COELHO et al., 2010).

Muitos são os contextos educacionais para aplicação dos jogos, em que se destacam principalmente o ensino de Ciências, por exemplo a Matemática e Química. Ribeiro et al. (2018) apresentaram um jogo para ensino de Funções Orgânicas. A diferença nesta proposta é que há um maior cuidado com a narrativa e personagens do jogo associados ao *design* instrucional para que o conteúdo seja mais bem incorporado ao enredo e mecânicas do jogo. Para tanto, também foram usados recursos transmídia, como por exemplo, histórias em quadrinhos, para auxiliar nessa abordagem.

Assim como o uso de jogos, o processo de gamificação é uma prática recorrente nos dias de hoje e consiste em trazer elementos das

mecânicas dos jogos (desafios, narrativas, *feedback*) para a aplicação em desenvolvimento (MARTINS, 2014). De acordo com Fardo (2013) podemos situar a gamificação como um processo que utiliza os elementos de um game, porém não é um jogo completo; que utiliza uma interface mais lúdica, que não apenas entretém e que deve seguir uma metodologia mais precisa. Como exemplos de uso da gamificação tem-se o Colligo (WIENER; CAMPOS, 2017) uma aplicação educacional móvel e a plataforma SAM (LUNDGREN; FÉLIX, 2017) para o ensino de Matemática para crianças com síndrome de *down*.

No que se refere ao contexto da saúde, os jogos também têm obtido destaque. O uso dos *exergames* tem sido um sucesso pelo uso dos sensores de movimento e de reconhecimento de voz atrelados aos consoles dos videogames atuais, como o Kinect do Xbox360 (BARBOSA, 2015). Este permite a inserção do jogador no ambiente do jogo.

Na Holanda, colaboradores do *Radboud Alzheimer Center* desenvolveram um *game* para que pacientes idosos monitorem suas funções cognitivas e percebam os primeiros indícios de demência. De outro lado, estudantes de geriatria passaram a aplicar seus conhecimentos no *game* Geriatrix, que simula o atendimento a pacientes idosos. Eles passaram, então, a se sentir mais confiantes, ampliaram seus conhecimentos na área e se tornaram mais conscientes dos custos envolvidos nos diagnósticos e tratamentos para essas faixas etárias do que o grupo de controle, que recebeu o treinamento tradicional (SOUZA, 2015).

A utilização de jogos para saúde também pode ser explorada através da coleta das informações do jogador (paciente) em tempo de jogo, para análise do comportamento e evolução da interação do jogador (paciente) com o jogo e, por consequência, do quadro do paciente. Virgolino et al. (2016) propõem um *framework* que recebe a informação originada pelo paciente durante o uso do jogo trata esta informação, a fim de disponibilizar as informações em forma de gráficos e tabelas, para auxiliar a equipe responsável pelo tratamento do paciente na tomada de decisão médica.

É importante frisar que os dispositivos móveis proporcionaram um aumento considerável nas aplicações para a saúde, principalmente após o

surgimento dos *smartphones* e dos *wearables*. Temos desde aplicativos voltados a lembrar as pessoas a tomarem uma medicação, ao acompanhamento diário de suas ações (sono, movimento, pressão, temperatura, entre outros) através de pulseiras ou outro recurso vestível. Em parceria com os dispositivos móveis, os jogos ou a gamificação podem colaborar na especificação de soluções para uma série de problemas que envolvem o bem-estar de idosos, crianças e pacientes que venham requisitar monitoramento e reabilitação (NASCIMENTO et al., 2015).

Outro aspecto relevante no uso de tecnologias para a educação é a personalização de materiais didáticos ao perfil do aprendiz. Boa parte das ferramentas de autoria possibilita ao professor produzir seu material didático, mas este permanece o mesmo para um determinado grupo de aprendizes, normalmente com características e necessidades de aprendizagem diferentes. Pesquisas vêm sendo desenvolvidas para propiciar adaptação do material produzido com uso de técnicas de Inteligência Artificial (MOREIRA; PIMENTEL; MASCHIO, 2016) ou Aprendizagem de Máquina (LAVRAS et al., 2015), a fim de proporcionar maior motivação e engajamento do aprendiz por respeitar seu ritmo de aprendizagem.

As pesquisas desenvolvidas pelos grupos de pesquisa CAJES (Computação Aplicada a Jogos, Educação e Saúde) e GAEH-DM (Grupo de Algoritmos Evolutivos Híbridos e *Data Mining*) do Departamento Computação do IFMA Campus Monte Castelo e colaboradores têm crescido nesses últimos anos, bem como estruturado o desenvolvimento de projetos que integram essas linhas de pesquisa. Tais projetos têm fomentado as orientações de iniciações científicas, graduação e de pós-graduação. Podem-se destacar as temáticas de pesquisa que delinearam o desenvolvimento destes projetos:

- a. Jogos sérios e aplicações gamificadas para educação e saúde;
- b. Uso de Inteligência Artificial para adaptação de material didático ao perfil do aprendiz; e
- c. Tecnologias m-Health e gamificação aplicadas na melhoria da qualidade de vida do público idoso

Este artigo está estruturado da seguinte forma: na seção 2 é apresentada a descrição de alguns resultados alcançados pelos projetos realizados; na seção 3 citam-se considerações finais e trabalhos futuros, finalizando-se com os créditos e agradecimentos, bem como referenciais teóricos que deram suporte às pesquisas.

## 2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando as temáticas de pesquisa citadas na seção 1, serão descritas as pesquisas desenvolvidas a partir dos projetos integradores.

### 2.1 JOGOS SÉRIOS E APLICAÇÕES GAMIFICADAS PARA EDUCAÇÃO E SAÚDE

É sabido que os jogos sérios e aplicações gamificadas vêm cada vez mais se consolidando como recursos nos contextos educacionais e nos que envolvem a construção de ferramentas para auxiliar na saúde das pessoas, seja para diagnóstico ou reabilitação, ou ainda na educação para a saúde.

Aliado a esses recursos, a tecnologia móvel representada pelos dispositivos móveis, como: *smartphones*, *tablets*, *wearebles*, sensores e outros, tornam-se essenciais para o alcance de pessoas com diferentes perfis, além de colaborar na difusão e implantação do uso desses recursos.

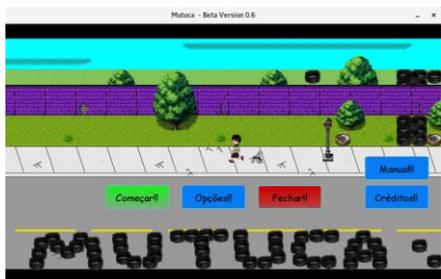
Vale ressaltar que dentre os perfis de usuários, incluem-se também pessoas com restrições de acessibilidade, como deficiente físico, visual, intelectual, idosos, por exemplo, aumentando ainda mais o número de pessoas que podem ser auxiliadas por jogos sérios e aplicações gamificadas. Dentro dessas temáticas de pesquisa, destacam-se algumas das pesquisas desenvolvidas e sua breve descrição.

## 2.1.1 MUTUCA: jogo para combate ao mosquito *Aedes Aegypti*

Em 2015, o Brasil passou por um grande surto do vírus Zika (WHO, 2017) que pôs o mundo todo em alerta contra as reais ameaças que a doença pode causar ao ser humano, principalmente na região Nordeste (G1, 2016). Muito se aprendeu com esse infeliz episódio e muito se deve ensinar aos jovens e às novas gerações que por aqui virão. Mas como cativar a atenção dos jovens e ensiná-los sobre as necessidades de combater o mosquito transmissor da Zika, da Dengue e outras doenças? O jogo Mutuca tem como propósito divertir jovens enquanto ensina sobre as necessidades do combate ao mosquito transmissor de enfermidades como a Dengue, a Zika e a Febre *Chikungunya*.

O jogo “Mutuca” narra a missão de um jovem lutando contra propagação do mosquito do gênero *Aedes* em sua cidade. “Mutuca” oferece ao jogador a oportunidade de se divertir como em um jogo casual, mas com certo grau de imersão no cenário e na missão do jovem herói. São usados cenários comuns de um bairro residencial, onde o jogador pode explorar os mapas disponíveis à medida que elimina a ameaça do mosquito de cada região, também pode interagir com personagens “NPCs” (*Non-Player Character*) e obter informações educativas sobre o combate ao mosquito e sobre o próprio jogo. A Figura 1 ilustra a tela de abertura e o conteúdo educativo associado à ação do jogador e aos cenários do jogo.

Figura 1. Jogo Mutuca: a) Tela principal. b) Conteúdo EducativoFonte: XAVIER (2016)



(a)



(b)

O conteúdo educacional foi planejado para ser inserido dentro do jogo de forma que o jogador não se sinta como um aluno aprendendo um conteúdo específico, mas sim como um jogador de fato, vencendo desafios com a percepção de que está “derrotando monstros” e “salvando o planeta”. Pensando nisso, foram estabelecidos dois requisitos relativos ao conteúdo educacional, a saber: R1 – O conteúdo educacional deve ser combinado às funcionalidades sem que haja uma separação visível dos desafios do jogo e dos desafios do conteúdo educacional; R2 – Os cenários do jogo devem sugerir espaços do cotidiano de um jovem.

O jogo Mutuca participou da 5ª edição do Concurso Campus *Mobile* – um programa que identifica, estimula e contribui para a formação de jovens talentos universitários, a fim de contribuir para o desenvolvimento social do Brasil. O Mutuca *Mobile*, como foi nomeado, foi selecionado entre os quase 60 inscritos para participar da etapa presencial, chegando até a etapa final, obtendo o terceiro lugar, como divulgado pela empresa promotora do concurso (INSTITUTO NET CLARO, 2017).

### 2.1.2 APRENDENDO COM O ALEX: JOGO PARA PÚBLICO AUTISTA

O Autismo é uma síndrome que se apresenta em crianças, principalmente antes dos 3 anos de idade, através de desvios qualitativos na interação social, uso da imaginação e comunicação. As dificuldades nessa tríade são responsáveis por um padrão comportamental restrito e repetitivo, porém com condições de inteligência que podem variar de retardo mental a níveis acima da média (MELLO, 2007). Os jogos ABC Autismo (FARIAS; SILVA; CUNHA, 2014) e TEO (Tratar, Estimular, Orientar) (MOURA et al., 2016) são ações desenvolvidas com uso da tecnologia para auxiliar o processo educacional das crianças autistas possibilitam desenvolver atividades desafiadoras, de forma lúdica, respeitando os limites do autista.

Nessa perspectiva, o jogo “Aprendendo com Alex” foi desenvolvido para crianças autistas em seus primeiros estágios de aprendizagem e utiliza de atividades do cotidiano para incorporá-las a vida dessas pessoas. A ideia é vincular vários desafios através de atividades como: relacionar palavras na imagem do objeto correspondente, selecionar a vestimenta

adequada ao lugar ou clima, bem como atividades de quebra cabeça. Todas as atividades possuem a ajuda e demonstrações de um menino chamado Alex que está presente em basicamente todos os momentos do jogo, de forma bem dinâmica e visualmente atrativa, mas também de forma que a criança consiga absorver a informação. O tempo de resposta do jogo é considerado para não gerar insatisfação aos jogadores. Não há distinção de gênero ou limite máximo de idade para o público-alvo, dada a característica do jogo ser de interesse a todo público que esteja em fase de aprendizagem e que requisite atividades de associações e alfabetização, ilustrados na Figura 2.

Outros cenários são contemplados pelo jogo, como por exemplo, o Alex na praia, além de novos personagens em novos níveis, como a avó do Alex (“vó Juju”) e os pais do Alex. Isso se dá para que os níveis de ampliação do jogo e a experiência do jogador não sejam tão curtos. No total, o jogo possui 8 níveis.

Figura 2. “Aprendendo com o Alex”: a) Atividades de associações do jogo no Nível 1. b) Atividades de Alfabetização do jogo - Nível 4



Fonte: LIMA et al.(2018)

O jogo foi apresentado no evento Universo IFMA 2018 realizado no Campus São José de Ribamar, dentro da categoria Fábrica de Jogos (um programa de fomento à produção de jogos pelos alunos do IFMA) e alcançou o primeiro lugar desta categoria. O jogo encontra-se em fase de avaliação de usabilidade, acessibilidade e aceitabilidade pelo público alvo.

### 2.1.3 FLOATING WHEELS: JOGO PARA PESSOAS COM MOBILIDADE REDUZIDA

Apesar do progresso da indústria de entretenimento digital, o mercado de jogos não oferece uma total adaptação motora, cognitiva ou física de seus produtos para consumidores portadores de deficiência. Além da oferta limitada desses jogos, percebe-se que os produtos são direcionados a tipos de deficiência específicos (por exemplo, só para cegos ou surdos), desconsiderando o uso por outros públicos, que acabam classificando os jogos como desinteressantes. Assim, se fazem necessários jogos sérios para que sejam usados como facilitadores no processo de ensino e aprendizagem do deficiente físico, propiciando envolvimento na realização de atividades e, ao mesmo tempo, oferecendo, dentro do possível, o desenvolvimento ou aprimoramento de suas habilidades motoras.

O jogo sério Floating Wheels tem como proposta trazer a inclusão, tanto no mundo digital quanto no âmbito social, a pessoas com mobilidade reduzida, trazendo uma mecânica simples e de fácil jogabilidade, bem como uma temática educativa no que se refere aos direitos e dificuldades que os deficientes físicos têm no dia a dia, sem deixar de lado o fator diversão (SILVA et al., 2018).

Floating Wheels é um jogo que conta a história de dois personagens, Malu e Doug, que precisam da cadeira de rodas para se locomover e passam por constantes problemas pela falta de acessibilidade até chegarem a escola. O objetivo do jogo é ultrapassar os obstáculos gerados pela falta de acessibilidade, tais como: ônibus não adaptados, objetos que impedem a passagem na calçada e a falta de rampas. À medida que os obstáculos são ultrapassados acumulam-se pontos, relacionados a soluções de acessibilidade que comporão uma lista de sugestões. Ao final do jogo, a lista de soluções para os problemas encontrados durante o percurso é entregue ao prefeito da cidade que estará na escola. O jogo é direcionado para crianças na faixa etária entre seis e dez anos, com meta de conscientizar os usuários de seus direitos e também de deixá-los aptos para reivindicá-los em meio a qualquer situação de desconforto na zona urbana. A Figura 3 ilustra o personagem e telas inicial do jogo.

Figura 3. “Floating Wheels”: a) Representação do personagem. b) tela de abertura do jogo



Fonte: SILVA et al. (2018)

O jogo traz a mecânica do *one-touch gameplay*, na qual com apenas um toque o usuário é capaz de controlar toda a movimentação do seu personagem. Dessa forma, o jogo torna-se mais fácil de ser jogado por pessoas que não possuem total controle sobre os movimentos das mãos, apresentando fácil maneabilidade. O jogo se encontra na fase de avaliação e teste, a fim de verificar a satisfação dos usuários, bem como seu desempenho.

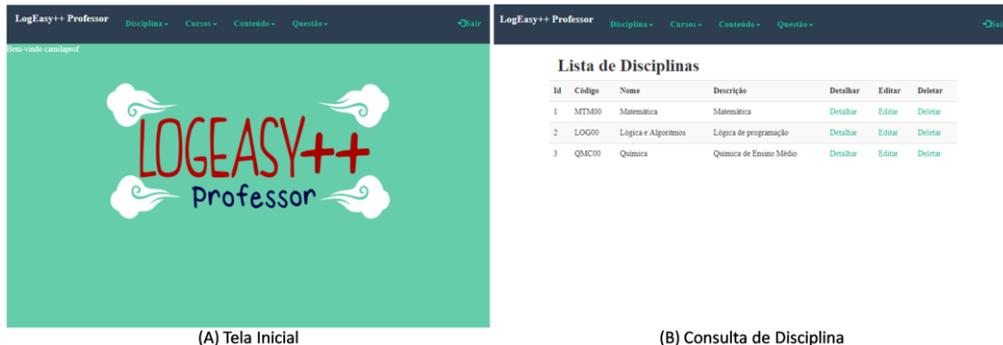
#### 2.1.4 LOGEASY++: APLICAÇÃO GAMIFICADA COM PERSONALIZAÇÃO DE CONTEÚDOS

A gamificação consiste em utilizar dos elementos mais eficientes de um jogo - como mecânicas, dinâmicas e estética - para reproduzir os mesmos benefícios alcançados com o ato de jogar (BUSARELLO et al., 2014). A mecânica de um jogo é constituída por aspectos que podem engajar os jogadores, tais como pontos, níveis, placar, integração, desafios e missões, *loops*, personalização, reforço e *feedback*. Ao se aplicar mecânicas e dinâmicas de jogos a tarefas e processos do *e-learning* pode-se aumentar o envolvimento com a aplicação *e-learning* e suas tarefas específica (MUNTEAN, 2011).

Nesse contexto, foi desenvolvido o LogEasy++, uma plataforma de ensino e aprendizagem *online* e personalizável, originada a partir de uma aplicação móvel local chamada LogEasy que utiliza gamificação para auxiliar o processo de ensino e aprendizagem de lógica proposicional (CORREIA et al., 2018). Para tanto, foi desenvolvida uma aplicação *web* para o professor e uma aplicação móvel para o aluno.

Na aplicação *web* (LogEasy++ Professor) é possível personalizar todo o conteúdo que deve ser ensinado aos alunos e que será disponibilizado no aplicativo em forma de lições, perguntas e respostas e dicas. Esta aplicação possui as funcionalidades de cadastro de: disciplina, curso, conteúdo, questões e alternativas, além da visualização, edição e exclusão de todos os itens cadastrados. A Figura 4 ilustra a interface do professor.

Figura 4. LogEasy++ (Interface do professor) : a) Tela inicial b) Consulta de disciplina



Fonte: CORREIA et al.(2018)

O LogEasy++ aplicação móvel possui cinco níveis: Ar, Água, Terra, Fogo e Mestre do Mundo. Após o login, o aluno pode fazer o *download* de um curso para utilizar no aplicativo ou, caso já tenha efetuado o *download* anteriormente, apenas continuar o curso que já está inserido da base de dados local. A Figura 5 ilustra o uso da aplicação móvel pelo aluno.

Figura 5. LogEasy++ (Interface do Aluno) : a) Tela da Lição b) Tela do Quiz e c) tela de Dicas



Fonte: CORREIA et al.(2018)

## 2.2 TECNOLOGIAS M-HEALTH E GAMIFICAÇÃO APLICADAS NA MELHORIA DA QUALIDADE DE VIDA DO PÚBLICO IDOSO

Essa temática de pesquisa foi desenvolvida a partir de um projeto executado em parceria com *eFrei - Ecole d'ingénieur généraliste - informatique & technologies du numérique*, situada em Paris, denominado "HealthCation: uso de tecnologias mHealth para monitoramento de saúde dos idosos através da Gamificação". A motivação para a escolha do referido público-alvo tem como base informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), obtidos através da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), sobre o número de pessoas no Brasil acima de 60 anos (definição de "idosos" dentro da pesquisa), que identificou um crescimento da população brasileira de 12,6% em 2012 para mais de 13% em 2013, totalizando aproximadamente 26,1 milhões de idosos no país, promovendo também um aumento em 15% do acesso à internet por brasileiros acima de 60 anos entre os anos de 2000 e 2015 (IBGE, 2016). No segmento das aplicações para dispositivos móveis, houve um aumento considerável, principalmente após o surgimento dos *smartphones* e dos *wearables*. Assim, cresceu o interesse por aplicativos voltados a apoiar os usuários a tomarem água, uma medicação, ao acompanhamento diário de

suas ações, como sono, movimento, pressão, temperatura e outras, através de pulseiras ou outro recurso vestível. Assim, foram feitas investigações sobre formas de monitoramento da saúde de idosos usando tecnologias vestíveis e/ou móveis, bem como técnicas de gamificação, visando buscar melhorias na qualidade de vida desse público. Algumas das pesquisas, desenvolvidas em subprojetos, são descritas a seguir.

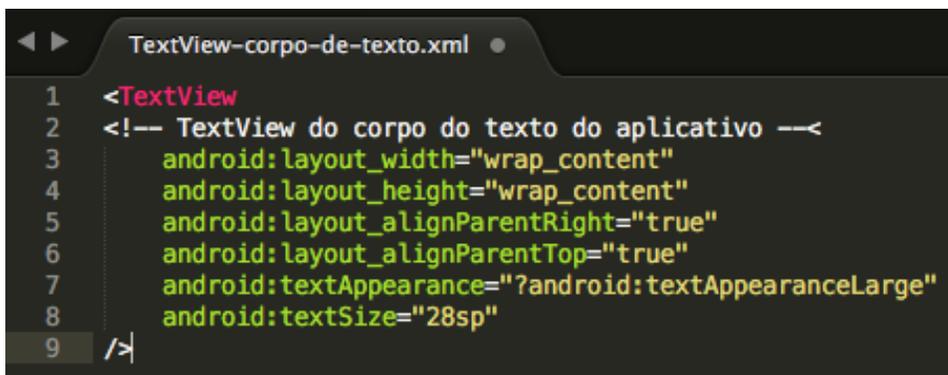
### 2.2.1 RECOMENDAÇÃO PARA O *DESIGN* DE INTERFACES DIGITAIS ACESSÍVEIS AOS IDOSOS

Uma forma de aumentar e melhorar o uso de aparelhos celulares por idosos é adequando essa tecnologia às dificuldades deste público alvo. Para isso, é fundamental que interfaces projetadas para o idoso se preocupem em apresentar as informações de forma clara e organizada, além de estarem visualmente legíveis para esse público e fornecer *feedback* necessário para que esses usuários compreendam suas ações nesses aplicativos (ALBAN et al., 2012). Assim, um conjunto de orientações para o *design* de interfaces para o público idoso (ARAUJO et al., 2018), em que foram avaliados aspectos visuais e de interação das interfaces, tais como fonte, cor, tamanho e interações gestuais, serviu de base para a construção de uma biblioteca de estilos para aplicativos Android.

A biblioteca funciona como uma coleção de estilos predefinidos que contém orientações em forma de códigos utilizados para iniciar o desenvolvimento do aplicativo. Dentro de cada estilo estão definidas as programações do *layout* da interface, com informações separadas para cores, fonte e tamanho, botões e tamanho, conforme Figura 6.

Com a biblioteca de estilos pretende-se estimular o desenvolvimento de aplicativos que sigam as devidas recomendações de acessibilidade para idosos. O propósito é que a experiência desses usuários possa ser mais agradável e possam desfrutar do total potencial e benefícios do uso de dispositivos móveis no dia a dia.

Figura 6. Exemplo de estilo componente da biblioteca



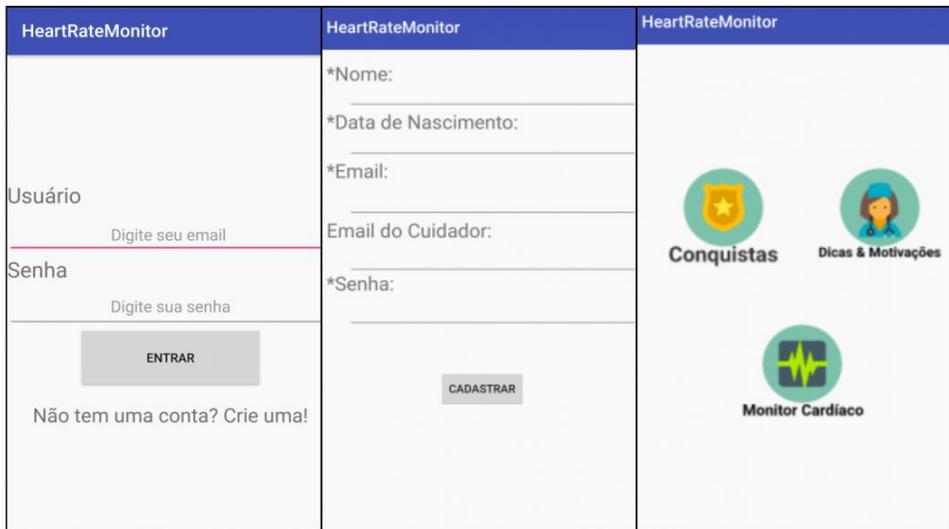
```
1 <TextView
2 <!-- TextView do corpo do texto do aplicativo -->
3     android:layout_width="wrap_content"
4     android:layout_height="wrap_content"
5     android:layout_alignParentRight="true"
6     android:layout_alignParentTop="true"
7     android:textAppearance="?android:textAppearanceLarge"
8     android:textSize="28sp"
9 />
```

Fonte: ARAUJO; MEDEIROS (2018)

## 2.2.2 AMBIENTE PARA SIMULAÇÕES E TESTES DE FORMAS DE MONITORAMENTO DA SAÚDE DE IDOSOS USANDO TECNOLOGIA M-HEALTH E GAMIFICAÇÃO

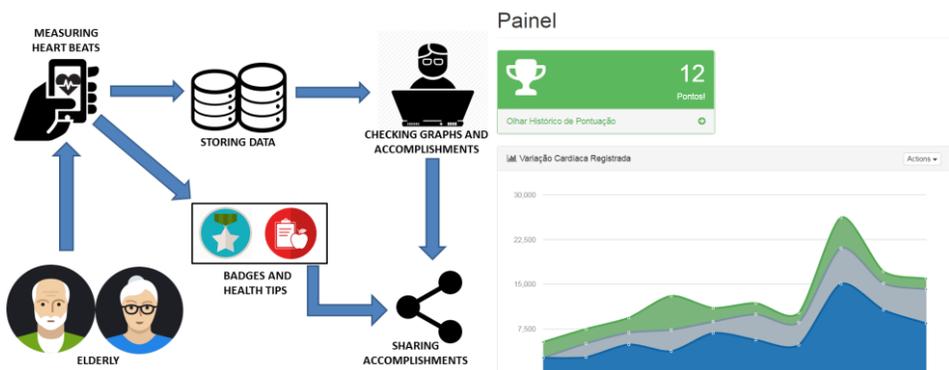
Trata-se da pesquisa norteadora do projeto macro, já que permite articular as demais em um ambiente de simulação. Os principais objetivos dessa investigação foram levantar informações sobre ambientes que permitam simular e testar cenários relacionados à vida cotidiana de idosos com doenças cardiovasculares (DCV), estabelecendo parâmetros para a criação de uma *app mobile*; modelar e prototipar a referida *app* com base nas informações levantadas; fazer simulações e testes a partir do protótipo implementado em cenários preventivos e paliativos de DCVs em idosos, visando monitoramento de atividades físicas e dieta dos mesmos (MARTINS et al., 2017). As Figuras 7 e 8 ilustram, respectivamente, possíveis fluxos de ações em cenários com idosos, as telas de *login* do sistema e de monitoramento de registro de batimentos cardíacos e pontuação obtida (processo de gamificação).

Figura 7. Telas de login, cadastro, início.



Fonte: MARTINS et al (2017)

Figura 8. a) Descrição de como as ações ocorrem no sistema b) Tela interface *web* - monitoramento de registros (pontuação/batimentos cardíacos)

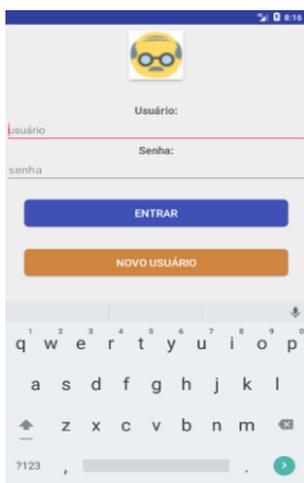


Fonte: MARTINS et al, 2017

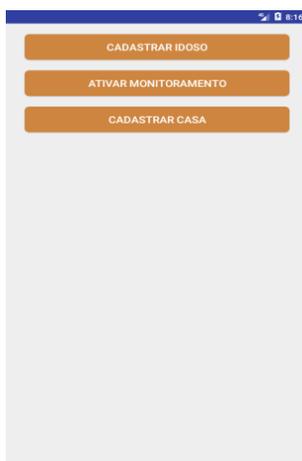
## 2.2.3 HEALTHCATION: DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO DE MONITORAMENTO DE IDOSOS EM PERÍMETRO RESIDENCIAL

O objetivo deste projeto foi propor o desenvolvimento de uma aplicação móvel que permita a administração do monitoramento de idosos em sua respectiva residência, focando em dois aspectos: monitoramento de ações de atividades físicas do idoso e controle de deslocamento em áreas de risco dentro do seu perímetro residencial. Os estudos da referida pesquisa tomam como base o deslocamento do idoso em sua residência, visando também analisar as atividades aeróbicas do idoso, verificando, por exemplo, se o mesmo tem estado por muito tempo parado, sentado ou deitado. A aplicação permitirá, ainda, através de um prévio mapeamento residencial, identificar se o idoso tem se deslocado em áreas onde possam oferecer riscos de acidentes. A Figura 9 ilustra três etapas da interface da aplicação.

Figura 9. Etapas da interface da aplicação: a) tela de login do usuário, b) opções do menu e c) tela de cadastro do idoso



(a) Login screen



(b) Options menu

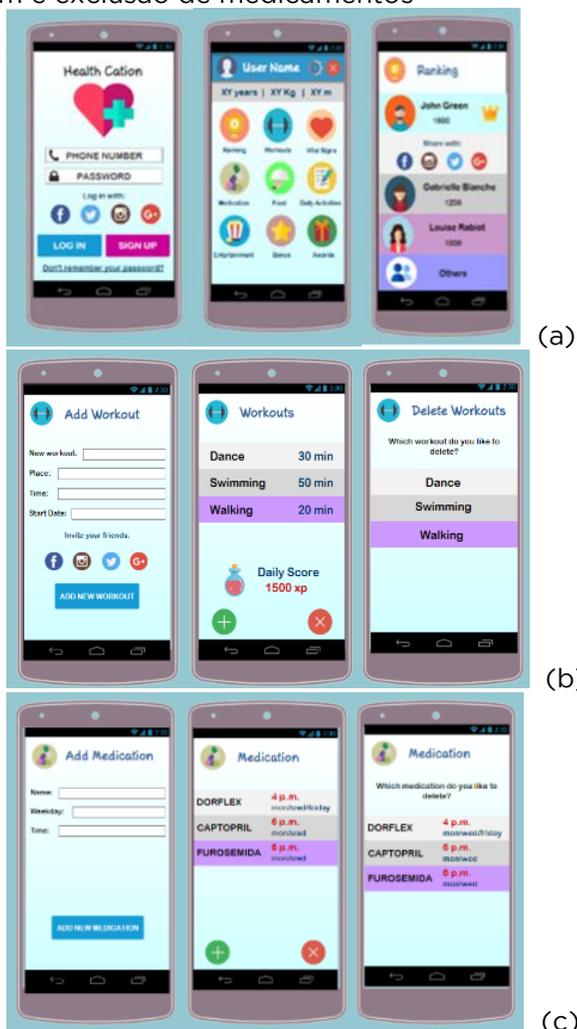


(c) Add Elderly

Fonte: FERREIRA (2017)

O produto final foi um *app* para monitoramento da saúde do público idoso associado à gamificação. A aplicação HealthCation é ilustrada pela Figura 10: telas de entrada, interface, *ranking* (gamificação), cadastro de atividades físicas e medicamentos do usuário, nesse caso pelo idoso, cuidador ou familiar.

Figura 10. a) Telas de entrada do usuário, interface do usuário, ranking. b) Tela de cadastro, listagem e exclusão de atividades físicas. c) Tela de cadastro, listagem e exclusão de medicamentos



Fonte: FERREIRA, 2017

## 2.3 USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA ADAPTAÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO AO PERFIL DO APRENDIZ

Uma ferramenta de autoria é qualquer aplicativo, parte de um aplicativo ou coleção de aplicativos com os quais o autor interage para produzir, alterar ou montar conteúdo *web*, que será utilizado por outras pessoas (W3C, 2016). No entanto, ainda percebe-se que o produto da ferramenta de autoria, no caso uma atividade de aprendizagem (AA), por exemplo, não está relacionada às particularidades de cada aprendiz, ou seja, não se adequa ao seu perfil; o que tem sido um grande desafio para os professores/educadores, bem como para os processos de autoria de AAs. Entende-se por AA uma aula, uma lição, isto é, um material didático.

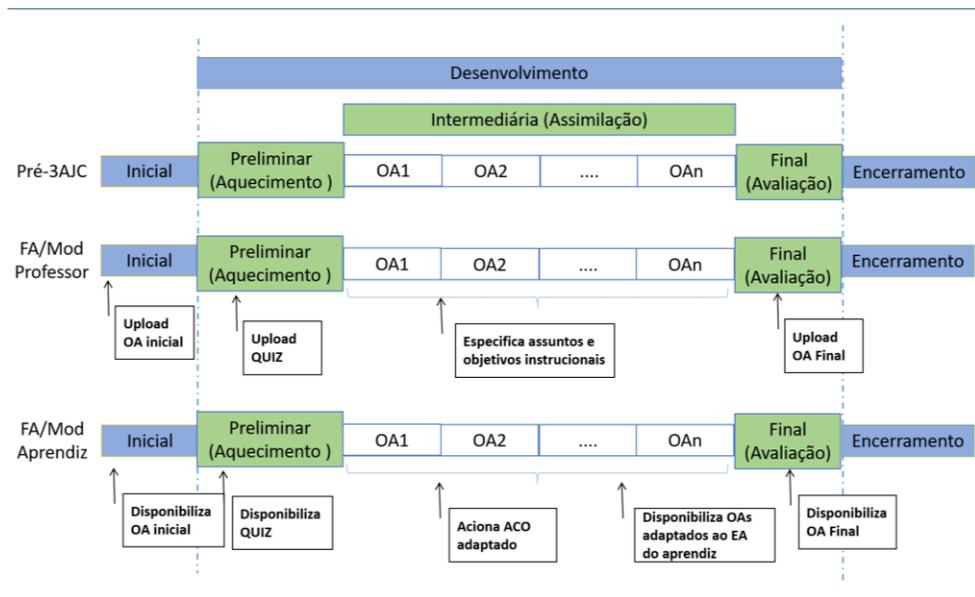
O processo de pré-autoria pré-3AJC proposto em Sá (2011) orienta o desenvolvimento de materiais didáticos que utilizam jogos e cooperação como recursos educacionais, chamados de atividades de aprendizagem, a partir do uso das melhores práticas do IMS-LD para representar aspectos pedagógicos. As atividades de aprendizagem geradas são formadas por um sequenciamento de objetos de aprendizagem. No entanto, o pré-3AJC é limitado no que se refere criar atividades de aprendizagem adaptáveis ao perfil do aprendiz.

Considerando esse contexto, foi investigado o uso de algoritmos de inteligência coletiva e algoritmos genéticos, como estratégia para adaptar os conteúdos apresentados nas atividades de aprendizagem desenvolvidas pelo pré-3AJC. Este foi um dos subprojetos do projeto denominado “Algoritmos Evolutivos/Enxame Híbridos em GPU Aplicados a Problemas Multiobjetivos do Mundo Real”, realizado em parceria com a EFREI. Em seguida, foi utilizado o algoritmo de inteligência coletiva *Ant Colony Optimization* (ACO) relacionado ao conceito de estilos de aprendizagem definidos por Felder e Silverman (1988). Eles caracterizam o estilo de aprendizagem em 4 dimensões: ativo-reflexivo, sensitivo-intuitivo, visual-verbal, sequencial-global.

O ACO é uma meta-heurística baseada no comportamento de colônias de formigas em busca de comida. A comida é alcançada pelas formigas através de um feromônio deixado por elas e que formam trilhas, viabilizando a comunicação entre as formigas e a orientação até a comida.

A partir do feromônio deixado, as demais formigas seguem essa trilha, depositando também feromônios, aumentando assim a probabilidade que este caminho seja utilizado. O ACO original foi então adaptado para atender requisitos de adaptação no pré-3AJC, que se dará pela escolha dos objetos de aprendizagem de acordo com o estilo de aprendizagem do aprendiz. Foi necessária a definição de novos parâmetros: estilo de aprendizagem do aprendiz (EA\_AP); estilo de aprendizagem do objeto de aprendizagem (EA\_OA) e tipo do objeto; bem como, a função que especifica a busca pelo melhor caminho, ou seja, que colabora na indicação dos OAs (BARRETO et al., 2017). A Figura 10 ilustra como o ACO adaptado foi integrado ao pré-3AJC.

Figura 11. Integrando ACO ao processo pré-3AJC.



Fonte: BARRETO et al. (2017)

Observa-se que na etapa de Preliminar/Aquecimento será aplicado um “Pergunta e Resposta” em formato de “QUIZ” (FA/Mod Aprendiz) para

sondar o nível de conhecimento do aprendiz nos assuntos a serem abordados pela AA. O ACO será acionado quando o aprendiz estiver acessando a aula que já teve sua autoria realizada pelo professor previamente (FA/Mod Prof) e, então, receberá os parâmetros necessários para indicar os objetos de aprendizagem mais adequados àquele aprendiz, para que este possa selecionar e realizar a atividade de aprendizagem desenvolvida pelo professor.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento dos projetos de pesquisa apresentados foi perceptível o crescimento colaborativo entre os professores, a partir da interação entre as diferentes linhas de pesquisa sustentadas pelo CAJES e GHA-DM, o que ocasionou uma melhoria na qualidade dos resultados alcançados. Pode-se observar tal fato pelo número de publicações, relatório de pesquisas, monografias e dissertação de mestrado desenvolvidos. Outro impacto positivo foi a parceria estabelecida entre EFREI-IFMA, favorecendo a qualificação de professores através do Programa de Internacionalização da Pesquisa no IFMA.

A temática de jogos sérios tem recebido destaque, uma vez que a instituição vem apoiando a disseminação da cultura de jogos através da organização de eventos e editais de fomento específicos (Fábrica de Jogos) para o desenvolvimento destes aplicados às áreas de Educação e Saúde. Como consequência dessas ações, teve origem o laboratório JOGA-AI (Jogos, Gamificação, Acessibilidade e Autoria Inteligente) que dá suporte a execução das atividades pelos alunos e pesquisadores envolvidos.

Os jogos sérios, assim como os demais projetos, estão no momento de teste e validação de suas proposições junto aos seus públicos-alvo. Isso é importante para que tenhamos produtos finais aptos a serem entregues para a sociedade.

Após a validação destes projetos, pretende-se utilizar tais produtos em seus contextos de aplicação, tais como salas de aula dos cursos técnicos e superior oferecidos pelo IFMA, bem como turmas do ensino

fundamental da rede pública do estado; em ambientes e serviços que necessitam o monitoramento da saúde do idoso, por exemplo, hospitais e casas de repouso; ou, ainda, como recursos em projetos de extensão, que visam capacitar a comunidade em geral, além de servidores e alunos dos demais campi do IFMA.

## AGRADECIMENTOS

Ao IFMA e a FAPEMA pelo apoio e fomento as pesquisas. Ao DCOMP/IFMA pelo envolvimento dos professores nas atividades. E aos alunos do curso de Sistemas de Informação, a saber: Levi Martins, Renata Sousa, Danielle Rosseline, Kelly Martins, Leonardo Xavier, Jamil Gomes, Alessandra Lima, Yasmin Medeiros, Ana Rebeca Araújo, Taynara Garcês, Francinette Borges, Luana Alves e Andrew Reis e Silva; e Alan Barreto do Mestrado Profissional em Engenharia e Computação (UEMA/IFMA) pelo compromisso.

## REFERÊNCIAS

ALBAN, A.; MARCHI, A. C. B.; SCORTEGAGNA, S. A.; LEGUISAMO, C. P. Ampliando a usabilidade de interfaces web para idosos em dispositivos móveis: uma proposta utilizando design responsivo. *RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação*, v. 10, n. 3, p. 1-10, 2012.

ARAGÃO, Alfredo L. de; CARVALHO, André C. P. L. F.; FORTES, R. P. M. Utilização de Aprendizado de Máquina para Adaptação de Ligações em Hipermídia Adaptativa. IN: *WEBMIDIA 2003- SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS MULTIMÍDIA E WEB*, SALVADOR, 2003. *Posters do Webmidia 2003*, v. 1, p. 494, 2003.

ARAUJO A.R.; MEDEIROS, Y.; SÁ, E. J. V. Biblioteca de estilos para design de interfaces para idosos. Relatório técnico de Pesquisa. Programa PIBIC/IFMA. 2018.

ARAUJO A.R.; SÁ E.; MAIA I.; FOOK K.; ROSA L. Improving Mobile Interfaces for the Elderly. In: *LIGHTNER, N. (ed.). Advances in Human Factors and Ergonomics in Healthcare and Medical Devices. AHFE 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 779. Cham: Springer, 2018

BARRETO, Alan C. S.; SÁ, Eveline J. V.; CORTES, Omar A. C.; VIEIRA, Dario. Autoria de Atividades de Aprendizagem Adaptativas com base na Inteligência Coletiva. In: XXVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE), 2017, Recife. Anais... Recife: Congresso Brasileiro de Informática na Educação, 2017.

BUSARELLO, R. I.; ULBRICHT, V. R.; FADEL, L. M. A gamificação e a sistemática de jogo: conceitos sobre a gamificação como recurso motivacional. São Paulo: Pimenta Cultural, 2014.

CORREIA, Kelly Suenny M.; FOOK, Karla Donato; SÁ, E. J. V. LogEasy++: Uma ferramenta para ensino e aprendizagem personalizável utilizando Gamificação. In: XXIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE), 2017, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Congresso Brasileiro de Informática na Educação, 2018.

FARIAS, Ezequiel B.; SILVA, Leandro W. C.; CUNHA, Mônica X. C. ABC AUTISMO: Um aplicativo móvel para auxiliar na alfabetização de crianças com autismo baseado no Programa TEACCH. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO, 2014, Londrina.

FARDO, Marcelo Luis. A Gamificação aplicada em Ambientes de Aprendizagem. RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação, v. 11, n.1, 2013.

FELDER, R.; SILVERMAN, L. Learning and teaching styles in engineering education. Journal of Engineering education, v. 78, n. 7, p. 674-681, 1988.

FERREIRA, Jeane S. Relatório do projeto "HealthCation: uso de tecnologias mHealth para monitoramento de saúde dos idosos através da Gamificação". Programa Especial de Internacionalização da Pesquisa do IFMA. São Luís, 2017.

G1. Ministério da Saúde confirma terceira morte relacionada ao vírus da zika. G1. São Paulo: 11 fev. 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2016/02/ministerio-da-saude-confirma-terceira-morte-pelo-virus-da-zika.html>>. Acesso em: jun. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa nacional por amostra de domicílios: síntese de indicadores 2015. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

INSTITUTO NET CLARO. Regulamento da 6ª edição programa campus mobile. São Paulo: 2017. Disponível em: <<http://campusmobile.com.br/static/regulamento.pdf>>.

LUNDGREN, Antonio Victor Alencar; FÉLIX, Zildomar Carlos. Plataforma SAM: a gamificação e a colaboração em uma plataforma de aprendizagem para o ensino da matemática em crianças portadoras de Síndrome de Down. In: XXVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE), 2017, Recife. Anais... Recife: Congresso Brasileiro de Informática na Educação, 2017.

MARTINS, Andreia. Com desafios, missões e rankings, "gamificação" pode turbinar EAD. Uol Educação. São Paulo, 21 fev. 2014. Disponível em: <<https://educacao.uol.com.br/noticias/2014/02/21/com-desafios-missoes-e-rankings-gamificacao-pode-turbinar-ead.htm>>. Acesso em: fevereiro 2018.

MARTINS, Levi M.; SOUSA, Renata J. G.; MOREIRA, Evaldinolia G.; FERREIRA, J.S.; VIEIRA, Dario. Gamification and mHealth technology: an approach to raise awareness and provide health education to the elderly. In: XXVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE), 2017, Recife. Anais... Recife: Congresso Brasileiro de Informática na Educação, 2017.

MELLO, Ana Maria S. Ros. Autismo: guia prático. 5ed. São Paulo: AMA; Brasília: CORDE, 2007.

MOREIRA, Carolina; PIMENTEL, Andrey Ricardo; MASCHIO, Eleandro. NextStep: Um Protótipo para o Sequenciamento Inteligente e Adaptativo de Enunciados em Programação de Computadores. In: XXVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE), 2016, Uberlândia. Anais... Uberlândia: Congresso Brasileiro de Informática na Educação, 2016.

MOURA, Douglas; OLIVEIRA, Diogenes L. S.; SILVA, Anny Jessyca G.; PAIVA, Pedro.; SALES, Thiago; CAVALCANTE, Rodolfo; QUEIROZ, Fabiane. TEO: Uma suite de jogos interativos para apoio ao tratamento de crianças com autismo. In: XXVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE), 2016, Uberlândia. Anais... Uberlândia: Congresso Brasileiro de Informática na Educação, 2016.

MUNTEAN, C. I. Raising engagement in e-learning through gamification. THE 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON VIRTUAL LEARNING - ICVL, 2011. Proceedings of... Bucharest: Bucharest University Press, 2011. Disponível em: <[http://www.icvl.eu/2011/disc/icvl/documente/pdf/met/ICVL\\_ModelsAndMethodologies\\_paper42.pdf](http://www.icvl.eu/2011/disc/icvl/documente/pdf/met/ICVL_ModelsAndMethodologies_paper42.pdf)>.

NASCIMENTO, M. B.; ALBUQUERQUE, E. S. Uso de gamification para melhorar adesão a tratamento. In: XI BRAZILIAN SYMPOSIUM ON

INFORMATION SYSTEM, Goiania, 2015. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2015/052.pdf>>.

PRENSKY, M. Aprendizagem Baseada em Jogos Digitais. São Paulo: Senac, 2012.

RIBEIRO, Rayane Kelly P.; REIS, Tiago R.; SILVA, Adilson Luis P.; COSTA, Hawbertt R. DESIGN DE GAME: UM ESTUDO SOBRE A HISTÓRIA DO PERSONAGEM NO JOGO “PLANETA QUÍMICA”. In: III SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIAS DIGITAIS NA EDUCAÇÃO, São Luís, 2018. Anais...

SÁ, E. J. V. Processo de pré-autoria para atividades de aprendizagem com uso de jogos e cooperação. 2011. Tese (Doutorado) – Engenharia Eletrônica e Computação, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

SOUZA, CYLENE. Como a gamification está mudando o comportamento dos pacientes? Saúde e Business, 2015. Disponível em: <<http://saudebusiness.com/noticias/como-gamification-esta-mudando-o-comportamento-dos-pacientes/>>. Acesso em 29 out. 2018.

SILVA ALVES L.; REIS E SILVA, Andrew N.; SÁ, E.J.V.; SILVA, T.R. Game for the Digital Inclusion of the Physically Disabled with Reduced Mobility. In: Di Bucchianico G. (ed.). Advances in Design for Inclusion. AHFE 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 776. Cham: Springer, 2019. No prelo.

BARBOSA, Alexandre F (coord.). Survey on the use of information and communication technologies in Brazilian healthcare. São Paulo: Comitê Gestor da Internet no Brasil, 2015. Disponível em <<http://cetic.br/media/docs/publicacoes/2/tic-saude-2013.pdf>>. Acesso em out 2018.

VIRGOLINO, Douglas; SOUZA, Alan M.; JUNIOR, Antonio F. L. J.; SANTANA, Ádamo L.; JUNIOR, Gilberto N. de Souza. Framework para Coleta e Visualização de Dados Advindos de Jogos Sérios para a Saúde. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA EM SAÚDE, Goiânia, 2016. Anais... São Paulo: Sociedade Brasileira de Informática em Saúde, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Zika Virus: Facts sheet. 2018. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/zika/en/>>. Acesso em: junho 2018.

WIENER, M.; CAMPOS, Aline. Colligo: aplicativo para dispositivos móveis para processos de gamificação em sala de aula Alice. In: XXVIII SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE), 2017, Recife. Anais... Recife: Congresso Brasileiro de Informática na Educação, 2017.

W3C. Browsers and Authoring Tools. 2016. Disponível em: <<https://www.w3.org/standards/agents/authoring>>. Acesso em: julho 2018.

XAVIER, Leonardo F. JOGO MUTUCA: um jogo educativo para o combate ao mosquito *Aedes Aegypti*. 2016. Monografia de Conclusão do Bacharelado em Sistema de Informação, IFMA - Campus Monte Castelo. São Luís.

4

MATEMÁTICA,  
QUÍMICA E  
FÍSICA

SEÇÃO 4

## CAPÍTULO 12

# CÁLCULOS *AB INITIO* DE NANOESTRUTURAS DE MoS<sub>2</sub>: PROPRIEDADES ESTRUTURAIS, ELETRÔNICAS E VIBRACIONAIS

Edvan Moreira<sup>1</sup>

Márcio da Silva Tavares<sup>2</sup>

David Lima Azevedo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doutor em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA).

<sup>2</sup> Doutor pela Universidade Federal do Ceará, docente da Universidade Estadual do Maranhão e Instituto Federal do Maranhão.

<sup>3</sup> Doutorado em Física pelo IFGW-UNICAMP, docente da Universidade de Brasília-UnB e Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação em Física.

### RESUMO

Apresentamos os resultados de um estudo teórico do comportamento estrutural, eletrônico, vibracional, incluindo espectros infravermelho e Raman, e dispersão de fônons, dos polítipos 3R- e 2H- do Dissulfeto de Molibdênio (MoS<sub>2</sub>) utilizando a Teoria do Funcional da Densidade (DFT) considerando as aproximações da densidade local e do gradiente generalizado, LDA e GGA, respectivamente. Os parâmetros de rede calculados estão próximos aos parâmetros medidos experimentalmente e um *gap* de energia indireto  $E(A \rightarrow \Lambda) = 1.33$  eV (0.68 eV) foi obtido via os cálculos GGA (LDA) para o polítipo 3R-MoS<sub>2</sub>, enquanto que, para o polítipo 2H-MoS<sub>2</sub>, um *gap* de energia indireto  $E(\Gamma \rightarrow \Lambda) = 1.33$  eV (0.70 eV), foi obtido com a aproximação GGA (LDA). Para a monocamada de 2H-MoS<sub>2</sub>, o *gap* de energia foi direto ( $K \rightarrow K$ ), em que obtivemos para a aproximação LDA o valor de 1.88 eV e, com a aproximação GGA, o valor de 1.73 eV, em consonância com a literatura (valor experimental: 1.8 eV). Por fim, considerando as propriedades vibracionais, a relação de dispersão de fônons junto com a densidade de estados (DOS), assim como os picos teóricos dos espectros infravermelho e Raman, no intervalo de 0 a 500 cm<sup>-1</sup>, foram analisadas e estimadas suas atribuições, considerando os pseudopotenciais de norma-conservada.

Palavras-chave: Dissulfeto de Molibdênio. Cálculos *ab initio*. Propriedades Físicas.

## 1 INTRODUÇÃO

Os materiais conhecidos como TMDs (*transition metal dichalcogenides*) têm sido estudados nas últimas cinco décadas explorando suas aplicações em processos de catálise e lubrificantes (MAS-BALLESTÉ *et al.*, 2011; WANG *et al.*, 2012; HUANG; ZENG; ZHANG, 2013; XU *et al.*, 2013). Os TMDs compõem uma classe de materiais com estruturas estequiométricas tipo  $XY_2$ , em que X é um metal de transição dos grupos IV-VI (ex: Mo, Ti, Nb) e Y é um calcogênio (ex: S, Se, Te, etc). Estes materiais são caracterizados por ligações covalentes entre os elementos X e Y, apresentando polarização causada pela transferência eletrônica entre os átomos metálicos e calcogênitos (ATAÇA; SAHI; CIRACI, 2012; GHORBANI-ASL *et al.*, 2013). Suas camadas interplanares são vinculadas por ligações fracas tal como van der Waals, o que permite sua utilização como lubrificante e com fácil processo de clivagem micromecânica, tal como ocorre com o grafeno. Essencialmente, os TMDs apresentam outra similaridade com os derivados do carbono: a capacidade polimórfica tal como se pode constatar na observação de microestruturas tubulares e fulerenos (IF - *Inorganic Fullerene*) (TENNE *et al.*, 1992; MARGULIS *et al.*, 1993). Além disso, as técnicas de clivagem conseguem abstrair, a partir da forma volumar, as monocamadas dos TMDs que possuem diversas perspectivas de aplicações em dispositivos eletrônicos.

Sabe-se que estes materiais nanoestruturados apresentam alta flexibilidade (GHORBANI-ASL *et al.*, 2013; BERTOLAZZI; BRIVIO; KIS, 2011; CASTELLANOS-GOMEZ *et al.*; 2012; YUN *et al.*, 2012; JOHARI; SHENOY, 2012; ZHOU *et al.*; 2012; RADISAVLJEVIC; KIS, 2013), os quais, juntamente a substratos de polímeros elásticos, propiciam a construção de dispositivos eletrônicos flexíveis. Um TMD largamente estudado é o Dissulfeto de Molibdênio ( $MoS_2$ ) que tem chamado atenção sobre a maneira que suas propriedades semicondutoras em altas temperaturas podem ser empregadas em eletrônica. Esse material essencialmente se apresenta em três variedades polimórficas 1T, 2H e 3R, sendo a fase 1T metaestável e as

fases 2H e 3R apresentam estado de oxidação +4 em que se observa formação de fortes ligações entre Molibdênio e os seis ânions de Enxofre numa base trigonal prismática regular (DICKINSON; PAULING, 1923).

Dentre estas variedades polimórficas, constatamos uma expressiva quantidade de resultados acerca da fase 2H-MoS<sub>2</sub>, introduzida por Linus Pauling durante seu doutorado no *California Institute of Technology* (*Caltech*) (DICKINSON; PAULING, 1923), a qual ocorre na natureza na forma do mineral molibdenita principalmente associada a rochas submetidas a processos hidrotermais de altas temperaturas (WYPYCH, 2002). Esta fase apresenta propriedades fotoluminescentes devido a transições de seu estado semicondutor de *band gap* indireto (1,2 eV) para um comportamento semicondutor de *band gap* direto (1,8 eV) após o processo de esfoliação (WANG *et al.*, 2012; HUANG; ZENG; ZHANG, 2013). Além disso, estudos (BERTOLAZZI; BRIVIO; KIS, 2011) apontam a fabricação de transistores em escala nanométrica dotados de espessura inferior a 0,6 nm e rendimentos 100.000 vezes maior no estado *stand by* que dispositivos à base de Silício. Outrossim, pesquisas apontam que combinações de monocamadas de 2H-MoS<sub>2</sub> com grafeno condutor permitem a produção de memórias *flash* utilizadas em *pen-drives* e discos rígidos externos. Ainda neste contexto, vislumbram-se aplicações em dispositivos spintrônicos (ZHOU *et al.*; 2012; RADISAVLJEVIC; KIS, 2013), pois se percebem transições das fases diamagnéticas (*Bulk*) para ferromagnéticas (nanofitas) à temperatura ambiente.

Diante do exposto, este estudo viabiliza uma contribuição em TMDs XY<sub>2</sub> (X = Mo; Y = S), na forma de estruturas cristalinas (precursor de monocamada) e monocamada, especificamente as propriedades estruturais, eletrônicas e vibracionais das fases 3R- e 2H- do dissulfeto de molibdênio (MoS<sub>2</sub>) através de técnicas de simulação computacional (*ab initio*) baseadas em cálculos DFT e DFPT, *Density Functional Theory* e *Density Functional Perturbation Theory*, respectivamente, contribuindo sobremaneira no entendimento destes materiais, fato de suma importância na conjectura de elaboração de novos dispositivos eletrônicos na era da nanotecnologia (COUTINHO *et al.*, 2017).

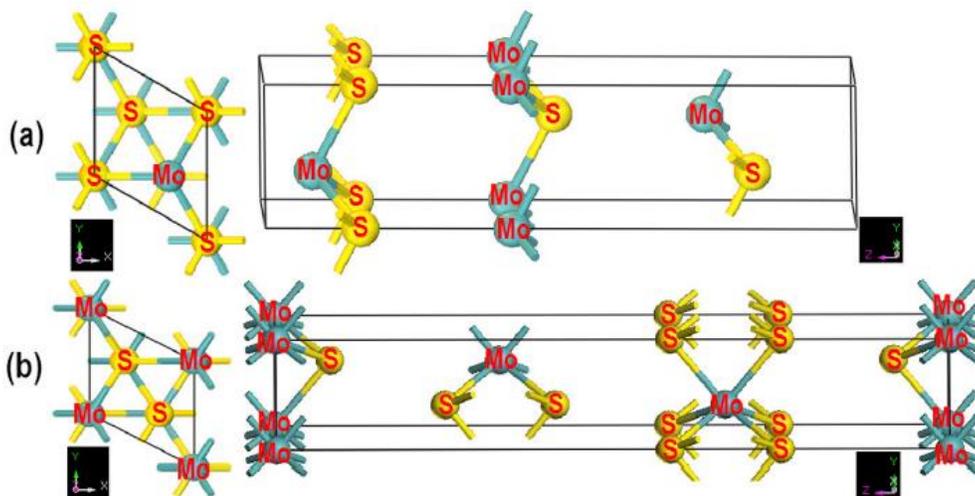
## 2 METODOLOGIA COMPUTACIONAL

Os parâmetros de rede iniciais para os politipos 3R- e 2H- do MoS<sub>2</sub> foram obtidos via dados de raios-X fornecidos por Schönfeld, Huang e Moss (1983). As nanoestruturas 3R- e 2H-MoS<sub>2</sub> podem ser visualizadas na Figura 1. Para os politipos 3R-MoS<sub>2</sub> - grupo espacial ( $C_{3v}$ ) R3M (160) - e 2H-MoS<sub>2</sub> - grupo espacial ( $D_{6h}$ ) P63/MMC (194) -, os parâmetros de rede experimentais e teóricos estão apresentados e comparados na Tabela 1. Todos os cálculos foram realizados com o formalismo da teoria do funcional da densidade (DFT), implementado no código CASTEP (COUTINHO *et al.*, 2017). Utilizamos dois funcionais de troca-correlação bem aceitos na literatura, a aproximação da densidade local - LDA - e a aproximação do gradiente generalizado - GGA. Uma série de critérios de convergência, conforme Coutinho *et al.* (2017), foi empregada para minimizar as nanoestruturas, ou seja, promover a interação entre os átomos das nanoestruturas para atingirem o mínimo de energia (estado fundamental), tanto as nanoestruturas cristalinas quanto a monocamada da fase 2H-MoS<sub>2</sub>.

A partir da célula primitiva otimizada, com uma energia de corte de 1000 eV, as estruturas de bandas de Kohn-Sham e a densidade de estados (total e parcial, com as contribuições por átomo e por orbitais atômicos) foram calculadas para ambos os funcionais de troca-correlação, LDA e GGA (COUTINHO *et al.*, 2017). Os espectros de infravermelho (IR) e Raman, bem como as frequências de modos ativos, foram calculados e apresentados para a célula otimizada via a aproximação GGA apenas por considerarmos melhor convergência e critérios mais precisos que a aproximação LDA, seguindo ainda as recomendações da literatura para o cálculo de fônons.

Figura 1. Células primitivas do cristal MoS<sub>2</sub>

(a) politipo 2H- e (b) politipo 3R-.



Fonte: elaboração própria

Tabela 1. Parâmetros de rede para os politipos 3R- e 2H- do MoS<sub>2</sub> conforme as aproximações LDA-CAPZ e GGA-PBE.

	$a = b$ (Å)	$c$ (Å)	$\alpha = \beta$ (°)	$\gamma$ (°)	$V$ (Å <sup>3</sup> )
3R-MoS <sub>2</sub>					
LDA	3.139(-0.7%)	17.942 (-2.3%)	90	120	153.164(-3.7%)
GGA	3.199(+1.1%)	20.139 (+8.7%)	90	120	178.567(+10.8%)
EXP.	3.163	18.370	90	120	159.162
2H-MoS <sub>2</sub>					
LDA	3.134(-0.8%)	12.069(-1.8%)	90	120	102.720(-3.4%)
GGA	3.199(+1.1%)	13.377(+8.0%)	90	120	118.558(+10.2%)
EXP.	3.161	12.295	90	120	106.392

Fonte: elaboração própria

## 3 RESULTADOS

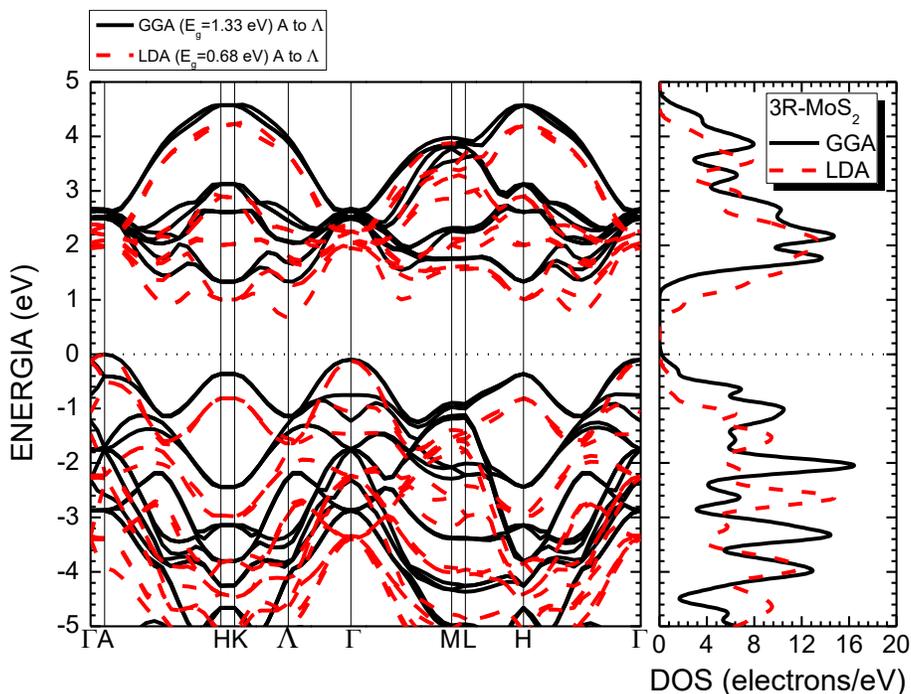
### 3.1 OTIMIZAÇÃO DE GEOMETRIA

As células primitivas para os polítipos de MoS<sub>2</sub>, fases 3R- e 2H- (Figura 1), foram obtidas a partir dos dados de raios X de Schönfeld, Huang e Moss (1983). Na Tabela 1 apresentamos os parâmetros de rede experimentais para as fases 3R-MoS<sub>2</sub> e 2H-MoS<sub>2</sub>, cujos grupos espaciais são R3M(160)-(C<sub>3v</sub>) e P63/MMC (194)-(D<sub>6h</sub>), comparando-os com nossos resultados teóricos via simulação computacional. Os parâmetros de rede calculados com a aproximação GGA são consistentemente maiores comparados com aqueles calculados usando a aproximação LDA e também com os dados experimentais, os quais são coerentes com a literatura para outros compostos em que o funcional GGA geralmente superestima os valores dos parâmetros por conta das forças interatômicas. Os resultados demonstram que os parâmetros de rede  $c$  tanto para o polítipo 3R- quanto 2H- são bem maiores para a aproximação GGA comparados aos dados experimentais principalmente por conta das interações de van der Waals, porém com boas aproximações para os parâmetros  $a$  e  $b$  das redes. Apesar dessas diferenças entre os parâmetros experimentais e teóricos após a otimização de geometria (convergência da célula primitiva para o estado fundamental, ou seja, estado de menor energia), verificamos que as propriedades eletrônicas estão praticamente iguais às estimativas experimentais devido aos critérios adotados (COUTINHO *et al.*, 2017).

### 3.2 ESTRUTURAS DE BANDA E DENSIDADE DE ESTADOS ELETRÔNICOS

As Figuras 2 e 3 apresentam as estruturas de bandas eletrônicas de Kohn-Sham na primeira zona de Brillouin e as suas respectivas densidades de estado totais para os polítipos 3R- e 2H- do MoS<sub>2</sub>, respectivamente, considerando as aproximações GGA e LDA próximas do nível de Fermi (0 eV), que indica o nível de energia do maior estado ocupado.

Figura 2. Estruturas de banda de Kohn-Sham e densidade estados (DOS) do politipo 3R-MoS<sub>2</sub> próximo ao nível de Fermi utilizando as aproximações LDA-CAPZ (linhas pontilhadas em vermelho) e GGA-PBE (linhas solidas em preto)

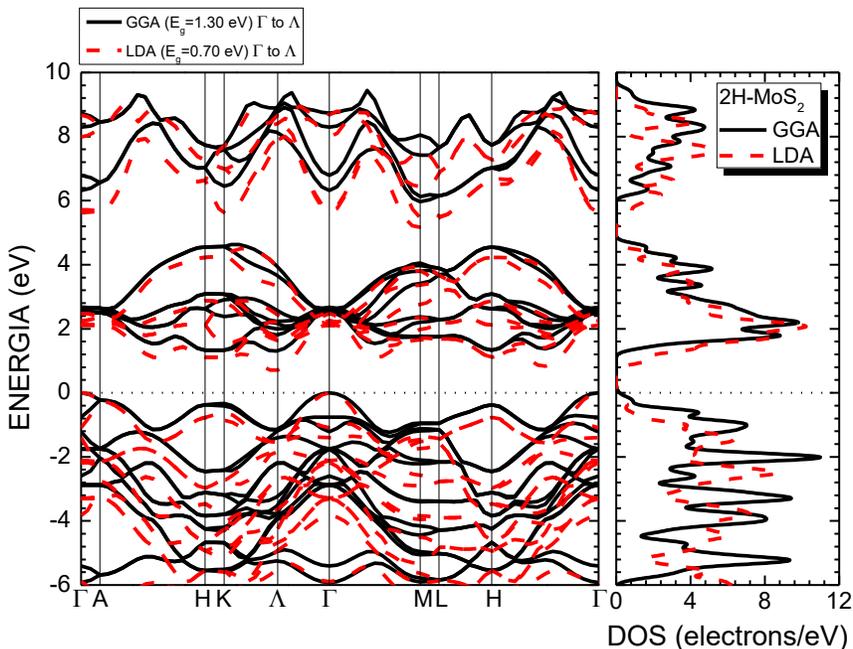


Fonte: Elaboração própria

Em ambos os gráficos, as autoenergias LDA são menores para as bandas de condução e aproximadamente possuem o mesmo valor para as bandas de valência no ponto  $\Gamma$ , resultando em *band gaps* LDA menores em comparação com a aproximação GGA. O máximo da banda de valência ocorre no ponto A ( $\Gamma$ ) no espaço recíproco para o 3R- (2H-) MoS<sub>2</sub>, com um máximo secundário no ponto  $\Gamma$  (A). O mínimo da banda de condução, para ambos os politipos, está no ponto  $\Lambda$ , entre os pontos de alta simetria K e  $\Gamma$ , caracterizando-os com *gaps* de energia indiretos. A densidade de estados total DOS para o politipo 3R-MoS<sub>2</sub> (Figura 2) indica claramente no ponto

O eV o decréscimo do *gap* LDA ( $E_g = 0.68$  eV) comparado com o *gap* GGA ( $E_g = 1.33$  eV). Para o politipo 2H-MoS<sub>2</sub> (Figura 3), o *gap* de energia e a DOS indicam o mesmo comportamento, sendo 0.70 eV (LDA) e 1.30 eV (GGA). Considerando as estruturas de banda, para ambos os politipos, a estimativa de *band gap* GGA é similar ao valor experimental (1.30 eV), mesmo com parâmetros de rede maiores e conseqüentemente maiores volumes da célula primitiva (Tabela 1), porém a aproximação LDA subestimou os valores de *gap* de energia mesmo com parâmetros de rede próximos aos experimentais. Podemos lembrar que devido a essas aproximações dos funcionais DFT, teoricamente calculados, são imprecisos e podem subestimar ou superestimar os dados experimentais.

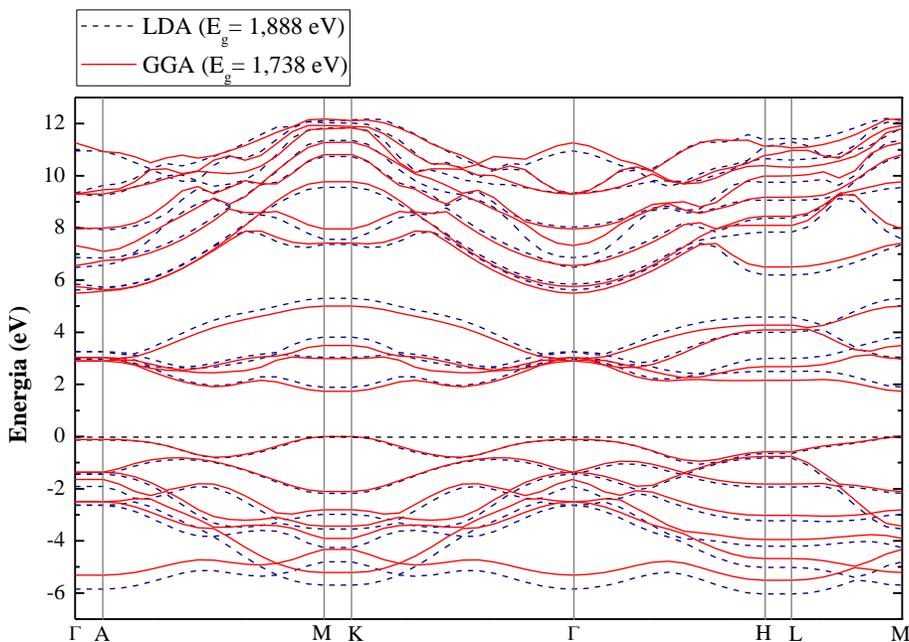
Figura 3. Estruturas de banda de Kohn-Sham e densidade estados (DOS) do politipo 2H-MoS<sub>2</sub> próximo ao nível de Fermi utilizando as aproximações LDA-CAPZ (linhas pontilhadas em vermelho) e GGA-PBE (linhas sólidas em preto)



Fonte: Elaboração própria

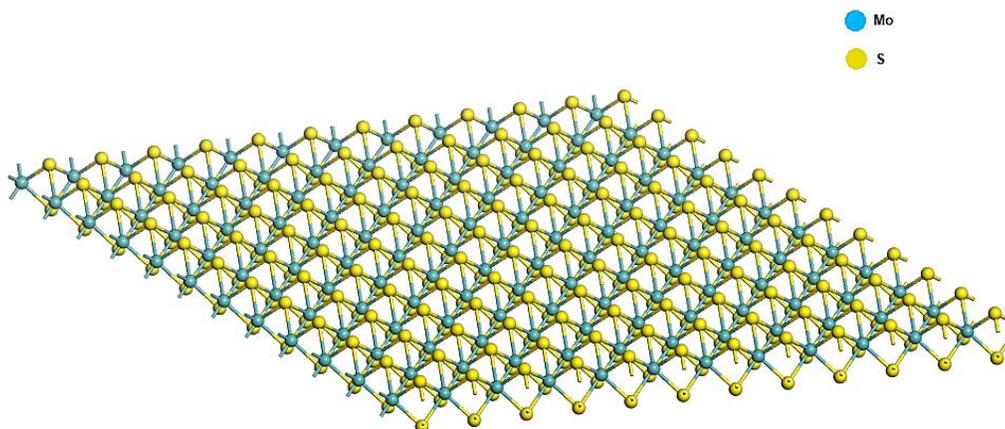
A Figura 4 apresenta o gráfico de estruturas de banda, com as aproximações LDA e GGA, caracterizando a monocamada do MoS<sub>2</sub> como um semicondutor, assim como o cristal do dissulfeto de molibdênio (Figuras 2 e 3), mas com band gap direto (K-K), em que obtivemos para a aproximação LDA o valor de 1.88 eV e, com a aproximação GGA, o valor de 1.73 eV. O aumento do gap de energia entre a monocamada (Figura 5) e as redes cristalinas deve-se ao decréscimo da concentração de portadores de carga, o que justifica a redução de mobilidade quando se consideram poucas camadas ou apenas uma única camada (monocamada) de MoS<sub>2</sub>.

Figura 4. Estruturas de banda de Kohn-Sham da monocamada de 2H-MoS<sub>2</sub> próximo ao nível de Fermi utilizando as aproximações LDA (azul tracejado) e GGA (vermelho contínuo)



Fonte: elaboração própria

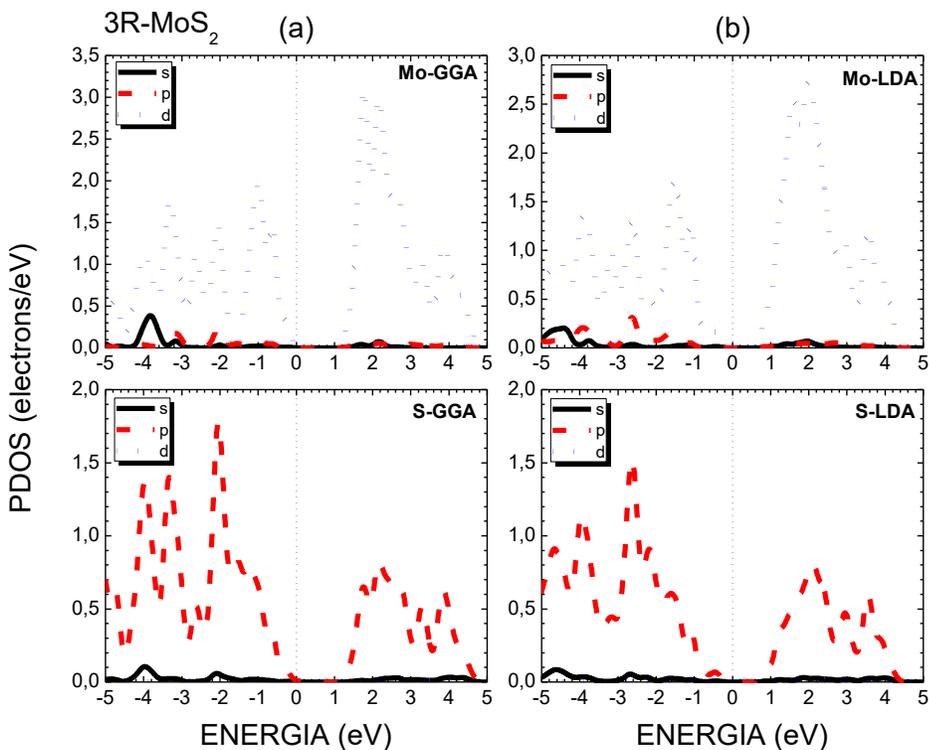
Figura 5. Representação da monocamada do 2H-MoS<sub>2</sub>



Fonte: elaboração própria

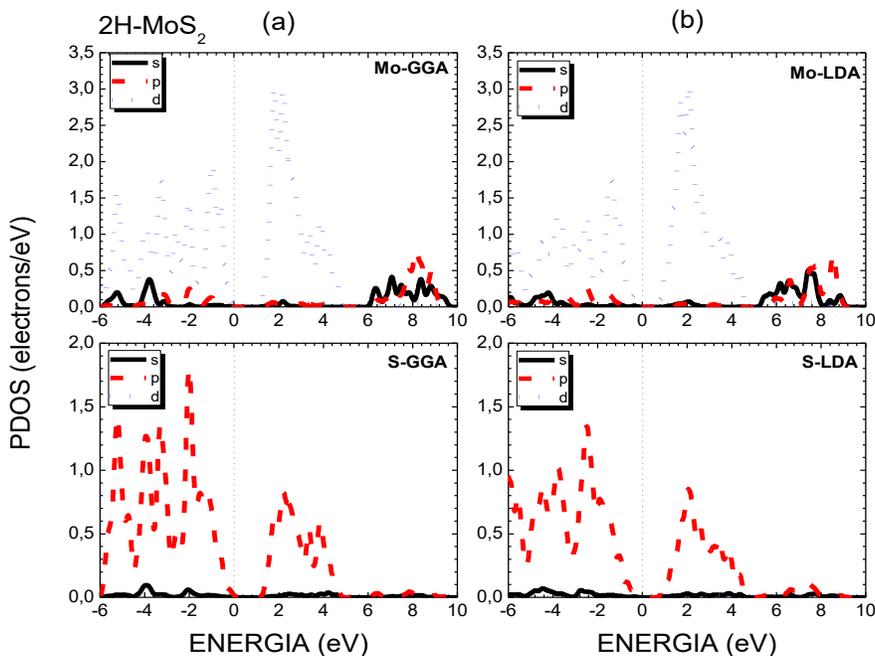
As Figuras 6 e 7 detalham a densidade de estados parcial dos politipos 3R- e 2H-MoS<sub>2</sub>, respectivamente, no intervalo de energia de -5.0 eV à +5.0 eV, região próxima ao nível de Fermi (0 eV). As curvas sinalizam as contribuições de cada orbital atômico dos átomos de Molibdênio e Enxofre que foram calculadas com os funcionais GGA e LDA via DFT. Próximo ao nível de Fermi, os picos PDOS evidenciam principalmente a presença dos orbitais 4*d* do Molibdênio (Mo) e 3*p* do Enxofre (S) entre 0.0 eV e -2.0 eV; enquanto que, na região da bandas desocupadas (bandas de condução), os orbitais predominantes são 5*s* do Molibdênio (Mo) e 4*p* do Enxofre (S). A região acima de 5.0 eV em que aparecem bandas de energia no DOS do politipo 2H-MoS<sub>2</sub> resulta da presença dos orbitais 4*p* e 5*s* do átomo de Mo, mas que não interferem no caráter semicondutor do politipo, além de ser o precursor da monocamada de MoS<sub>2</sub>.

Figura 6. Densidade estados parcial do politipo 3R-MoS<sub>2</sub> em função da energia para o intervalo de -5,0 eV à +5,0 eV, perto do nível de Fermi representado pela linha pontilhada vertical em 0,0 eV. As curvas sólidas e tracejadas mostram as contribuições de cada átomo (Molibdênio-Mo e Enxofre-S) calculadas através dos funcionais (a) GGA-PBE e (b) LDA-CAPZ; sendo que as contribuições dos orbitais atômicos *s*, *p* e *d* são representadas pelas linhas sólidas, tracejadas e pontilhadas, respectivamente.



Fonte: elaboração própria

Figura 7. Densidade estados parcial do politipo 2H-MoS<sub>2</sub> em função da energia para o intervalo de -5,0 eV à +5,0 eV, perto do nível de Fermi representado pela linha pontilhada vertical em 0,0 eV. As curvas solidas e tracejadas mostram as contribuições de cada átomo (Molibdênio-Mo e Enxofre-S) calculadas através dos funcionais (a) GGA-PBE e (b) LDA-CAPZ; sendo que as contribuições dos orbitais atômicos *s*, *p* e *d* são representadas pelas linhas sólidas, tracejadas e pontilhadas, respectivamente.



Fonte: elaboração própria

### 3.3 PROPRIEDADES VIBRACIONAIS: INFRAVERMELHO, RAMAN E DISPERSÃO DE FÔNONS

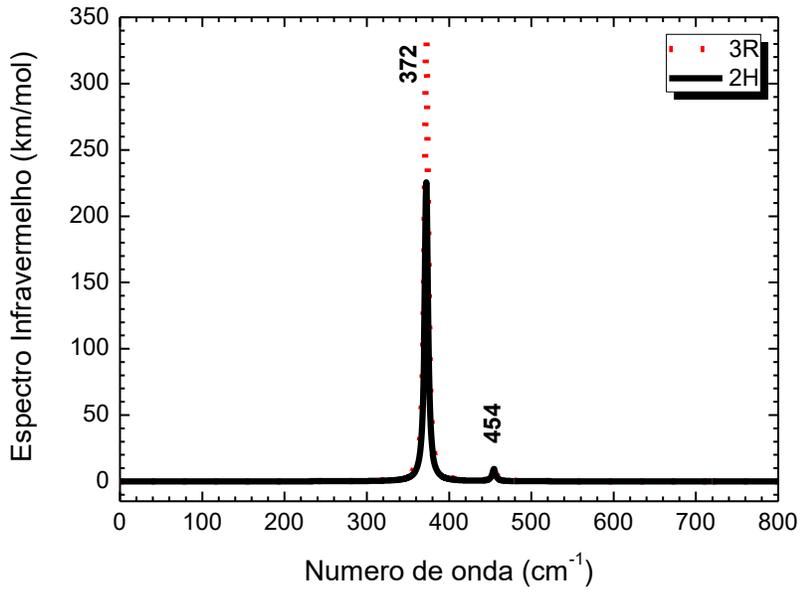
Os espectros de infravermelho (IR) e Raman dos politipos 3R- e 2H-do MoS<sub>2</sub> são apresentados nas Figuras 6 a 10, respectivamente. Nas Tabelas 2 e 3 aparecem os modos normais preditos com suas respectivas representações irreduzíveis e as atribuições dos modos ativos

infravermelho e Raman. Após os processos de otimização das estruturas realizaram-se os cálculos via teoria de perturbação DFPT baseada no formalismo de resposta linear utilizando potenciais de norma conservada no funcional GGA-PBE.

A técnica de espectroscopia Raman refere-se ao efeito de espalhamento de luz pela matéria, cujo campo elétrico associado à luz induz uma vibração local das cargas. Esse espalhamento da luz é um espalhamento elástico, ou seja, com a mesma frequência da radiação incidente. Realizando-se um acoplamento entre o tensor polarizabilidade e os modos vibracionais do material, a energia dos fótons espalhados será diferente, originando o efeito Raman que, por sua vez, identifica o material através dos modos vibracionais, essencial para o entendimento da nanoestrutura do material. No caso da espectroscopia no infravermelho, trata-se da energia absorvida na região de infravermelho do espectro eletromagnético com intuito de também investigar a composição do nanomaterial. Essa técnica (IR) consiste no fato de que as ligações químicas possuem frequências de vibração específicas que correspondem a níveis de energia das moléculas constituintes da nanoestrutura. À medida que se registra a quantidade de energia absorvida ou espalhada numa faixa de comprimentos de onda, pode-se identificar os modos normais de vibração.

Conforme a Figura, o pico de absorção IR mais intenso (dois) ocorre em  $372.34 \text{ cm}^{-1}$ , indicado como 372, para ambos os polítipos 3R- e 2H-MoS<sub>2</sub>. Isto está relacionado ao modo  $E$  no plano (3R-) e um modo  $E_{1u}$  (2H-) no plano, sendo que os átomos de Enxofre estão se movendo em fase na direção oposta à do átomo de Molibdênio ao longo dos eixos  $b$  e  $a$ , e perpendicular ao eixo  $c$ , em consonância com a literatura (MOLINA-SÁNCHEZ; WIRTZ, 2011). O outro pico (dois) aparece em  $454.46 \text{ cm}^{-1}$  em ambos os casos (3R- e 2H-MoS<sub>2</sub>), indicado como  $454 \text{ cm}^{-1}$  -  $469.4 \text{ cm}^{-1}$  (MOLINA-SÁNCHEZ; WIRTZ, 2011) - atribuído ao um modo  $A_1$  (3R-) e um modo  $A_{2u}$  (2H), sendo que o átomo de Enxofre está se movendo na direção oposta ao átomo de Molibdênio ao longo do eixo  $c$  (COUTINHO *et al.*, 2017; MOLINA-SÁNCHEZ; WIRTZ, 2011).

Figura 8. Espectro infravermelho do politipo 3R-MoS<sub>2</sub> (linha pontilhada em vermelho) e 2H-MoS<sub>2</sub> (linha sólida em preto) no intervalo de 0 à 800 cm<sup>-1</sup>. Os números correspondem aos modos normais de vibração mostrados nas Tabelas 2 e 3.



Fonte: elaboração própria

Tabela 2. Modos normais do 3R-MoS<sub>2</sub> em  $k = 0$ . Representações irreduzíveis (Irrep) são indicadas, bem como os modos IR e Raman ativos.

<i>N</i>	<i>k</i> (cm <sup>-1</sup> )	Irrep	IR	Raman
1	8.9	<i>G</i>	N	N
2	8.9	<i>G</i>	N	N
3	8.9	<i>G</i>	N	N
4	8.9	<i>G</i>	N	N
5	20.1	<i>E</i>	N	N
6	20.1	<i>E</i>	N	N
7	276.0	<i>G</i>	N	N
8	276.0	<i>G</i>	N	N
9	276.0	<i>G</i>	N	N
10	276.0	<i>G</i>	N	N
11	276.5	<i>E</i>	Y	Y
12	276.5	<i>E</i>	Y	Y
13	372.3	<i>E</i>	Y	Y
14	372.3	<i>E</i>	Y	Y
15	372.3	<i>G</i>	N	N
16	372.3	<i>G</i>	N	N
17	372.3	<i>G</i>	N	N
18	372.3	<i>G</i>	N	N
19	395.6	<i>E</i>	N	N
20	395.6	<i>E</i>	N	N
21	396.5	<i>A</i> <sub>1</sub>	Y	Y
22	454.4	<i>A</i> <sub>1</sub>	Y	Y
23	455.8	<i>E</i>	N	N
24	455.8	<i>E</i>	N	N

Fonte: elaboração própria

Tabela 3. Modos normais do 2H-MoS<sub>2</sub> em  $k = 0$ . Representações irredutíveis (Irrep) são indicadas, bem como os modos IR e Raman ativos.

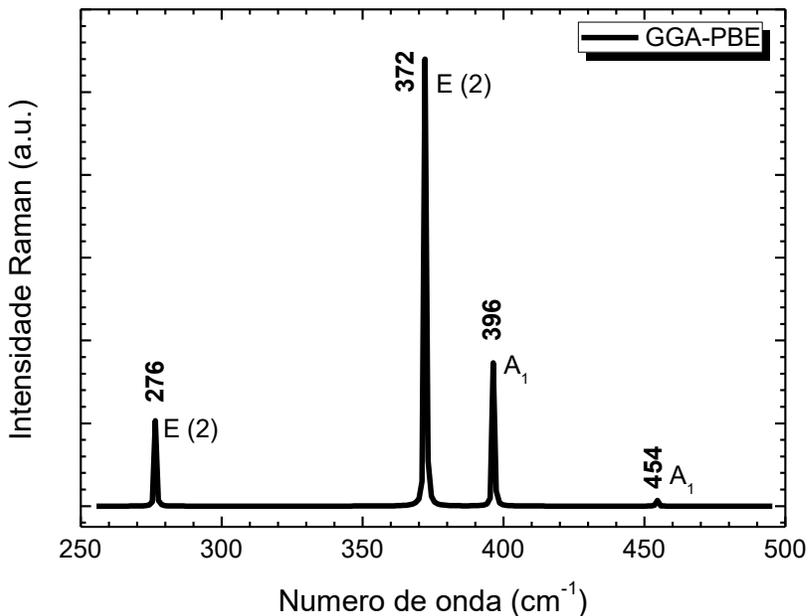
<i>N</i>	<i>k</i> (cm <sup>-1</sup> )	Irrep	IR	Raman
1	13.7	<i>E</i> <sub>2g</sub>	N	Y
2	13.7	<i>E</i> <sub>2g</sub>	N	Y
3	25.0	<i>B</i> <sub>2g</sub>	N	N
4	276.1	<i>E</i> <sub>2u</sub>	N	N
5	276.1	<i>E</i> <sub>2u</sub>	N	N
6	276.5	<i>E</i> <sub>1g</sub>	N	Y
7	276.5	<i>E</i> <sub>1g</sub>	N	Y
8	372.3	<i>E</i> <sub>1u</sub>	Y	N
9	372.3	<i>E</i> <sub>1u</sub>	Y	N
10	372.4	<i>E</i> <sub>2g</sub>	N	Y
11	372.4	<i>E</i> <sub>2g</sub>	N	Y
12	395.4	<i>B</i> <sub>1u</sub>	N	N
13	396.5	<i>A</i> <sub>1g</sub>	N	Y
14	454.4	<i>A</i> <sub>2u</sub>	Y	N
15	455.8	<i>B</i> <sub>2g</sub>	N	N

Fonte: elaboração própria

A Figura 9 apresenta o espectro de espalhamento Raman para o politipo 3R-MoS<sub>2</sub> no intervalo de 250 a 500 cm<sup>-1</sup>, com o pico mais intenso em 372.34 cm<sup>-1</sup>, indicado por 372 (387.8 cm<sup>-1</sup> (MOLINA-SÁNCHEZ; WIRTZ, 2011), cujo modo possui uma representação irredutível *E*. O segundo pico mais intenso ocorre em 396.54cm<sup>-1</sup> (indicado como 396) com representação irredutível *A*<sub>1g</sub> e o terceiro pico pode ser visto em 276.56 cm<sup>-1</sup>, indicado como 276 (288.7 cm<sup>-1</sup>(MOLINA-SÁNCHEZ; WIRTZ, 2011), correspondendo ao modo *E*. A Figura 10 mostra os perfis do espectro de espalhamento Raman calculados para o politipo 2H-MoS<sub>2</sub>, no intervalo de 0 a 500 cm<sup>-1</sup>. A principal diferença está na freqüência 13.71 cm<sup>-1</sup> (indicado como 13), que aparece relacionada ao politipo 2H-, atribuído a um modo *E*<sub>2g</sub> devido à vibração das camadas rígidas adjacentes, enquanto os outros modos vibracionais correspondem ao movimento dos grupos S-Mo-S perpendicular ao eixo *c*, exceto para o modo *A*<sub>1g</sub> (ao longo do eixo *c*). Na prática, encontramos as mesmas autofrequências entre a absorção

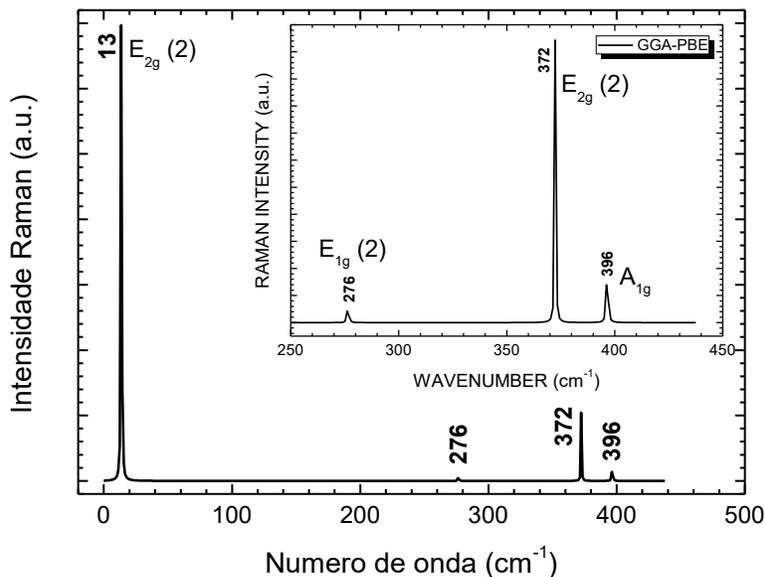
infravermelho e o espalhamento Raman, exceto para o modo  $E_{2g}$  na Figura 10, para o politipo 2H- do  $\text{MoS}_2$ , devido às interações intermoleculares (entre camadas) conhecidas como Davydov *splitting* (DAVYDOV, 2008), que é tipicamente observado em cristais de camadas (*layered crystals*).

Figura 9. Espectro Raman do politipo 3R- $\text{MoS}_2$  no intervalo de 250 a 500  $\text{cm}^{-1}$ . Os números correspondem aos modos normais de vibração mostrados na Tabela 2



Fonte: elaboração própria

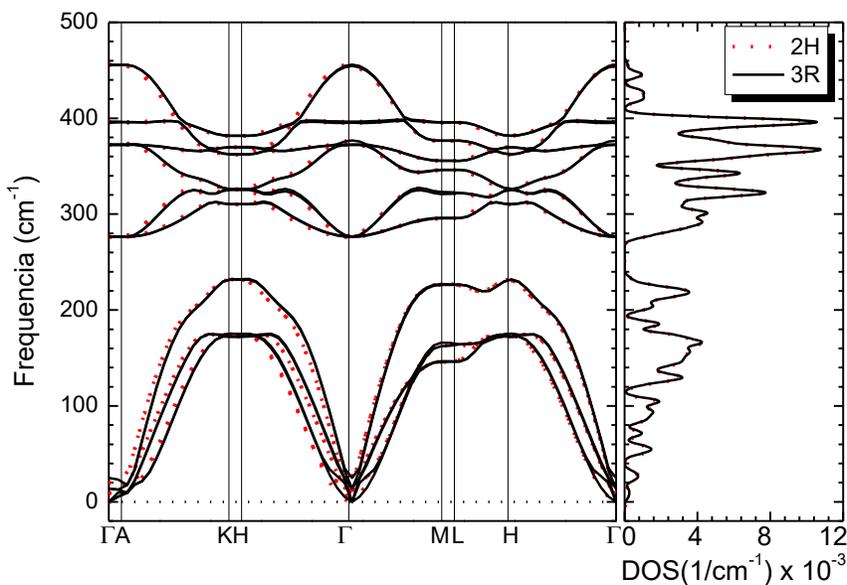
Figura 10. Espectro Raman do politipo 2H-MoS<sub>2</sub> no intervalo de 0 a 500 cm<sup>-1</sup>. Os números correspondem aos modos normais de vibração mostrados na Tabela 3.



Fonte: elaboração própria

As curvas de dispersão de fônons (Figura 11) ao longo de alguns pontos de alta simetria na 1ª zona de Brillouin (lado esquerdo) e a DOS total (lado direito) para os politipos 3R- e 2H- do MoS<sub>2</sub> são praticamente idênticas no intervalo de frequência de 0 a 500 cm<sup>-1</sup>. Isto indica que a estrutura de fônons é estável, conseqüentemente a célula primitiva está convergida no estado de mínima energia, pois todas as frequências são positivas. Os principais comportamentos das curvas de dispersão estão na presença de duas regiões de frequência, bem definidas, de 0 a 240 cm<sup>-1</sup>, com contribuições de três ramos acústicos. Conforme encontramos na literatura (MOLINA-SÁNCHEZ; WIRTZ, 2011) nas quais as curvas possuem comportamento linear quando próximas ao ponto de alta simetria  $\Gamma$ ; e a região de 260 a 460 cm<sup>-1</sup>, após um *gap* de 42 cm<sup>-1</sup>, correspondente ao caso dos modos A<sub>1g</sub> (fora do plano) e E<sub>2g</sub> (no plano). No lado direito da Figura 11, retrata-se o espectro da densidade de estado de fônons, cujos picos estão relacionados aos modos correspondentes para cada região.

Figura 11. Curvas de dispersão de fônons (lado esquerdo) e a densidade de estados de fônon (DOS) (lado direito) das estruturas 3R-MoS<sub>2</sub> (linha sólida em preto) e 2H-MoS<sub>2</sub> (linha pontilhada em vermelho) no intervalo de frequência de 0 a 500 cm<sup>-1</sup>, calculadas utilizando o funcional de troca-correlação GGA-PBE-OPIUM.



Fonte: elaboração própria

#### 4 CONCLUSÕES

Neste estudo, via simulação computacional, realizamos a otimização de geometria, calculamos as propriedades estruturais, eletrônicas, espectros infravermelho e Raman e dispersão de fônons dos politipos (fases) 3R- e 2H- do dissulfeto de molibdênio (MoS<sub>2</sub>) utilizando os funcionais de troca-correlação GGA-PBE e LDA-CAPZ empregados nos cálculos DFT e DFPT. Verificamos quanto aos parâmetros de rede que a aproximação GGA superestima os valores e a aproximação LDA subestima em comparação aos dados experimentais, mas que resultam em precisão na estimativa de *gap* de energia evidenciando o caráter semiconductor para as nanoestruturas cristal e monocamada de 2H-MoS<sub>2</sub>. As frequências

obtidas nos espectros infravermelho e Raman estão em consonância com resultados teóricos e experimentais, com as mesmas autofrequências entre a absorção IR e espalhamento Raman, devido às interações intermoleculares conhecidas como Davydov *splitting*, exceto para o modo  $E_g$  no espectro Raman para a fase 2H-MoS<sub>2</sub>. Finalmente, com a dispersão de fônons apresentou duas regiões de frequência bem definidas, sem a presença de frequências negativas, indicando a estabilidade dinâmica dos nossos sistemas.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão - FAPEMA.

## REFERÊNCIAS

ATACA, C.; SAHIN, H.; CIRACI, S. Stable, Single-Layer MX<sub>2</sub> Transition-Metal Oxides and Dichalcogenides in a Honeycomb-Like Structure. *The Journal of Physical Chemistry C*, v. 116, p. 8983-8999, mar. 2012.

BERTOLAZZI, S.; BRIVIO, J.; KIS, A. Stretching and Breaking of Ultrathin MoS<sub>2</sub>. *ACS Nano*, v. 5, p. 9703-9709, nov. 2011.

CASTELLANOS-GOMEZ, A.; POOT, M.; STEELE, G.A.; VAN DER ZANT, H.S.J.; AGRAÏT, N.; RUBIO-BOLLINGER, G. Elastic Properties of Freely Suspended MoS<sub>2</sub> Nanosheets. *Advanced Materials*, v. 24, p. 772-775, jan. 2012.

COUTINHO, S.S.; TAVARES, M.S.; BARBOZA, C.A.; FRAZÃO, N.F.; MOREIRA, E.; AZEVEDO, D.L. 3R and 2H polytypes of MoS<sub>2</sub>: DFT and DFPT calculations of structural, optoelectronic, Vibrational and thermodynamic properties. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, v. 111, p. 25-33, 2017.

DAVYDOV A. S. Theory of absorption spectra of molecular crystals. *Ukrainian Journal of Physics*. v. 58, p.65-70, *Special Issue*, 2008.

DICKINSON, R.G.; PAULING, L. The Crystal Structure of Molybdenite. *Journal of the American Chemical Society*, v. 45, p. 1466-1471, jun. 1923.

GHORBANI-ASL, M.; BORINI, S.; KUC, A.; HEINE, T. Strain-dependent modulation of conductivity in single-layer transition-metal

dichalcogenides. *Physical Review B*, v. 87, p. 235434-1--235434-6, jun. 2013.

HUANG, X.; ZENG, Z.; ZHANG, H. Metal dichalcogenide nanosheets: preparation, properties and applications. *Chemical Society Reviews*, v. 42, p. 1934-1946, jan. 2013.

JOHARI, P.; SHENOY, V.B. Tuning the Electronic Properties of Semiconducting Transition Metal Dichalcogenides by Applying Mechanical Strains. *ACS Nano*, v. 6, p. 5449-5456, maio 2012.

MARGULIS, L.; SALITRA, G.; TENNE, R.; TALIANKER, M. Nested fullerene-like structures. *Nature*, v. 365, p. 113-114, set. 1993.

MAS-BALLESTÉ, R.; GÓMEZ-NAVARRO, C.; GÓMEZ-HERRERO, J.; ZAMORA, F. 2D materials: to graphene and beyond. *Nanoscale*, v. 3, p. 20-30, set. 2011.

MOLINA-SÁNCHEZ A.; WIRTZ L. Phonons in single-layer and few-layer  $\text{MoS}_2$  and  $\text{WS}_2$ . *Physical Review B*, v. 84, p. 155413, out. 2011.

RADISAVLJEVIC, B.; KIS, A. Mobility engineering and a metal-insulator transition in monolayer  $\text{MoS}_2$ . *Nature Materials*, v. 12, p. 815-820, jun. 2013.

SCHÖNFELD, B.; HUANG, J.J.; MOSS, S.C. Anisotropic mean-square displacements (MSD) in single crystal of 2H- and 3R- $\text{MoS}_2$ . *Acta Crystallographica B*, v.B39, p. 404-407, 1983.

TENNE, R.; MARGULIS, L.; GENUT, M.; HODES, G. Polyhedral and cylindrical structures of tungsten disulphide. *Nature*, v. 360, p. 444-446, dez. 1992.

WANG, Q.H.; KALANTAR-ZADEH, K.; KIS, A.; COLEMAN, J.N., STRANO, M.S. Electronic and optoelectronic of two-dimensional transition metal dichalcogenides. *Nature Nanotechnology*, v. 7, p. 699-712. nov. 2012.

WYPYCH, F. Dissulfeto de Molibdênio, Um Material Multifuncional e Surpreendente. *Química Nova*, v. 25, n. 1, p. 83-88, 2002.

XU, M.; LIANG, T.; SHI, M.; CHEN, H. Graphene-Like Two-Dimensional Materials. *Chemical Reviews*, v. 113, p. 3766-3798, jan. 2013.

YUN, W.S.; HAN, S.W.; HONG, S.C.; KIM, I.G.; LEE, J.D. Thickness and strain effects on electronic structures of transition metal dichalcogenides: 2H- $\text{MX}_2$  semiconductors ( $M = \text{Mo}, \text{W}$ ;  $X = \text{S}, \text{Se}, \text{Te}$ ). *Physical Review B*, v. 85, p. 033305-1—033305-5, jan. 2012.

ZHOU, Y.; WANG, Z.; YANG, P.; ZU, X.; YANG, L.; SUN, X.; GAO, F. Tensile Strain Switched Ferromagnetism in Layered  $\text{NbS}_2$  and  $\text{NbSe}_2$ . *ACS Nano*, v. 6, p. 9727-9736, out. 2012.

## CAPÍTULO 13

# SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE ÓXIDOS CERÂMICOS À BASE DE $M\text{Cr}_2\text{O}_4$ , DOPADOS COM COBRE POR PROCESSO QUÍMICO

Marcelo Moizinho Oliveira<sup>1</sup>  
Meirinalva Batista Miranda Coelho<sup>2</sup>  
José Hilton Gomes Rangel<sup>3</sup>  
Emílio Azevedo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Professor Titular do Departamento Acadêmico de Química do IFMA Campus São Luís Monte Castelo e professor dos Programas de Pós-Graduação e Engenharia de Materiais e Pós-Graduação em Química.

<sup>2</sup> Professora do IFMA Campus Codó.

<sup>3</sup> Professor Titular do Departamento Acadêmico de Química do IFMA Campus São Luís Monte Castelo e professor dos Programas de Pós-Graduação em Química.

<sup>4</sup> Professor do Departamento Acadêmico de Química do IFMA Campus São Luís Monte Castelo.

### RESUMO

Pigmentos cerâmicos são compostos de natureza inorgânica. Dentre esses compostos, destacam-se as estruturas cristalinas do tipo espinélio que são amplamente utilizadas no desenvolvimento de pigmentos estáveis e quimicamente inertes. Este trabalho investigou as propriedades estruturais e ópticas de pós cerâmicos à base de  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$ , obtidos pelo método dos precursores poliméricos e da combustão. Na obtenção dos pós por combustão, foram misturadas quantidades estequiométricas dos reagentes nitrato de cobre  $[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2]$ , nitrato de cromo  $[\text{Cr}(\text{NO}_3)_3]$  e ureia  $[(\text{NH}_2)_2\text{CO}]$ , como combustível. Para o método dos precursores poliméricos, foram utilizadas quantidades estequiométricas de nitrato de cobre  $[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2]$  e nitrato de cromo  $[\text{Cr}(\text{NO}_3)_3]$  como fonte precursora dos metais, ácido cítrico ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ) e etilenoglicol ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_3$ ) na quelação e poliesterificação, respectivamente. Os pós, obtidos após tratamento térmico nas temperaturas de 500 a 1100 °C por 2h, foram caracterizados por difração de raios X (DRX), Espectroscopia na Região do Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), Microscopia Eletrônica de Varredura com canhão de elétrons por emissão de campo (MEV-FEG), Energia

dispersiva de Raios X (EDX), Fluorescência de Raios X (FRX), Espectroscopia por Reflectância difusa e Análise de Colorimetria. Os padrões de difração evidenciaram fase pura de  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$ , nas temperaturas de 900 °C e 1000 °C para os pós resultantes da reação de combustão e, no intervalo de 700 °C a 900 °C, para os pós sintetizados pelo método dos precursores poliméricos. As micrografias revelaram comportamento semelhante para os dois métodos, originando majoritariamente cristais octaédricos no intervalo de 500 a 1000 °C e, a 1100 °C, cristais hexagonais em formato de placas e poliedros irregulares. Quanto à reflectância difusa, uma forte absorção foi observada em toda a região do espectro visível, sugerindo pós com tonalidade escura. Baixos valores dos parâmetros colorimétricos,  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , confirmaram esses resultados. Os testes de aplicação em matriz cerâmica confirmaram a eficácia dos pós como pigmentos.

Palavras-chave: Pigmentos cerâmicos. Precursores poliméricos. Reação de combustão. Cromita de cobre.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento tecnológico da indústria cerâmica de revestimentos, existe grande interesse na produção de esmaltes e pigmentos uma vez que estes são, em parte, responsáveis pelas principais características estéticas do produto acabado, constituindo uma expressiva parcela no custo final destes materiais (ALBUQUERQUE *et al.*, 2016; CASQUEIRA, 2008).

Os óxidos de cromo são amplamente empregados como pigmentos em tintas, revestimentos, esmaltes, coberturas cerâmicas, elementos aditivos em concreto e outros produtos para construção, em que a cor é a principal referência. A variedade de estados de oxidação do cromo, as diferentes redes hospedeiras em que se encontra e as condições de síntese explicam sua versatilidade nas propriedades colorimétricas dos compostos.

Pigmentos verdes de óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) apresentam algumas limitações devido à tendência de volatilização durante o processo de queima. Contudo, resultados satisfatórios são obtidos quando este é associado a outras estruturas, formando sistemas como as cromitas,

óxidos mistos de estrutura do tipo espinélio normal. No caso da associação com íons de cobre, origina-se a cromita de cobre (ABREU, 2006; MATULKOVA *et al.*, 2015).

Diferentes métodos conduzem à obtenção da cromita de cobre ( $\text{CuCr}_2\text{O}_4$ ), dentre eles destacam-se o método cerâmico convencional, co-precipitação, sol-gel, Pechini, síntese hidrotérmica e reação de combustão em solução. A maioria destes métodos apresenta limitações principalmente em relação às altas temperaturas e tempo de reação (DURRANI *et al.*, 2012). O processo de síntese, o tempo e a temperatura de calcinação terão influência direta nas características do material resultante (SADEK *et al.*, 2014).

O uso de métodos que empregam baixas temperaturas e que possibilitem a formação de partículas cada vez menores têm sido de grande importância na síntese de espinélios. Esses compostos são geralmente sintetizados a altas temperaturas, pelo método cerâmico tradicional (CUI; ZAYAT; LEVY, 2005; DOLLASE; O'NEILL, 1997). O método Pechini (1967) e suas modificações, com base em precursores poliméricos, apresenta-se como excelente alternativa, por permitir a produção de óxidos homogêneos, sem exigência de calcinação a alta temperatura, bom controle estequiométrico e tamanho da partícula (GENG *et al.*, 2012; KAKIHANA; YOSHIMURA, 1999).

Outro método que se revela promissor na síntese de pigmentos é a reação de combustão em solução, que vem se destacando por permitir a formação de pós cerâmicos com boa homogeneidade química, elevada pureza, baixa temperatura de processamento, possibilidade de controle do tamanho e morfologia das partículas. Além disso, é um método simples, não necessitando de grandes aparatos experimentais nem múltiplas etapas e, ainda, sem maiores danos ambientais (GENG *et al.*, 2012; KIMINAMI, 2001).

Este trabalho teve como principal objetivo sintetizar pigmentos cerâmicos à base da cromita de cobre e avaliar a influência da temperatura na estabilidade química destes compostos, a partir de estudo comparativo entre os pós obtidos pelos métodos dos precursores poliméricos e reação de combustão em solução. Para isto, foram realizadas as calcinações dos

pós obtidos em diferentes temperaturas; o estudo das propriedades estruturais, morfológicas, químicas e ópticas por meio das técnicas de Difração de Raios X (DRX), Espectroscopia na Região do Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), Microscopia Eletrônica de Varredura com canhão de elétrons por emissão de campo (MEV-FEG), Energia dispersiva de Raios X (EDX), Fluorescência de Raios X (FRX), Reflectância Difusa e coordenadas colorimétricas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  com base no método CIE- $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ; aplicação dos pigmentos em matriz cerâmica para avaliação da aplicabilidade e estabilidade após incorporação nos vidrados.

## 2 METODOLOGIA

Na preparação dos pós cerâmicos, foram empregados os métodos dos precursores poliméricos e reação de combustão em solução. Para o método dos precursores poliméricos foram utilizadas quantidades estequiométricas de nitrato de cobre trihidratado (0,064 mols) e nitrato de cromo nonahidratado (0,129 mols), como fonte dos metais, além de ácido cítrico (0,583 mols) e etilenoglicol (0,241 mols), na quelação e poliesterificação, respectivamente. Os nitratos foram utilizados por apresentarem alta solubilidade em meio aquoso.

A relação mássica de etilenoglicol/ácido cítrico foi de 60g/40g, enquanto que a razão molar (ácido cítrico: metal) utilizada foi de 3:1. Inicialmente, o ácido cítrico foi diluído em água sob agitação constante, com temperatura entre 70 e 90 °C. Após completa dissolução, foi adicionado lentamente o nitrato de cromo e, posteriormente (após 10 minutos), o nitrato de cobre, previamente dissolvido em água. Em seguida, foi adicionado o etilenoglicol, a fim de possibilitar a polimerização pela reação de esterificação. A resina formada foi tratada a 350 °C por 2 h, com taxa de aquecimento de 10°C.min<sup>-1</sup>, sob atmosfera ambiente em forno mufla.

Após a polimerização, a resina foi pré-calcinada a 350 °C por duas horas, a uma razão de aquecimento de 10 °C.min<sup>-1</sup> em forno mufla para obtenção do precursor amorfo. Esse material foi desaglomerado em almofariz de ágata, dividido em partes iguais e submetido a um segundo

tratamento a diferentes temperaturas (500, 600, 700, 800, 900, 1000 e 1100° C) por duas horas, com razão de aquecimento a 10 °C.min<sup>-1</sup> em atmosfera ambiente.

Para obtenção dos pós cerâmicos, a partir da reação de combustão em solução, foram misturadas as seguintes quantidades estequiométricas dos reagentes: 0,021 mols de nitrato de cobre trihidratado, 0,042 mols de nitrato de cromo nonahidratado e 0,144 mols de ureia como combustível. Após a completa dissolução dos nitratos com o combustível, houve a formação de uma emulsão, a qual foi colocada em forno mufla, pré-aquecido a 400 °C para autoignição, permanecendo por 10 minutos, a fim de garantir que a reação ocorresse completamente. Após essa etapa, os pós foram desaglomerados em almofariz de ágata, separados em partes iguais e posteriormente, tratados termicamente a temperaturas de 500, 600, 700, 800, 900, 1000 e 1100° C, por 2 h com taxa de aquecimento de 10 °C.min<sup>-1</sup> sob atmosfera ambiente em forno mufla.

Para avaliar aplicabilidade e a estabilidade do pigmento ao ser incorporado em matriz cerâmica, preparou-se os revestimentos a partir da mistura dos pós obtidos nas temperaturas de 1000 e 1100 °C pelos dois métodos de síntese, com vidrados matte e transparente, na proporção de 2% em massa do pigmento para 98% do vidrado. Os componentes foram homogeneizados e dispersados em água e, em seguida, aplicados sobre o suporte cerâmico recoberto com engobe e previamente umedecidos. As peças foram submetidas a um ciclo de queima de 30 minutos à temperatura de 1100 °C em forno mufla.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX) E TAMANHO DO CRISTALITO

A Figura 1(i) apresenta os difratogramas das amostras obtidas pelo método dos precursores poliméricos e calcinadas nas temperaturas de 500 a 1100°C. Nas temperaturas de 500 e 600°C (Figuras 1(i)a e 1(i)b) são observados picos de difração correspondentes ao espinélio de estrutura tetragonal CuCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (PDF 034-0424) e, como fase secundária, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (PDF 038-1479); no intervalo de 700 a 900 °C (Figura 3.1(i)(d-e) fase única de

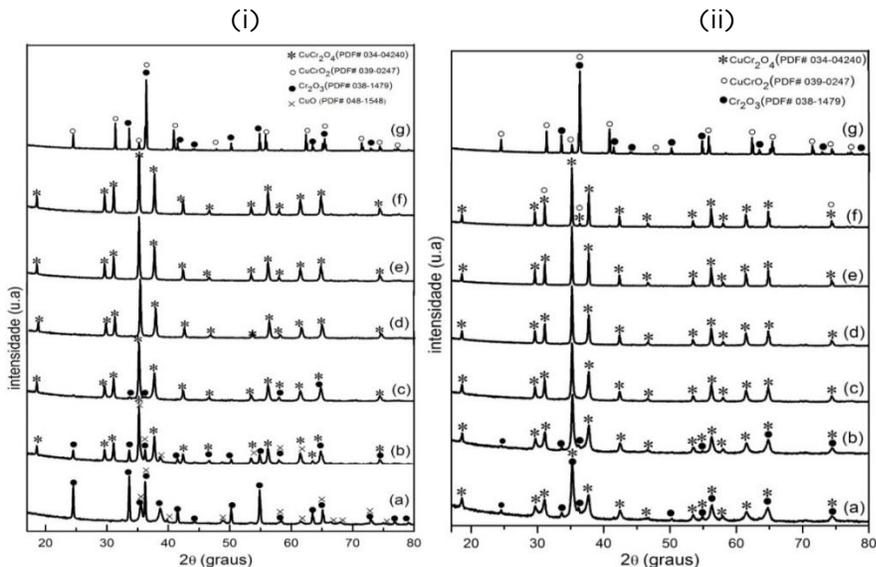
$\text{CuCr}_2\text{O}_4$ ; a  $1000^\circ\text{C}$ , os padrões de difração mostram as fases  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$  e  $\text{CuCrO}_2$  (PDF 039-0247), cuja estrutura é denominada delafossita enquanto que a  $1100^\circ\text{C}$  (Figura 3.1(i)g) os picos indexados são referentes a  $\text{CuCrO}_2$  e  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Estudos indicam que, a baixas temperaturas, a cromita de cobre apresenta relativa estabilidade. Entretanto, em temperaturas superiores a  $900^\circ\text{C}$ , o composto tem tendência à decomposição nas fases  $\text{CuCrO}_2$  e  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (JACOB; KALE; IYENGAR, 1986; LI; CHENG, 2007; STROUPE, 1949).

Na Figura 1(ii) estão dispostos os difratogramas das amostras obtidas por reação de combustão e calcinadas no intervalo de  $500$  a  $1100^\circ\text{C}$ . Os padrões de difração de raios X mostram fase pura de  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$  nas temperaturas de  $900$  e  $1000^\circ\text{C}$  (Figuras 1(ii)e e 1(ii)f); em  $500$  e  $600^\circ\text{C}$  (Figuras 1(ii)a e 1(ii)b) as fases observadas foram  $\text{CuO}$  (PDF 041-0254) e  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . No entanto, a  $600^\circ\text{C}$  verifica-se o início de formação da fase de  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$ . A  $700$  e  $800^\circ\text{C}$  (Figura 1(ii)c e 1(ii)d) as fases indexadas foram  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$  e  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , semelhantes às observadas nas temperaturas de  $500$  e  $600^\circ\text{C}$  no primeiro método. O mesmo pode ser verificado a  $1100^\circ\text{C}$  (Figura 1(ii)g).

Com a análise dos resultados obtidos e os dados da literatura, foi possível inferir que a temperatura atingida durante a reação de combustão não foi suficiente para a formação completa da fase espinélio  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$ , o que possivelmente poderá estar relacionado às características intrínsecas do sistema de reação associadas ao recipiente utilizado e ainda à fonte externa de calor (GENG *et al.*, 2012; KIMINAMI, 2001).

Os difratogramas das amostras obtidas pelos dois métodos, em se tratando da intensidade e largura dos picos, apresentaram perfis ligeiramente diferentes com o aumento da temperatura. Os picos de difração das fases obtidas por combustão se mostram mais estreitos e de maior intensidade, quando comparados aos difratogramas das amostras obtidas pelo método dos precursores poliméricos.

Figura 1. Difratogramas das amostras obtidas por precursores poliméricos (i) e reação de combustão (ii), sendo: (a) 500 °C; (b) 600 °C; (c) 700 °C; (d) 800 °C; (e) 900 °C; (f) 1000 °C; (g) 1100 °C



Fonte: elaboração própria

Na Tabela 1 é possível observar o aumento no tamanho médio do cristalito com o acréscimo da temperatura de calcinação para os dois métodos. Os valores são referentes ao pico de maior intensidade da fase  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$ . Os autores Geng *et al.* (2012), Hosseini, Abazari e Gavi *et al.* (2014) e Sathiskumar, Thomas e Madras (2012). Entre outros, assim como o presente estudo, verificaram a influência significativa da temperatura sobre o crescimento do cristalito.

Segundo Silva (2011), fatores como o tempo de combustão e a temperatura máxima de chama durante a reação determinam o tamanho médio do cristalito. O autor sugere que o crescimento dos cristalitos será mais favorecido quanto maior for o tempo e a temperatura de combustão e que o aumento excessivo da temperatura pode provocar uma pré-sinterização do material resultando em maiores tamanhos de cristalito.

Tabela 1. Resultados dos tamanhos dos cristalitos obtidos em função da temperatura de calcinação

Tamanho médio de cristalito (nm) por método de síntese	Temperatura de calcinação (°C)				
	600	700	800	900	1000
Precusores poliméricos	22,49	34,40	51,14	71,47	78,62
Reação de combustão	36,12	36,23	44,05	51,44	58,60

Fonte: Elaboração própria

### 3.2 ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FORRIER (FTIR)

Os espectros observados apresentam bandas características de vibração de  $(Cr_2O_4)^{2-}$  no intervalo de 500 a 620  $cm^{-1}$ . Essas bandas correspondem ao alongamento de vibrações das ligações Cr - O - Cu e Cr - O de  $CuCr_2O_4$  (BESHKAR; ZINATLOO-AJABSHIR; SALAVATI-NIASARI, 2015).

Para as amostras obtidas pelo método dos precursores poliméricos, é possível identificar quatro bandas no intervalo de 690 a 480  $cm^{-1}$ . Em torno de 510  $cm^{-1}$ , há início de formação de uma banda de vibração no espectro da amostra calcinada a 500 °C, sendo deslocada para 520  $cm^{-1}$  a 600 °C, 524  $cm^{-1}$  nas temperaturas de 700 e 800 °C e para 527  $cm^{-1}$  a 900 e 1000 °C. Uma segunda banda é evidenciada a 610  $cm^{-1}$  a partir de 600 °C, que se mantém praticamente na mesma posição até 1000 °C. A terceira a 560  $cm^{-1}$  nas temperaturas de 800 a 1000 °C e, uma última, a aproximadamente 700  $cm^{-1}$ .

Comportamento semelhante é observado para as amostras obtidas pela reação de combustão em solução com pequenas variações nas posições das bandas que se referem às ligações metal-oxigênio. No entanto, apresentam menor definição no intervalo de 600 a 900 °C. Vale inferir que há uma mudança no perfil do espectro da amostra calcinada a 500 °C quando comparada ao primeiro método, apresentando uma primeira banda em torno de 553  $cm^{-1}$ . A banda de vibração referente à

ligação Cr - O na temperatura de 1100 °C decresce e se desloca. Esse comportamento pode ser explicado pela mudança de estrutura com formação de  $\text{CuCrO}_2$ , como observados nos difratogramas de raios X (Figura 3.1). O mesmo pode ser observado nos espectros das amostras obtidas pelo método dos precursores poliméricos.

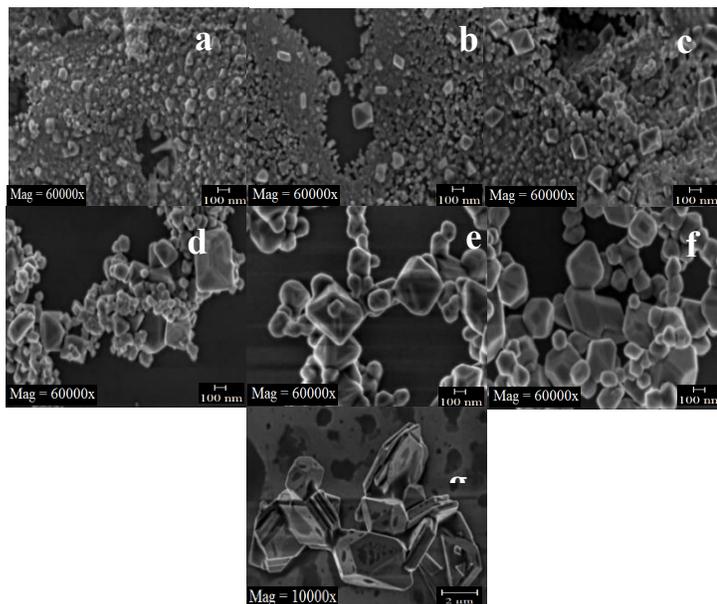
Os resultados observados nos espectros de transmitância na região do infravermelho para as amostras obtidas pelo método dos precursores poliméricos e reação de combustão em solução corroboram com a literatura, como pode ser visto nos trabalhos de Bajaj, Sharma e Bahadur (2013), que observaram bandas referentes ao alongamento das ligações Cr - O - Cu e Cr - O ( $557 \text{ cm}^{-1}$ ) e alargamento assimétrico ( $516 \text{ cm}^{-1}$ ) de uma banda a  $500 \text{ cm}^{-1}$ , característica de Cu - O. Geng *et al.* (2012) indicaram que bandas a  $610$  e  $510 \text{ cm}^{-1}$  correspondem ao alongamento da ligação Cr - O; Beshkar, Zinatloo-Ajabshir e Salavati-Niasari (2015) relataram bandas a  $529$  e  $551 \text{ cm}^{-1}$  referentes às ligações Cu - O e Cr - O, respectivamente.

### 3.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA COM CANHÃO DE ELÉTRONS POR EMISSÃO DE CAMPO (MEV-FEG)

Por meio das micrografias (Figuras 2a e 2b) das amostras obtidas pela rota dos precursores poliméricos submetidas a tratamento térmico de 500 e 600 °C, é possível observar aglomerados de partículas com formato de poliedros irregulares. No intervalo de 700 - 1000 °C (Figuras 2c - 2f), essas partículas tendem à coalescência e apresentam morfologias mais definidas com formatos de poliedros como octaédricos e romboédricos cúbicos.

As amostras preparadas por reação de combustão (Figura 3(a-g)) são semelhantes às obtidas pelo método dos precursores poliméricos (Figuras 2(a-g)). Contudo, a micrografia da amostra a 500 °C (Figura 3a) apresenta aglomerados com partícula de contornos arredondados e presença de poros. A de 600 °C (Figura 3b) os poros desaparecem.

Figura 2. Micrografias das amostras obtidas por precursores poliméricos tratadas termicamente: (a) 500 °C; (b) 600 °C; (c) 700 °C; (d) 800 °C; (e) 900 °C; (f) 1000 °C; (g) 1100 °C.



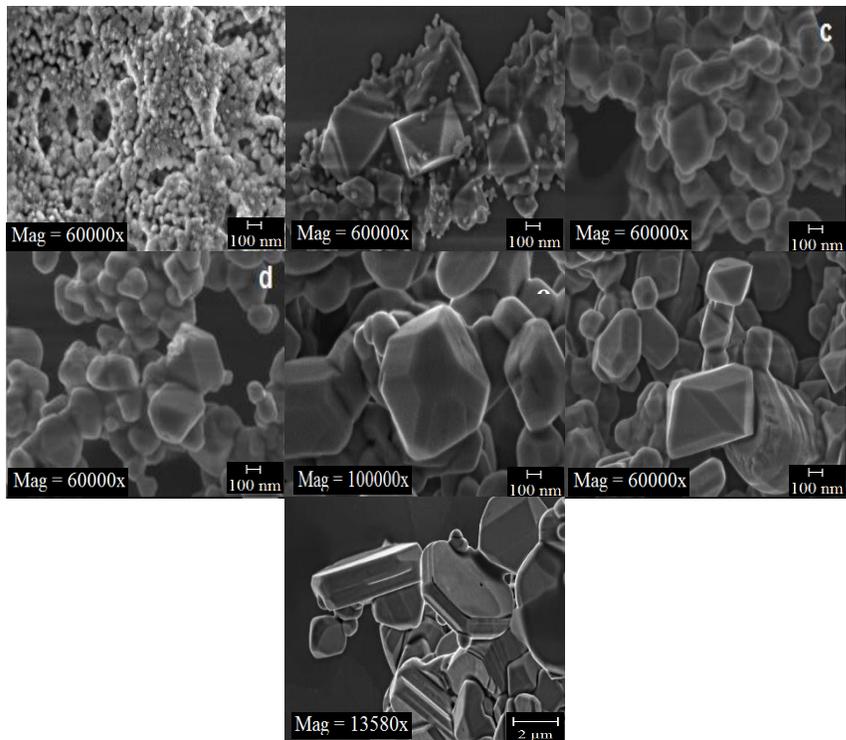
Fonte: Elaboração própria

No processo de combustão há uma evolução de gases muito maior em comparação ao método dos precursores poliméricos que tendem a formar mais aglomerados, por consistir em polimerização, o que leva à formação de menor volume de poros no material. Os poros microscópicos formados na combustão mantêm o pó fracamente aglomerado (GENG *et al.*, 2012; MALI; ATAIE, 2005; SILVA, 2011).

As micrografias que se referem à calcinação a 1100 °C (Figura 2g e 3g) das amostras obtidas pelos dois métodos de síntese confirmaram a formação da fase majoritária de  $\text{CuCrO}_2$ , caracterizada pela presença de partículas com formato hexagonal, tipo placas de estrutura do tipo delafossita e fase secundária  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , o que pode ser evidenciado pela presença de partículas com formato poliédrico irregular. Conforme a

literatura, a temperatura de calcinação desempenha um papel significativo no controle da morfologia e tamanho das partículas do material (BESHKAR; ZINATLOO-AJABSHIR; SALAVATI-NIASARI, 2015).

Figura 3. Micrografias das amostras obtidas por reação de combustão tratadas termicamente: (a) 500 °C; (b) 600 °C; (c) 700 °C; (d) 800 °C; (e) 900 °C; (f) 1000 °C; (g) 1100 °C



Fonte: Elaboração própria

### 3.4 ENERGIA DISPERSIVA DE RAIOS X (EDX) E FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X (FRX)

O estudo por Energia dispersiva revelou que os elementos estão bem distribuídos no material sintetizado, considerando as transições de fase que ocorrem no processo reacional. No geral, a relação estequiométrica Cu/Cr = 0,5 na preparação do material cerâmico pode ser evidenciada.

Os resultados da análise qualitativa da composição dos pigmentos através da técnica de Fluorescência de Raios X (FRX) permitiram identificar a composição química dos pigmentos e variações da composição decorrentes do tratamento térmico empregado na síntese do pigmento. Este resultado é esperado pela ocorrência de transições de fases à medida que as amostras são submetidas à calcinação em diferentes temperaturas.

Considerando que o percentual teórico dos elementos está em torno de 27, 44% para o Cu e 44,91% para Cr, pode-se inferir que há uma correlação entre os valores obtidos na análise por FRX e os dados teóricos percentuais desses elementos. Este fato é verificado nas temperaturas com fases puras do composto  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$  nos dois métodos, conforme dados da difração de raios X. Os resultados das amostras preparadas por combustão se encontram mais próximos dos valores teóricos, o que revela um melhor controle estequiométrico quando comparados aos resultados por precursores. Neste caso, as condições experimentais inerentes ao método possivelmente levaram a tais resultados.

Segundo a literatura, na preparação de pós à base de cromita de cobre a composição da fase está diretamente relacionada com a razão molar de Cu/Cr nos reagentes de partida, segundo o método empregado e o tratamento térmico, o que irá influenciar na cristalinidade das fases obtidas (HOSSEINI; ABAZARI; GAVI, 2014; LI; CHENG, 2007).

Com os resultados das fases cristalinas obtidas neste trabalho é possível inferir que estes se assemelham aos dados do estudo de Lim, Desu e Rastogi (2008). Os autores, relataram a partir da análise de uma seção do diagrama ternário de fase isobárica do sistema  $\text{Cu}_2\text{O} - \text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{CuO}$ , a

formação dos óxidos mistos  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$  e  $\text{CuCrO}_2$  numa relação Cu/Cr de aproximadamente 1;  $\text{CuO}$  e  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$  em temperaturas mais baixas com deficiência de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  e  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$  não estequiométrica com excesso de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  na relação Cu/Cr < 1.

Há de se considerar que estudos sobre a preparação de óxidos a partir de diferentes métodos à base do sistema  $\text{Cu}_2\text{O} - \text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{CuO}$  relatam que variáveis termodinâmicas como temperatura, pressão parcial de  $\text{O}_2$  e energia livre do sistema têm influência direta no equilíbrio das fases e no processo de preparação dos óxidos à base de Cr e Cu (AMRUTE *et al.*, 2013; JACOB; KALE; IYENGAR, 1986; LIM; DESU; RASTOGI, 2008). Assim, os resultados deste estudo corroboram com o diagrama de fase do sistema  $\text{Cu}_2\text{O} - \text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{CuO}$ , bem como com os dados da literatura.

### 3.5 REFLECTÂNCIA DIFUSA E COORDENADAS COLORIMÉTRICAS

O estudo da reflectância na região do visível mostra uma forte absorção em toda a região do espectro visível e, como consequência, a baixa reflexão, evidenciando a formação de pós com tonalidade escura para os dois métodos. Esses resultados são confirmados pelos baixos valores dos parâmetros colorimétricos,  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ .

As curvas de reflectância das amostras a  $500^\circ\text{C}$  obtidas pelo método da combustão e precursores poliméricos mostram valores que variam em toda região do visível de 5,68 - 8,36% e 6,04 - 7,13%, respectivamente. As amostras apresentam tonalidade cinza. A  $600^\circ\text{C}$  é possível identificar comportamentos distintos para os dois métodos. Há uma diminuição significativa no percentual de reflectância das amostras obtidas por combustão, entre 2,98 e 3,21%, com consequente aumento da absorção e mudança na tonalidade do pigmento de cinza para preta. No entanto, na curva do pigmento sintetizado na mesma temperatura por precursores não há mudanças significativas. Os valores estão entre 5,27 - 6,30%, permanecendo a tonalidade cinza, semelhante à obtida na temperatura de  $500^\circ\text{C}$ .

Com o aumento da temperatura para  $700^\circ\text{C}$  observa-se um comportamento diferente nos valores para a amostra sintetizada por

combustão, com reflectância máxima obtida em torno de 3,47%. O mesmo comportamento não é observado na curva obtida por precursores poliméricos, a qual apresenta o máximo de 6,20%. No intervalo de 800 a 1000°C, o comportamento das amostras apresenta forte semelhança com aumento da intensidade de absorção e diminuição dos valores da reflectância. Esses resultados comprovam a predominância da fase espinélio de  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$ . Vale inferir que a 900°C, o percentual mínimo de reflectância observado é de 2,52% para os dois métodos e o máximo de 2,88 e 2,98% para combustão e precursores, respectivamente.

As cores mais escuras, de maior intensidade, foram apresentadas pelos materiais calcinados a 900 e 1000°C (combustão) e 700 a 900°C (precursores), o que confirma um material monofásico de  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$  de coloração preta. Na temperatura de 1100°C, os valores da reflectância voltam a aumentar ficando no intervalo de 4,5 - 8,8% (combustão) e 5,07 - 9,63% (precursores). Os resultados das medidas colorimétricas podem ser verificados pela variação nos valores dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , o que resulta em um material de coloração verde, segundo os valores negativos da coordenada  $a^*$ , evidenciados nas medidas a partir da fonte iluminante  $D_{65}/10^\circ$ . As bandas de absorção e reflexão características, observadas na faixa de 450 - 650 nm, confirmam esses dados, indicando que o material está refletindo na região do verde.

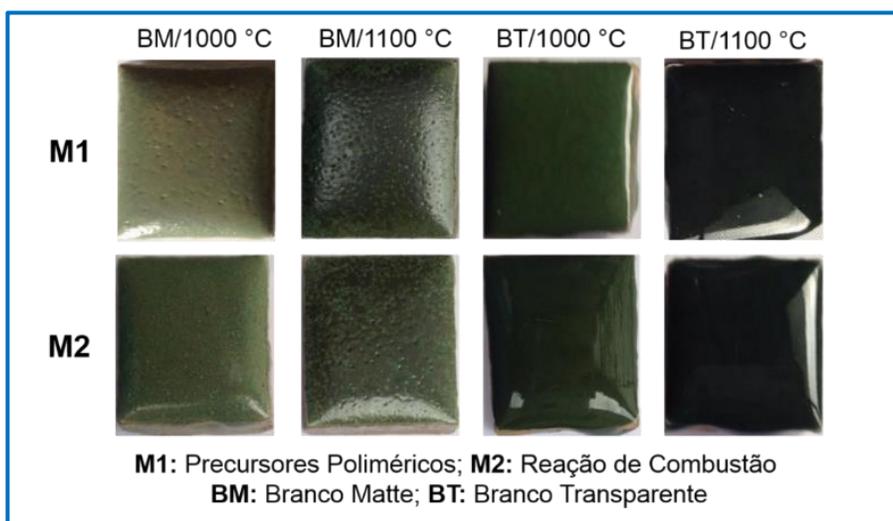
As coordenadas cromáticas dos pigmentos, obtidos pelos métodos da combustão e precursores poliméricos a partir da calcinação no intervalo de temperatura de 500 a 1100 °C, confirmam o estudo da reflectância difusa. O parâmetro  $L^*$ , que mede a luminosidade das amostras, apresenta valores indicativos de pigmentos escuros variando entre 18 a 31,2.

### 3.6 TESTE DE APLICAÇÃO DOS PIGMENTOS

Na incorporação nos vidrados cerâmicos (matte e transparente), com posterior revestimento das peças dos pós pigmentantes (Figura 4), é possível perceber comportamento semelhante quanto à tonalidade na temperatura de 1100°C, mas o mesmo não ocorre a 1000°C. Vale destacar que a 1100°C os pigmentos apresentaram as mesmas fases cristalinas nos

dois métodos de síntese. O mesmo não aconteceu para a temperatura de 1000°C como mostraram as Figuras 1(i)f e 2(ii)f referentes aos difratogramas de raios X (Figura 1). Diversos fatores podem exercer influência na estabilidade dos pigmentos, entre eles o meio no qual está disperso (base vítrea) e as condições de queima após revestimento de uma peça cerâmica (GOMES, 2005).

Figura 4. Imagens dos pigmentos incorporados ao vidrado cerâmico e revestimento das peças cerâmicas.



Fonte: elaboração própria

#### 4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos na pesquisa indicaram que a síntese dos pigmentos foi favorecida nos dois métodos experimentados, apresentando semelhantes resultados no que diz respeito tanto às características estruturais quanto ópticas. Os padrões de Difração de raios X apontaram picos de reflexão da fase de  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$  em quase todas as amostras, com exceção das temperaturas de 500°C para a combustão e 1100°C nos dois processos. A variação da temperatura provocou o aumento no tamanho

médio do cristalito e aparecimento de bandas características da cromita de cobre nos espectros no infravermelho em torno de 500 a 600  $\text{cm}^{-1}$  relacionadas às ligações metal - oxigênio, o que foi confirmado pela análise de DRX. As micrografias revelaram cristais com morfologia de poliedros octaédricos e romboédricos no intervalo de 500 a 1000°C, e a 1100°C cristais hexagonais em formato de placas e poliedros irregulares para os pigmentos preparados pelos dois métodos. A microanálise por EDX e FRX revelou uma estequiometria próxima aos valores teóricos para todas as temperaturas com fase pura, sendo que nas amostras obtidas por combustão foi evidenciado um melhor controle estequiométrico. Os resultados da reflectância difusa mostraram uma forte absorção em toda a região do espectro visível, com baixos valores no percentual de reflectância. Esses valores confirmaram a obtenção de pós com tonalidade escura que se acentua à medida que há acréscimo da temperatura, com a formação de fase pura de  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$  de tonalidade preta intensa em concordância com os valores dos parâmetros colorimétricos,  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ . Na maior temperatura de calcinação, a 1100°C, o material formado apresentou tonalidade verde característica da formação das fases de  $\text{CuCrO}_2$  e  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , segundo os valores negativos da coordenada  $a^*$ . Com os resultados obtidos neste trabalho foi possível verificar que as condições de síntese inerentes ao método experimental, a relação Cu/Cr e a temperatura de calcinação são fatores determinantes para a formação da fase pura de  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$ . Os pigmentos aplicados apresentaram semelhante comportamento com variação na tonalidade conforme o vidro utilizado. Quanto ao método empregado, a reação de combustão em solução apresentou as vantagens de ser mais rápido, de execução mais simples e com maior percentual de rendimento, em torno de 98%.

## REFERÊNCIAS

ABREU, M. A. Reciclagem do resíduo de cromo da indústria do curtume como pigmentos cerâmicos. 2006. 151 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ALBUQUERQUE, G. B. DE.; BALLMANN, T. J. S.; FOLGUERAS, M. V.; PRIM, S. R. Síntese de pigmento cerâmico verde com base na estrutura cristalina da wollastonita. *Matéria*, v. 21, n. 2, p. 355-364, 2016.

AMRUTE, A. P.; LODZIANA, Z.; MONDELLI, C.; KRUMEICH, F.; PÉREZ-RAMÍREZ, J. Solid-state chemistry of cuprous delafossites: synthesis and stability aspects. *Chemistry of Materials*, v. 21, n. 25, p. 4423-4435, oct. 2013.

BAJAJ, R.; SHARMA, M.; BAHADUR, D. Visible light-driven novel nanocomposite ( $\text{BiVO}_4/\text{CuCr}_2\text{O}_4$ ) for efficient degradation of organic dye. *Dalton Transactions*, v. 42, n. 19, p. 6736-6744, maio 2013.

BESHKAR, F.; ZINATLOO-AJABSHIR, S.; SALAVATI-NIASARI, M. Preparation and characterization of the  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$  nanostructures via a new simple route. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, v. 26, n. 7, p. 5043-5051, jul. 2015.

CASQUEIRA, R. DE G. Pigmentos Inorgânicos: propriedades, métodos de síntese e aplicações. Série Rochas e Minerais Industriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p. 46.

CUI, H.; ZAYAT, M.; LEVY, D. Sol-Gel synthesis of nanoscaled spinels using propylene oxide as a gelation agent. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, v. 35, n. 3, p. 175-181, set. 2005.

DOLLASE, W. A.; O'NEILL, H. S. C. The spinels  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$  and  $\text{CuRh}_2\text{O}_4$ . *Acta Crystallographica Section C Crystal Structure Communications*, v. 53, n. 6, p. 657-659, 1997.

DURRANI, S. K.; HUSSAIN, S.Z; SAEED, K.; KHAN, Y.; ARIF, M.; AHMED, N. Hydrothermal synthesis and characterization of nanosized transition metal chromite spinels. *Turkish Journal of Chemistry*, v. 36, n. 1, p. 111-120, 2012.

GENG, Q.; ZHAO, X.; GAO, X.; YANG, S.; LIU, G. Low-temperature combustion synthesis of  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$  spinel powder for spectrally selective paints. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, v. 61, n. 1, p. 281-288, jan. 2012.

GOMES, V. Desenvolvimento e caracterização de pigmentos cerâmicos baseados em alumina e mulita a partir da lama de anodização de alumínio. Tese. 2005. 116 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

HOSSEINI, S. G.; ABAZARI, R.; GAVI, A. Pure  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$  nanoparticles: Synthesis, characterization and their morphological and size effects on the catalytic thermal decomposition of ammonium perchlorate. *Solid State Sciences*, v. 37, p. 72-79, nov. 2014.

JACOB, K. T.; KALE, G. M.; IYENGAR, G. N. K. Oxygen potentials, Gibbs' energies and phase relations in the Cu-Cr-O system. *Journal of Materials*

Science, v. 21, n. 8, p. 2753–2758, ago. 1986.

KAKIHANA, M.; YOSHIMURA, M. Synthesis and characteristics of complex multicomponent oxides prepared by polymer complex method. Bulletin of the Chemical Society of Japan, v. 72, n. 7, p. 1427–1443, jul. 1999.

KIMINAMI, R. H. G. A. Combustion synthesis of nanopowder ceramic powders. KONA Powder and Particle Journal, v. 19, n. 19, p. 156–165, 2001.

LI, W.; CHENG, H. Cu–Cr–O nanocomposites: Synthesis and characterization as catalysts for solid state propellants. Solid State Sciences, v. 9, n. 8, p. 750–755, ago. 2007.

LIM, S. H.; DESU, S.; RASTOGI, A. C. Chemical spray pyrolysis deposition and characterization of p-type  $\text{CuCr}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_2$  transparent oxide semiconductor thin films. Journal of Physics and Chemistry of Solids, v. 69, n. 8, p. 2047–2056, ago. 2008.

MALI, A.; ATAIE, A. Influence of Fe/Ba molar ratio on the characteristics of Ba-hexaferrite particles prepared by sol-gel combustion method. Journal of Alloys and Compounds, v. 399, n. 1-2, p. 245–250, ago. 2005.

MATULKOVA, I.; HOLEC, P.; PACAKOVA, B.; KUBICKOVA, S.; NEMEC, I.; MANTLIKOVA, A.; PLOCEK, J.; NIZNANSKY, D.; VEJPRAVOVA, J. On preparation of nanocrystalline chromites by co-precipitation and autocombustion methods. Materials Science and Engineering: B, v. 195, p. 66–73, maio 2015.

SADEK, H. E. H.; KHATTAB, R.M.; GABER, A.A.; ZAWRAH, M.F. Nano  $\text{Mg}_{1-x}\text{Ni}_x\text{Al}_2\text{O}_4$  spinel pigments for advanced applications. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, v. 125, p. 353–358, maio 2014.

SATHISKUMAR, P. S.; THOMAS, C. R.; MADRAS, G. Solution combustion synthesis of nanosized copper chromite and its use as a burn rate modifier in solid propellants. Industrial & Engineering Chemistry Research, v. 51, n. 30, p. 10108–10116, jul. 2012.

SILVA, A. L. A. DA. Síntese e Caracterização de Cromitas de Lantânio Dopadas com Estrôncio e Bário para Aplicação em Células a Combustível de Óxido Sólido. 2011. 129 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

STROUPE, J. D. An X-Ray Diffraction Study of the Copper Chromites and of the “Copper-Chromium Oxide” Catalyst. Journal of the American Chemical Society, v. 71, n. 2, p. 569–572, fev. 1949.



**Mais Ciência e Inovação no Maranhão**

Coleção: FAPEMA de 2015 à 2018

**VOLUME 1**