



RESILIÊNCIA, SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO SOCIAL SOB A ÓTICA DA ENGENHARIA E AGRONOMIA

ORGANIZADORES

Tayron Juliano Souza

Bárbara Barbosa Tsuyuguchi

Wanessa Dunga de Assis

Higor Costa de Brito



RESILIÊNCIA, SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO SOCIAL SOB A ÓTICA DA ENGENHARIA E AGRONOMIA

ORGANIZADORES

Tayron Juliano Souza

Bárbara Barbosa Tsuyuguchi

Wanessa Dunga de Assis

Higor Costa de Brito

2020 - Editora Amplla

Copyright © Editora Amplla

Editor Chefe: Leonardo Pereira Tavares

Design da Capa: Editora Amplla

Projeto Gráfico e Editoração: Higor Costa de Brito

Resiliência, sustentabilidade e desenvolvimento social sob a ótica da engenharia e agronomia está licenciado sob CC BY 4.0.



Esta licença exige que as reutilizações deem crédito ao criador. Ele permite que os reutilizadores distribuam, remixem, adaptem e construam o material em qualquer meio ou formato, mesmo para fins comerciais.

O conteúdo da obra e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, não representando a posição oficial da Editora Amplla. É permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores. Todos os direitos para esta edição foram cedidos à Editora Amplla.

ISBN: 978-65-88332-19-1

Editora Amplla

Campina Grande – PB – Brasil
contato@ampllaeditora.com.br
www.ampllaeditora.com.br

CONSELHO EDITORIAL

Bergson Rodrigo Siqueira de Melo - Universidade Estadual do Ceará
Carla Caroline Alves Carvalho - Universidade Federal de Campina Grande
Cícero Batista do Nascimento Filho - Universidade Federal do Ceará
Clécio Danilo Dias da Silva - Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Daniela de Freitas Lima - Universidade Federal de Campina Grande
Denise Barguil Nepomuceno - Universidade Federal de Minas Gerais
Dylan Ávila Alves - Instituto Federal Goiano
Érica Rios de Carvalho - Universidade Católica do Salvador
Gilberto de Melo Junior - Universidade Federal de Goiás
Higor Costa de Brito - Universidade Federal de Campina Grande
Italan Carneiro Bezerra - Instituto Federal da Paraíba
Ivo Batista Conde - Universidade Estadual do Ceará
João Henriques de Sousa Júnior - Universidade Federal de Santa Catarina
Joilson Silva de Sousa - Instituto Federal do Rio Grande do Norte
José Cândido Rodrigues Neto - Universidade Estadual da Paraíba
Jose Henrique de Lacerda Furtado - Instituto Federal do Rio de Janeiro
Josenita Luiz da Silva - Faculdade Frassinetti do Recife
Luís Paulo Souza e Souza - Universidade Federal do Amazonas
Luiza Catarina Sobreira de Souza - Faculdade de Ciências Humanas do Sertão Central
Manoel Mariano Neto da Silva - Universidade Federal de Campina Grande
Marcus Vinicius Peralva Santos - Universidade Federal da Bahia
Marina Magalhães de Moraes - Universidade Federal de Campina Grande
Natan Galves Santana - Universidade Paranaense
Nathalia Bezerra da Silva Ferreira - Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
Neide Kazue Sakugawa Shinohara - Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sabryna Brito Oliveira - Universidade Federal de Minas Gerais
Samuel Miranda Mattos - Universidade Estadual do Ceará
Tatiana Paschoalette Rodrigues Bachur - Universidade Estadual do Ceará
Telma Regina Stroparo - Universidade Estadual do Centro-Oeste
Virginia Tomaz Machado - Faculdade Santa Maria de Cajazeiras
Walmir Fernandes Pereira - Miami University of Science and Technology
Wanessa Dunga de Assis - Universidade Federal de Campina Grande
Wellington Alves Silva - Universidade Estadual de Roraima
Yáscara Maia Araújo de Brito - Universidade Federal de Campina Grande
Yuciara Barbosa Costa Ferreira - Universidade Federal de Campina Grande

2020 - Editora Ampla

Copyright © Editora Ampla

Editor Chefe: Leonardo Pereira Tavares

Design da Capa: Editora Ampla

Projeto Gráfico e Editoração: Higor Costa de Brito

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sueli Costa CRB-8/5213

Souza, Tayron Juliano

Resiliência, sustentabilidade e desenvolvimento social
sob a ótica da engenharia e agronomia [livro eletrônico] /
Tayron Juliano Souza...[et al.] - Campina Grande : Editora
Ampla, 2020.

179 p.

Vários autores: Bárbara Barbosa Tsuyuguchi; Wanessa
Dunga de Assis; Higor Costa de Brito

Formato: PDF

ISBN: 978-65-88332-19-1

1. Sustentabilidade 2. Engenharia 3. Agronomia
4. Sociedade I. Tsuyuguchi, Bárbara Barbosa II. Assis,
Wanessa Dunga de III. Brito, Higor Costa de IV. Título

CDD-303

Índice para catálogo sistemático:

1. Desenvolvimento social 303

Editora Ampla
Campina Grande – PB – Brasil
contato@ampllaeditora.com.br
www.ampllaeditora.com.br



PREFÁCIO

O livro “Resiliência, sustentabilidade e desenvolvimento social sob a ótica da engenharia e agronomia” contempla uma coletânea de artigos de diversas áreas do conhecimento com um objetivo em comum: abordar aplicações nas áreas da engenharia e agronomia, e integrar os assuntos estudados aos temas resiliência, sustentabilidade e desenvolvimento social – pilares par a construção de um futuro adaptativo às mudanças impostas.

Diante da problemática ambiental crescente em virtude da globalização, as questões relacionadas ao meio ambiente, sua degradação e consequências, passaram a ser discutidas mundialmente. Em 1972, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano da Organização das Nações Unidas (ONU), foi o gatilho para uma agenda de discussões ambientais, que deu origem ao relatório de Brundtland e outros documentos, e, por conseguinte, ao conceito de sustentabilidade.

O termo resiliência foi utilizado pela primeira vez em meados do Século 18 pelo cientista Thomas Young para descrever fenômenos físicos. Atualmente, o termo recebe conceitos adaptáveis a múltiplas áreas de conhecimento. De forma geral, os dicionários definem, no sentido figurado, como “capacidade de superar, de recuperar de adversidades”.

Um sistema resiliente denota da capacidade de se responder, resistir e recuperar (ou ainda se reformular) de eventos adversos à sua natureza. Essa característica de recuperação/reformulação de sua condição inicial se alia ao conceito de sustentabilidade – equilibrar as necessidades humanas e a preservação dos recursos naturais sem comprometer as próximas gerações – por meio de uma abordagem integrada. Embora medidas para a sustentabilidade possam não garantir a resiliência de sistemas, as ações para a resiliência devem pretender também a sustentabilidade em seu processo.

A engenharia e agronomia devem incorporar processos evolutivos em suas atividades a fim de promover o desenvolvimento social. Seus projetos devem ser capazes de estreitar e aprimorar as relações entre os atores de um sistema ao promover o bem-estar social como aspecto essencial na melhoria da qualidade de vida, de forma equilibrada com a economia e o meio ambiente.



Aos leitores iniciantes na temática, o livro ajuda a despertar o interesse sobre o uso racional dos recursos naturais e fornece uma visão ampla sobre alternativas que conduzam a um desenvolvimento equilibrado através de pesquisas sob esta perspectiva. Aos leitores especialistas no assunto, o livro endossa trabalhos com arcabouço teórico e exemplos que irão agregar informações específicas e interessantes.

Os trabalhos apresentam revisões bibliográficas e discussões acerca da gestão ambiental e de técnicas e produtos que reduzem o impacto sobre o meio ambiente. Os estudos atravessam as subáreas de saneamento, reúso agrícola, produção de alimentos, pavimentos, ciência dos materiais, edificações e gestão ambiental. Estes estão sequenciados no livro de modo a permitir uma leitura fluida e mais agradável de acordo com a área de interesse.

Wanessa Dunga de Assis

Engenheira Ambiental

Mestre e Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental

Tayron Juliano Souza

Engenheiro Agrícola e Ambiental

Mestre e Doutorando em Engenharia Agrícola

Bárbara Barbosa Tsuyuguchi

Engenheira Civil

Mestre e Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - REÚSO DE ÁGUAS DE ESGOTOS TRATADOS PARA FINS AGRONÔMICOS: RELAÇÃO INTRÍNSECA COM O PRINCÍPIO DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL	8
CAPÍTULO II - ESTUDOS PRELIMINARES PARA ACONCEPÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS NO MUNICÍPIO DE CUSTÓDIA-PE	23
CAPÍTULO III - APROVEITAMENTO DO BIOGÁS PROVENIENTE DA DIGESTÃO ANAÉROBIA DE EFLUENTES LÍQUIDOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL APLICADA.....	34
CAPÍTULO IV - AVANÇOS E DESAFIOS PARA A GESTÃO AMBIENTAL MUNICIPAL NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	48
CAPÍTULO V - A IMPORTÂNCIA DA CONTABILIDADE AMBIENTAL NA ECONOMIA CIRCULAR.....	66
CAPÍTULO VI - ENDÓFITOS BACTERIANOS: UMA ALTERNATIVA AGROECOLÓGICA NO MANEJO DE COUVE (<i>BRASSICA OLERACEA</i> VAR. <i>ACEPHALA</i>)	82
CAPÍTULO VII - USO INTEGRAL DO ABACAXI (ANANAS COMOSUS) NA PRODUÇÃO DE TEMPERO	95
CAPÍTULO VIII - USO DA CARNE MECANICAMENTE SEPARADA (CMS) EM PRODUTOS CÁRNEOS	104
CAPÍTULO IX - CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO NO ENSAIO DE FLEXÃO DE UMA BLENDAS POLIMÉRICA DE POLIESTIRENO	122
CAPÍTULO X - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SISTEMAS DE FECHAMENTO PARA UMA EDIFICAÇÃO ESTRUTURADA EM AÇO	132
CAPÍTULO XI - ESTUDO DE TESTE DA RESISTÊNCIA DO PAVIMENTO ASFÁLTICO EMPREGANDO LIGANTE TIPO ASFALTO-BORRACHA PELO PROCESSO ÚMIDO	155

CAPÍTULO I

REÚSO DE ÁGUAS DE ESGOTOS TRATADOS PARA FINS AGRONÔMICOS: RELAÇÃO INTRÍNSECA COM O PRINCÍPIO DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Raylan Caminha de Vasconcelos¹

¹ Pós-graduando do curso de Engenharia Ambiental. Universidade Cândido Mendes – UCAM

RESUMO

A água é uma substância essencial para a sobrevivência de todas as espécies de vida existentes em nosso planeta Terra. Aproximadamente 80% de nosso organismo é composto por água. Ao longo da história humana, durante séculos, o homem se preocupou em obter água de qualidade e em quantidade suficiente a fim de atender suas necessidades básicas. Antigamente, com uma população mundial reduzida, havia um equilíbrio entre o que era retirado da natureza pelo ser humano e o que o meio ambiente, de forma natural, conseguia produzir. Com o passar do tempo, houve o crescimento expectável da população e conseqüentemente o aumento no consumo de água. Uma das formas de aproveitamento dos efluentes tratados é o seu reúso na agricultura, via água de irrigação que na atualidade é grande consumidora de água de boa qualidade. Sendo assim, este trabalho visa destacar e expor o mecanismo de reutilização das águas residuais e sua relação com a sustentabilidade ambiental. Pode-se constatar que a utilização de água residuária tratada é uma excelente alternativa do ponto de vista ambiental, social e econômico, tendo em vista que visa a racionalização dos recursos hídricos, garantindo assim o zelo e a preservação da água para as atuais e futuras gerações em qualidade e quantidade satisfatórios, exatamente o que prega o desenvolvimento sustentável e a sustentabilidade ambiental, estabelecendo desse modo uma conexão e conseqüentemente uma relação intrínseca entre esses conceitos.

Palavras-chave: Reúso. Águas residuárias. Sustentabilidade. Tratamento. Agronomia.

1. INTRODUÇÃO

A água é uma substância essencial para a sobrevivência de todas as espécies de vida existentes em nosso planeta Terra. Aproximadamente 80% de nosso organismo é composto por água. Ao longo da história humana, durante séculos, o homem se preocupou em obter água de qualidade e em quantidade suficiente a fim de atender suas necessidades básicas. Antigamente, com uma população mundial reduzida, havia um equilíbrio entre o que era retirado da natureza pelo ser humano e o que o meio ambiente, de forma natural, conseguia produzir. Com o passar do tempo, houve o crescimento expectável da população e conseqüentemente o aumento no consumo de

água. Diante do exposto, a água vem-se tornando uma das maiores preocupações mundiais, dada uma possível crise mundial de abastecimento (POSTEL et al., 1996). Gasi (1988) afirmou que existem diferentes alternativas para a recuperação ou tratamento de águas residuárias de origens doméstica, industrial ou agrícola, muitas delas complexas e onerosas e outras simples e de baixo custo.

Ao decorrer dos últimos 50 anos, com a expansão da população urbana e o crescimento do desenvolvimento industrial e tecnológico, as poucas fontes disponíveis de água doce do mundo estão sendo comprometidas ou correndo sério risco. Conforme Rijsberman (2006), no século XX, a população mundial triplicou ao passo que o consumo de água aumentou em seis vezes. A conclusão de diversos estudos aponta que dois terços da população mundial serão afetados pela escassez de água nas próximas décadas. Associa-se a este fator que a escassez de água é acompanhada por uma deterioração de sua condição de qualidade devido à poluição e à degradação ambiental. O aumento no consumo de águas de abastecimento permitiu um grande acréscimo no volume de águas residuárias geradas e, em decorrência, à adição de poluentes em águas naturais, torna-se necessário então formar uma conscientização da necessidade de disposição de efluentes de maneira segura e que traga benefícios a todo o planeta.

O reúso de águas na agricultura constitui uma possibilidade de expansão das áreas irrigadas, de conforto sobre a demanda de água, de minimização das fontes de contaminação dos corpos receptores e de redução de custos de produção de água potável, haja vista o elevado conteúdo de matéria orgânica (M.O.) e de nutrientes presentes nos esgotos. A necessidade de tratar os esgotos domésticos, passou a ser uma das prioridades do poder público, pelos aspectos sanitários, ambientais e estratégicos que a escassez de água provoca, principalmente nas regiões mais desenvolvidas. Uma das limitações mais comuns é o custo de construção e manutenção das unidades de tratamento, que torna uma ETE muitas vezes inviável. Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas de tratamento mais econômicas, porém com eficiências comparáveis ou melhores que dos sistemas existentes.

Torna-se necessário à aplicação de processos de tratamento que objetivem remover constituintes indesejáveis presentes nos esgotos e deixem aqueles desejáveis para os fins de um tipo de reúso específico. Os tratamentos biológicos de efluentes

líquidos está sendo cada vez mais, de maior viabilidade ambiental e de alta sustentabilidade.

Uma das formas de aproveitamento dos efluentes tratados é o seu reúso na agricultura, via água de irrigação que na atualidade é grande consumidora de água de boa qualidade. O tratamento de águas residuárias por processo biológico resulta na transformação dos constituintes complexos tais como, material orgânico em substâncias de estrutura molecular mais simples e de baixo conteúdo energético, possibilitando melhor assimilação dos nutrientes pelas plantas e não havendo a necessidade de custos com adubos minerais solúveis.

O reúso da água reduz a demanda sobre os mananciais de água devido à substituição da água potável por uma água de qualidade inferior (BRASIL, 2005). Esta prática, atualmente muito discutida e posta em evidência e já utilizada em alguns países é baseada no conceito de substituição de mananciais. Tal substituição é possível em função da qualidade requerida para um uso específico. Desta forma, grandes volumes de água potável podem ser poupados pelo reúso quando se utiliza água de qualidade inferior (geralmente efluentes pós-tratados) para atendimento das finalidades que podem prescindir de água dentro dos padrões de potabilidade (BENASSI, 2007).

Com o problema da carência hídrica no planeta, tornou-se fundamental reduzir o consumo de água, utilizá-la racionalmente e priorizar formas sustentáveis. É de suma importância gerenciar os recursos hídricos utilizados, para que estes atendam às demandas, sem causar danos à saúde ambiental (DORIGON e TESSARO, 2010).

Sendo assim, este trabalho visa destacar e expor o mecanismo de reutilização das águas residuais e sua relação com a sustentabilidade ambiental.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Águas residuárias

Água residuária é um termo usado para caracterizar os dejetos provenientes das diversas modalidades do uso e da origem das águas, tais como as de uso doméstico, comercial, industrial; as de estabelecimentos públicos, áreas agrícolas; de superfície, de infiltração, pluviais e outros efluentes sanitários (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994; JORDÃO & PESSOA, 1995; BRAGA et al., 2002).

As águas residuárias se classificam segundo sua origem, e podem ser:

- Domésticas – são aquelas que foram utilizadas para fins higiênicos provenientes de construções habitadas por seres humanos, como também de prédios públicos e comerciais;
- Industriais - são as águas provenientes de pequenas fábricas, indústrias e grandes pólos industriais;
- Áreas agrícolas - são as águas resultantes da irrigação realizada nas grandes extensões agrícolas;
- Pluviais – são as águas resultantes do escoamento superficial;
- Infiltração e vazões adicionais – são as águas provenientes do volume de água que se infiltra no subsolo, e das águas das chuvas que são descarregadas de várias fontes, como calhas, drenos e coletores.

As águas residuárias domésticas são geralmente perenes, e sua composição é essencialmente orgânica e relativamente constante quando existe controle domiciliar de água, (MENDONÇA, 1990).

2.2. Reúso de água residuárias

A água não é inesgotável, mas, a maioria dos seres humanos ainda tem insistido em fazer uso da água de forma desenfreada, muitas vezes nem a usam, apenas desperdiçam. No entanto, têm sido desenvolvidas diversas maneiras de reciclar e reutilizar água que precisam ser amplamente difundidas e implantadas o mais rápido possível em tudo e por todos, contribuindo assim para o desenvolvimento sustentável (SILVA & SANTANA, 2014).

De acordo com Lavrador Filho (1987), citado por Brega Filho e Mancuso (2003) o reúso de águas residuais pode ser conduzido de quatro maneiras diferentes:

- Reúso indireto não planejado da água: a água utilizada em atividades humanas é descarregada no meio ambiente e reutilizada, a jusante, de forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Ao caminhar até o ponto de captação para o novo usuário, a mesma está sujeita a diluição e depuração;
- Reúso indireto planejado da água: neste caso, os efluentes, depois de tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para serem utilizados a jusante, de maneira controlada, no

atendimento de algum uso benéfico. O reúso indireto planejado admite que existe algum controle sobre as novas descargas que ocorrem durante o caminho, não alterando, portanto, os requisitos de qualidade de reúso objetivado;

- Reúso direto planejado da água: os efluentes, após tratamento, são jogados diretamente no local de reúso, não sendo descarregados no meio ambiente. É o caso de maior ocorrência, destinando-se a uso em indústria ou irrigação;
- Reciclagem da água: é o caso mais comum de reúso interno da água, antes mesmo de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição. Este é um caso particular de reúso direto planejado.

2.3. Reúso de água na agricultura

A utilização de águas residuárias na agricultura teve início nas áreas rurais da Europa, América do Norte e Austrália, sendo largamente utilizada no final do século XIX e início do século XX, no entanto, as técnicas foram deixadas de lado com surgimento de novas e avançadas tecnologias de tratamento e pelos riscos intrínsecos a esta prática, a qual retornou às vias de discussão devido aos problemas de escassez de água em regiões áridas e semiáridas aliados às demandas cada vez maiores (SANDRI; MATSURA; TESTEZLAF, 2007).

A grande quantidade de águas residuárias, produzidas pelos sistemas de tratamento de esgoto, oferece um grande potencial para o uso dos esgotos tratados na irrigação, promovendo, dessa forma, uma menor utilização de água própria para outros consumos, de primeira necessidade para o homem.

A reutilização ou reúso de água ou ainda em outra forma de expressão, o uso de águas residuárias, não é um conceito novo e tem sido praticado em todo o mundo há muitos anos. Há relatos de sua prática na Grécia Antiga, com a disposição de esgotos e sua utilização na irrigação. Contudo, a demanda crescente por água tem feito do reúso planejado da água um tema atual e de grande importância (SANTOS, 1993). Neste sentido, deve-se considerar o reúso de água como parte de uma atividade mais abrangente que é o uso racional ou eficiente da água, o qual compreende também o controle de perdas e desperdícios, e a minimização da produção de resíduos e do consumo de água (BRASIL, 2007).

No Brasil, o uso consuntivo da água para agricultura reflete em grandes preocupações aos gestores de recursos hídricos, pois atualmente se apresenta como a atividade de maior demanda, em torno de 70% podendo chegar a 80% nos próximos anos (MANCUSO; SANTOS, 2003, p. 38). O uso de águas residuárias na agricultura, além de fornecer a quantidade de água necessária às plantas sem a utilização de água tratada ou natural, incorpora nutrientes ao solo, principalmente fósforo e nitrogênio (SABESP, 2009, p. 6).

As águas residuárias proveniente de esgoto, quando utilizadas na irrigação passam pelo processo de autodepuração no complexo de solo, formado pelas plantas, microrganismos e o próprio solo, este processo inclui a absorção pelas plantas dos nutrientes presentes (ANDRADE NETO, 1997).

O Brasil, a partir da promulgação da Lei nº 9.433/1997 que instituiu a Política Nacional Recursos Hídricos (PNRH), também ofereceu fundamentos jurídicos para a racionalização do uso e, conseqüentemente, condicionantes legais para o reúso da água, alternativa viável na preservação e na conservação ambiental. A Lei tem, como um de seus objetivos, “a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável”. Define também, como conteúdo mínimo dos planos de recursos hídricos, “as metas de racionalização de uso, o aumento da quantidade e a melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis” (SANTOS et al., 2008).

De acordo com Hespanhol (2002) 70% das águas consumidas no Brasil são destinados à agricultura e ainda que reúso de água na agricultura seja muito provável que até o final da década este índice chegue próximo aos 80%. Segundo o autor, o reúso consciente e planejado de águas de baixa qualidade, ou seja, provenientes de drenagem agrícola, águas salobras, de chuva e esgotos domésticos e industriais, constitui o mais moderno e eficaz instrumento de gestão para garantir a sustentabilidade da gestão dos recursos hídricos nacionais.

A utilização de esgotos tratados na irrigação é uma alternativa bastante atrativa. A aplicação da água e dos nutrientes contidos nos efluentes de ETEs pode reduzir o consumo de água de boa qualidade e ao mesmo tempo substituir a necessidade de fertilizantes comerciais (PAGANINI, 2003).

Segundo Bastos et al. (2003) e León & Cavallini (1996), a utilização controlada de esgotos sanitários tratados apresenta diversas vantagens, dentre as quais se destacam:

- Economia de água facilitando outros usos (prioridade - abastecimento humano).
 - Constitui uma prática de reciclagem de nutrientes, proporcionando economia de insumos, como, fertilizantes na agricultura e piscicultura.
- Contribui para o aumento da produção de alimentos, para a recuperação de áreas improdutivas e para a ampliação das áreas irrigadas.
- Contribui para a preservação e a proteção do meio ambiente: (i) minimiza o lançamento de esgotos em cursos de águas, diminuindo as cargas poluidoras, a contaminação e a eutrofização; (ii) favorece a conservação do solo e a recuperação das áreas degradadas.
- Contribui para a amenização do clima, a melhoria das condições estéticas e a ampliação das áreas de lazer em zonas urbanas (irrigação e fertilização de “Zonas verdes”, como parques públicos, jardins, campos para prática desportiva, canteiros e arborização de logradouros).

No quadro 1, estão destacados os benefícios do reúso para os setores: ambiental, social e econômico.

Quadro 1 – Benefícios do reúso para os setores: ambiental, social e econômico

Setor Beneficiado	Vantagens
Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> -Redução do lançamento de efluentes em corpos hídricos, reduzindo a contaminação dos mesmos. -Redução das demandas de águas naturais. -Aumento da disponibilidade de águas de melhor qualidade para fins mais nobres, como abastecimento público.
Social	<ul style="list-style-type: none"> -Oportunidades para empresas de serviços e equipamentos. -Geração de emprego e renda. -Marketing às empresas que adotam processos socialmente sustentáveis.
Econômico	<ul style="list-style-type: none"> -Maior conformidade com normas ambientais, melhorando a inserção no mercado internacional. -Mudanças na dinâmica de produção e consumo. -Otimização da produção com redução de gastos. -Maior competitividade. -Capacitar a validação de incentivos e redução de cobranças pelo uso da água.

Fonte: FIESP/CIESP (2004).

Segundo Guidolin (2006), dentre as desvantagens do reúso está:

- Presença excessiva de nitrogênio pode comprometer culturas pouco tolerantes;
- Elevados teores de sais dissolvidos podem provoca a salinização do solo;
- Presença de íons específicos (sódio, boro e cloretos) que provoquem toxidez a algumas culturas;
- Riscos à saúde do trabalhador e usuário dos produtos irrigados devido à contaminação com microrganismos patogênicos presentes nos esgotos.

Segundo VAN DER HOEK et al. (2002), as maiores vantagens do aproveitamento da água residuária para fins agrícolas residem na conservação da água disponível e na

possibilidade de aporte e reciclagem de nutrientes (reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos), concorrendo para a preservação do meio ambiente.

No Brasil, a prática de irrigação agrícola com águas residuárias ainda é nova, e aplicada em poucas áreas. Isto deve a principalmente pela ausência de legislação sobre o assunto e a falta de estudos relacionados à determinada área (BERTONCINI, 2008).

2.4. Fertirrigação

A fertirrigação é a técnica que permite aplicar fertilizantes às culturas numa dosagem diária, via água de irrigação. Segundo Papadopoulos (1999), a necessidade de aumentar a produtividade agrícola em virtude da demanda populacional, faz com que a prática da fertirrigação seja importante e bastante usada, sendo capaz de promover acréscimo nos rendimentos a serem alcançados. A importância do reúso no contexto da fertirrigação fica evidente ao observar que a explosão demográfica é inversamente proporcional à disponibilidade dos recursos naturais (dentre eles, a água) e de novas terras aptas à expansão agrícola.

Dentre as vantagens da fertirrigação pode-se citar: menor uso de mão-de-obra e fertilizantes, aplicação de fertilizantes no momento e no local que a planta necessita, e, em consequência, maior eficiência no uso dos nutrientes pela planta, proporcionando melhor uniformidade de aplicação. Em contrapartida, existem alguns aspectos limitantes como, a falta de recomendações apropriadas quanto às técnicas de irrigação com esgotos, ao tratamento dos solos, disponibilidade de produtos específicos e sistemas de irrigação mal dimensionados. Práticas inadequadas causam sérias consequências ao meio ambiente, entre eles a salinização e ou alcalinização das áreas irrigadas (SOUSA & SOUZA, 1993). A salinização poderá ser acelerada pelo uso de fertilizantes mais salinos, normalmente de menor custo e mais atrativo ao agricultor além do que as águas residuárias brutas e tratadas transportam cargas salinas superiores às águas normalmente usadas na irrigação.

2.5. Tratamento de águas residuárias

É necessário realizar tratamentos mínimos e avançados de acordo com os parâmetros de qualidade específicos a cada uso destinado (CUNHA et al., 2011). De acordo com o Informativo do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), os tratamentos consistem em:

- Tratamentos preliminares: retirada de material mais grosseiro como areia, sólidos grandes, óleos e graxas, utilizando grades, caixas de areia e tanques de flutuação; • Tratamentos primários: retirada de materiais sólidos em suspensão, não grosseiros, em unidades de sedimentação e decantadores;
- Tratamentos secundários: remoção de sólidos e de matéria orgânica não sedimentável e, eventualmente, nutrientes como nitrogênio e fósforo;
- Tratamentos terciários: remoção de poluentes tóxicos ou não biodegradáveis ou eliminação de poluentes não degradados no tratamento secundário;
- Desinfecção: eliminação dos patógenos que sobreviveram aos tratamentos anteriores, utilizando métodos naturais, como lagoa de maturação, ou métodos artificiais, como a radiação ultravioleta, a cloração e a ozonização.

Sendo que os sistemas existentes podem ser classificados, basicamente, em dois grandes grupos: tecnologias de sistemas simplificados ou mecanizados e processos aeróbios ou anaeróbios (exemplos: lagoas de estabilização aerada, lagoas de estabilização sem aeração, sistemas anaeróbios como é o caso do biodigestor, filtros biológicos etc.) (BNDES, 1997).

De acordo com Von Sperling (1996) os métodos de tratamento de águas residuárias são classificados em:

- ✓ Métodos físicos: Sistemas com atuação de forças físicas como gradeamento, mistura, floculação e centrifugação.
- ✓ Métodos químicos: Sistemas cuja remoção dos contaminantes é por adição de produtos químicos que promovem sua precipitação, coagulação, adsorção ou desinfecção.
- ✓ Métodos biológicos: Sistemas com atividade biológica de microrganismos anaeróbios ou aeróbios, para remoção da matéria orgânica carbonácea e desnitrificação.

No quadro 2 abaixo, estão descritos e onde são aplicados os métodos utilizados nos tratamentos de esgotos.

Quadro 2 – Métodos utilizados nos tratamentos de esgotos.

	Processo	Descrição	Aplicação
Separação sólido-líquido	Sedimentação	Sedimentação gravimétrica de partículas de matéria, floculos químicos e precipitados de suspensão.	Remoção de partículas de águas turvas maiores que 30 µm. Remoção de partículas de água maiores que 2 µm.
	Filtração	Remoção de partículas pela passagem de água através de areia ou outros poros médios.	Freqüentemente usado após a sedimentação ou coagulação – floculação.
Tratamento biológico	Tratamento biológico aeróbico	Metabolismo biológico de águas de consumo por microorganismos em um dique de aeração ou em um processo de biofilme.	Remoção de matéria orgânica dissolvida e suspensa da água servida.
	Tanque de oxidação	Tanques com 1,00 m de profundidade para mistura e penetração da luz solar.	Redução dos sólidos suspensos, DBO, bactérias patogênicas e amônia da água servida.
	Remoção de nutrientes biológicos	Combinação de processos aeróbicos, anóxicos e anaeróbicos para otimizar a conversão de orgânicos e nitrogênio da amônia para N ₂ e remoção de fósforo.	Redução do conteúdo de nutrientes da água exigida.
	Tanque de estabilização de água servida	O sistema consiste de tanques anaeróbico, facultativo e de maturação ligados em série para aumentar o tempo de retenção.	Redução dos sólidos suspensos, DBO, bactérias patogênicas e amônia da água servida. Facilidades para reúso da água na irrigação e aquicultura.
	Desinfecção	A inativação de organismos patogênicos usando oxidação química, luz ultravioleta, produtos cáusticos, calor ou processos de separação física (membranas).	Proteção da saúde pública pela remoção de organismos patogênicos.
Tratamento Avançado	Carbono ativado	Processo no qual os contaminantes são fisicamente adsorvidos na superfície do carbono ativado.	Remoção de compostos orgânicos hidrofóbicos.
	Corrente de ar	Transferência de amônia e de outros componentes voláteis da água para o ar.	Remoção de amônia e de alguns orgânicos voláteis da água.
	Permuta de íons	Permuta de íons entre uma resina e a água, usando um fluxo através de um reator.	Remoção efetiva de cátions como cálcio, magnésio, ferro, amônio e ânions como nitrato.
	Coagulação química e precipitação	Usa sais de alumínio ou de ferro, polieletrólitos e/ou ozônio para promover a desestabilização das partículas coloidais da água e precipitação de fósforo.	Formação de precipitados de fósforos e floculação de partículas para remoção pela sedimentação e filtração.
	Tratamento com cal	O uso de cal para precipitar cátions e metais da solução.	Usado para reduzir a escala de potencial da água, precipitar fósforo e modificar o pH.
	Filtração por membrana	Microfiltração, nanofiltração e ultrafiltração.	Remoção de partículas e microrganismos da água.
	Osmose reversa	Sistema de membranas para separar íons da solução baseada na pressão osmótica reversa diferencial.	Remoção de sais e minerais dissolvidos da solução; também, remoção efetiva de patogênicos.

Fonte: Adaptado de Asano, 1998, citado por CARR (2000).

Atualmente, existem diversos sistemas de tratamento de esgotos, e dentre eles o tratamento anaeróbico com reatores UASB e as lagoas de estabilização com suas variantes. Muitos países utilizam os efluentes tratados por lagoas de estabilização em série em diversas atividades, destacando-se a irrigação, a criação de peixes e a produção

de algas, pois o sistema de lagoas de estabilização, quando em boas condições de funcionamento promovem uma excelente remoção de microrganismos patogênicos, nutrientes e matéria orgânica (SANTOS, 1997).

2.6. Reutilização de águas residuárias e sustentabilidade ambiental

A palavra sustentabilidade deriva do latim *sustentare*, que significa sustentar, defender, favorecer, apoiar, conservar e/ou cuidar. Esta, objetiva o equilíbrio, a preservação do meio ambiente e o que ele pode oferecer em consonância com a qualidade de vida da população. É justamente o que propõe o reúso de águas residuárias, promover a reciclagem das águas que é o bem precioso para a vida, colaborando desse modo para o uso racional dos recursos hídricos e garantindo a preservação dos recursos para as atuais e futuras gerações em quantidade e qualidade suficientes, o que preza o princípio do desenvolvimento sustentável.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em escala mundial, a água, apesar de sua importância para a sobrevivência dos seres vivos, é um recurso cada vez mais escasso, seja pelo crescimento da população e das atividades econômicas, seja pela redução da oferta de água, especialmente em razão da poluição dos mananciais. Com isso tem a necessidade de se reutilizar a água. Através do tratamento dos efluentes pode-se fazer reúso da água residuária. A utilização de águas residuárias para os mais diversos fins já é uma realidade em diversos países do mundo e há muito tempo, inclusive no Brasil.

No Brasil, dentre os principais fatores que contribuíram para que, nos últimos anos, aumentasse o interesse pela irrigação com efluentes, se encontram a escassez de recursos hídricos, o avanço do conhecimento técnico-científico, a legislação ambiental mais rigorosa e atuante, o maior controle da poluição ambiental, a diminuição dos custos de tratamento com solo devido à atuação, disposição e fornecimento de nutrientes, e matéria orgânica às plantas, reduzindo os custos com fertilizantes químicos comerciais. Com isso, é possível concluir que o reúso de água é importante instrumento de gestão racional dos recursos hídricos, no que diz respeito ao reúso de água para fins agrícolas.

Por fim, a utilização de água residuária tratada é uma excelente alternativa do ponto de vista ambiental, social e econômico, tendo em vista que visa a racionalização dos recursos hídricos, garantindo assim o zelo e a preservação da água para as atuais e futuras gerações em qualidade e quantidade suficientes, exatamente o que prega o desenvolvimento sustentável e a sustentabilidade ambiental, estabelecendo desse modo uma conexão e conseqüentemente uma relação intrínseca entre esses conceitos.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE NETO, Cicero Onofre. **Sistemas Simples para Tratamento de Esgotos Sanitários - Experiência Brasileira**. Rio de Janeiro: ABES, 1997.
- BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; ANDRADE NETO, C. O.; VON SPERLING, M. **Utilização de esgotos tratados em irrigação: aspectos sanitários**. In: **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. PROSAB 3. ABES. Rio de Janeiro. 2003.
- BENASSI, S., Projeto de Lei nº 664/2007 **Reutilização da água nas garagens de empresas de ônibus**. Câmara Municipal de Campinas. 2007.
- BERTONCINI, E. I. **Tratamento de Efluentes e Reúso da Água no Meio Agrícola**. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária. São Paulo, v.1, n.1, p.152-169, 2008.
- BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Informe Infraestrutura. Área de Projetos de Infraestrutura. Tratamento de Esgoto: Tecnologias Acessíveis**. Nº16, 1997.
- BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P.C.S. **O conceito de reúso da água**. In: MANCUSO, P.C. S. e SANTOS, H.F.(Ed.). **Reúso da água**. Barueri: Manole, 2003. Cap.2, p.21-36.
- CARR, Richard. 2000. **Re-use of Process Water in the Food and Beverage Industries**, November 17, 2000. Pretoria, South Africa.
- CUNHA, A. H. N.; OLIVEIRA, T. H. D.; FERREIRA, R. B.; MILHARDES, A. L. M. & SILVA, S. M. D. C. **O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer-Goiânia, 7(13), 2011.
- DORIGON, E.B.; TASSARO, P. **Caracterização dos efluentes da lavagem automotiva em postos de atividade exclusiva na região AMAI – Oeste catarinense**. **Unoesc & Ciência – ACBS, Joaçaba**, v. 1, n. 1, p. 13-22, jan./jun. 2010.
- FIESP/CIESP. **Conservação e Reúso de Água – Manual de orientações para o setor empresarial**. São Paulo: FIESP/CIESP, 2004 v. 1.
- GASI, T. M. T. **Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades**. São Paulo: CETESB, 1988. 36p. (Série Manuais, 3).

- GUIDOLIN, J.C. **Reúso de efluentes**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente, 2006. s.p.
- HESPANHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.7, n. 4, p.75-95, 2002.
- LAVRADOR FILHO, J. **Contribuição para o entendimento do reúso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil**. São Paulo: Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo, 1987 (Dissertação, Mestrado) apud BREGA FILHO, D. e MANCUSO, P.C.S. O conceito de reúso da água. In: MANCUSO, P.C. S. e SANTOS, H.F.(Ed.). Reúso da água. Barueri: Manole, 2003. Cap.2, p.21-36.
- LISSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000. 653 p.
- MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Reúso de água**. São Paulo, SP: Manole, 2003.
- PAGANINI, W. S. **Reúso de água na agricultura**. In: Reúso de água. NISAM-USP. Manole. Barueri, 2003.
- PAPADOPOULOS, I. **Fertirrigação: situação atual e perspectiva para o futuro**. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.) Fertirrigação: citrus, flores e hortaliças. Guaíba: Ed. Agropecuária, 1999. cap 1, p.11-84.
- POSTEL, S. L.; DAILY, G. C.; EHRlich, P. R. **Human appropriation of renewable fresh water**. Science, v.271, p.785-788, 1996.
- RAMOS, G.P. **O reaproveitamento de água em empresas de ônibus**. Trabalho de conclusão (Gestão Ambiental) - Universidade Candido Mendes, Niterói, 2010.
- RIJSBERMAN, F. R. **Water scarcity: fact or fiction? Agricultural Water Management**, v. 80, p. 5-22, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.001>.
- SABESP: **reúso como solução ambiental, tecnológica e comercial**. Revista DAE, São Paulo, edição extra, n. 180, p. 2 - 6, ago., 2009.
- SANDRI, Delvio; MATSURA, Edson E.; TESTEZLAF, Roberto. **Desenvolvimento da alface Elisa em diferentes sistemas de irrigação com água residuária**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v.11, n.1, p.17– 29, 2007. Disponível em: Acesso em: abril de 2015.
- SANTOS, H. F. **Critérios de Qualidade da Água para Reúso**. Revista DAE 174, Dez 1993.
- SANTOS, V. A. **Rendimento do Capim Elefante (Pennisetum purpureum) irrigado com Água Residuária Tratada**. [Dissertação de mestrado – DEC – UFPB]. Campina Grande – PB. 1997. 120p.
- SANTOS, J.G.R.; SANTOS, E.C.X.R. **Agricultura orgânica: teoria e prática**. Editora da Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, 2008. 228p.

SILVA & SANTANA. **REÚSO DE ÁGUA: possibilidades de redução de consumo nas atividades domésticas.** Disponível em: <[http://tratamentodeagua.com.br/wpcontent/uploads/2016/05/RE\[USO-DE-%C3%81GUA-possibilidades-de_redu%C3%A7%C3%A3o-do-desperd%C3%ADcio-nas-atividades-dom%C3%A9sticas.pdf](http://tratamentodeagua.com.br/wpcontent/uploads/2016/05/RE[USO-DE-%C3%81GUA-possibilidades-de_redu%C3%A7%C3%A3o-do-desperd%C3%ADcio-nas-atividades-dom%C3%A9sticas.pdf)>. Acesso em: 31 jan. 2019.

SOUSA, V. F.; SOUZA, A.P. **Fertirrigação: princípios e métodos de aplicação, vantagens e limitações.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, Ilhéus, 1993. Anais. Ilhéus: SBEA, 1993. p. 2519-2528.

VAN DER HOEK, W.; HASSAN, U.M.; ENSINK, J.H.J.; FEENSTRA, S.; RASCHID-SALLY, L.; MUNIR, S.; ASLAM, R.; ALIM, N.; HUSSAIN, R.; MATSUNO, Y. **Urban wastewater: a valuable resource for agriculture. A case study from Horoonabad, Pakistan.** Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute, 2002. 29 p. (Research Report, 63).

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243p.

CAPÍTULO II

ESTUDOS PRELIMINARES PARA A CONCEPÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS NO MUNICÍPIO DE CUSTÓDIA-PE

Jessica Kaori Sasaki ¹
Higor Costa de Brito ²
Yáscara Maia Araújo de Brito ³

¹ Mestranda do Curso de Engenharia civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande – PB.

² Mestrando do Curso de Engenharia civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande – PB.

³ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande – PB.

* A primeira versão deste trabalho foi publicada nos anais do I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade (I CONIMAS) e III Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido (III CONIDIS), ano 2019.

RESUMO

As Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) têm por finalidade tratar os efluentes domésticos, para retorná-los ao meio ambiente com qualidade, contribuindo com a prevenção de doenças e a preservação dos corpos hídricos. A escolha da área mais propícia para a instalação de uma ETE é uma tarefa difícil em que são levados em consideração vários fatores. Neste sentido, o artigo objetiva estabelecer critérios para a instalação de uma estação de tratamento de esgoto. Em seguida, através de técnicas de geoprocessamento, gera-se um mapa que permite localizar espacialmente as melhores áreas para a sua construção. Primeiramente são selecionados seis critérios dos quais três tem caráter excludente, considerando áreas inadequadas, enquanto os demais levam em conta fatores construtivos e econômicos. Através do software QGis, cria-se para cada critério *buffers* - que são raios de abrangência - e por meio da ferramenta de recorte, gera-se um mapa final apresentando as áreas mais adequadas para a respectiva instalação. De modo geral, o município de Custódia, Pernambuco, apresentou uma vasta extensão de áreas propícias, localizadas principalmente ao norte do município, o que demonstra a viabilidade da construção da ETE. O mapa final permite auxiliar projetistas de empresas de saneamento e técnicos ambientais na tomada de decisão, quanto a alocação da estação, resultando em um estudo cuja metodologia é simples e pode ser facilmente replicada em outras regiões.

Palavras-chave: Saneamento. Estação de Tratamento de Esgoto. Geoprocessamento. Geotecnologias. Semiárido.

1. INTRODUÇÃO

Os serviços de saneamento básico no Brasil apresentam grande déficit, principalmente no que se refere à vertente de esgotamento sanitário (DANTAS et al., 2012). A ausência ou ineficiência desses serviços contribui fortemente para a

precariedade da saúde pública, sendo a população infantil e idosa as mais afetadas, devido a sua maior vulnerabilidade (FERREIRA et al., 2016). Na última década, as políticas públicas nacionais e internacionais vêm colocando os serviços de saneamento como prioridade (FIGUEIREDO et al., 2017).

O sistema de tratamento de esgoto tem por finalidade tratar os efluentes domésticos a fim de retorná-los ao meio ambiente com qualidade que atenda aos padrões especificados pela legislação ambiental (SOUZA et al., 2019). Um dos componentes desse sistema é a Estação de Tratamento de Esgoto que, por meio de processos químicos, físicos e biológicos, remove as cargas poluentes do efluente (ARCEIVALA, 1981; RIBEIRO et al., 2011; VON SPERLING, 2014).

A escolha da área mais propícia para a instalação de uma ETE é uma tarefa difícil que leva em consideração vários fatores, como por exemplo: a disponibilidade de área; a sua localização em relação ao local de geração dos esgotos; a distância e a capacidade de depuração do corpo receptor; a topografia da área; as características geológicas; as condições de acesso; a facilidade de aquisição do terreno (VON SPERLING, 2014). Além disso, existem diversas tecnologias utilizadas no tratamento de esgotos, que são determinantes para as características construtivas da estação.

Vale ressaltar que, com o tratamento do esgoto doméstico, surgem problemas relacionados à emissão de gases que poluem o ar, ocasionando odores incômodos e problemas de saúde aos moradores do entorno da ETE (SOUZA et al., 2019). Portanto, fatores ambientais, sociais e econômicos devem ser considerados para a instalação de uma estação de tratamento de esgoto e conciliar todos esses critérios é um grande desafio. Nesse sentido, estudos que objetivam a melhoria do saneamento no Brasil são indispensáveis, visto que os gestores muitas vezes não têm informações suficientes para o desenvolvimento de políticas públicas que possibilitem a melhoria da qualidade ambiental (DANTAS et al., 2012).

Por sua vez, uso das geotecnologias tornou-se um importante instrumento de gestão pública, segundo aponta Batistella e Moran (2008). Entre as possíveis aplicações destacam-se: o planejamento do uso da terra, análises de impactos ambientais, estabelecimento de zoneamentos, gestão de bacias hidrográficas, monitoramento de fontes poluidoras, entre outros. Desse modo, os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) adentram esse contexto como uma ferramenta que permite otimizar o processo

de escolha de áreas para implantação de ETEs, considerando diferentes critérios, além de um grande volume de dados, processados de forma rápida e eficiente.

Na realização dessa pesquisa, utilizou-se o software QGIS versão 3.2.2, por ser um software livre com código fonte aberto, tornando assim acessível o uso das técnicas de geoprocessamento empregadas no trabalho. Diante do exposto, o estudo objetiva estabelecer critérios para a instalação de uma ETE e, através do geoprocessamento, gerar um mapa que permita localizar espacialmente as melhores áreas para sua construção.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Lei N° 14.026 de 2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico, define este conceito como um “conjunto de serviços públicos, infraestruturas e sistemas operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas”. Uma infraestrutura de saneamento inexistente ou ineficiente acarreta impactos negativos à saúde da população, em especial no que concerne aos países em desenvolvimento como o Brasil (HELLER, 1998). Essa problemática transcende os efeitos sobre a saúde, uma vez que, de acordo com a WHO (2015), a cada R\$ 1,00 investido em saneamento há uma economia de R\$ 4,00 reais nos investimentos que são necessários na saúde pública.

Um grande número de doenças está associado ao saneamento ineficiente. São as chamadas Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequada (DRSAI). Dividem-se em 5 categorias, de acordo com a forma de transmissão, sendo estas: (i) doenças de transmissão feco-oral, que são as diarreias e Hepatite A; (ii) doenças transmitidas por inseto vetor, como por exemplo a Dengue e a Malária; (iii) doenças transmitidas pelo contato com a água, como é o caso da Esquistossomose e Leptospirose; (iv) doenças relacionadas com a higiene, como conjuntivites ou micoses; e (v) geo-helmintos e teníases (BRASIL, 2010).

Esses diferentes tipos de doenças surgem a partir de um saneamento ambiental inadequado, que não obedece ao princípio da universalização do acesso e efetiva prestação dos serviços de saneamento básico, disposto na Lei N° 11.445 de 2017. De acordo com o Painel Saneamento Brasil do Instituto Trata Brasil (ITB), 46,9% da população do país ainda não contava com coleta de esgoto em 2018. Quando se analisa a região Nordeste, esse

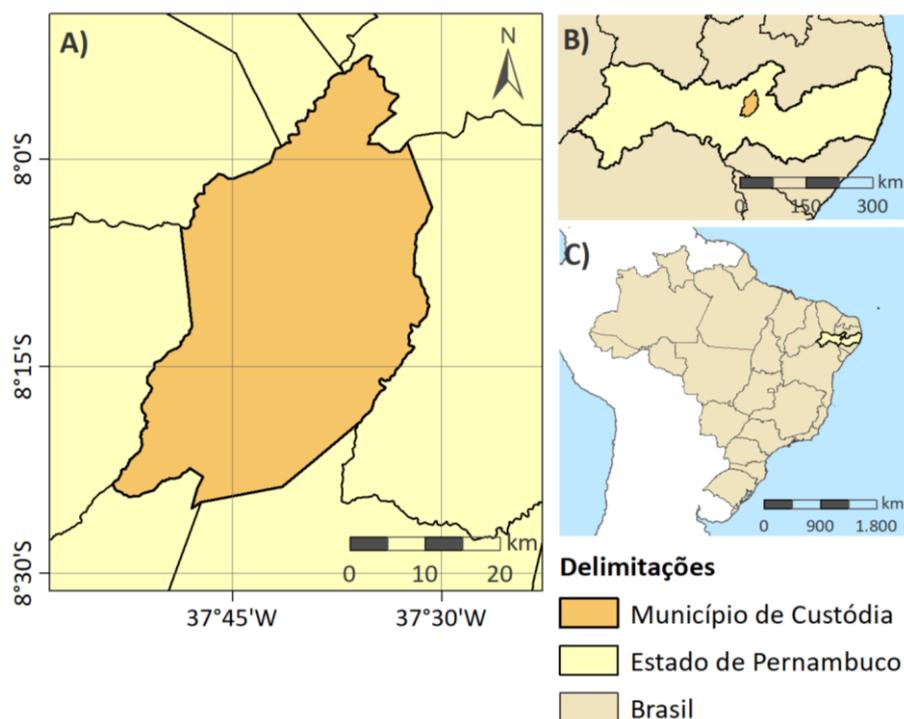
percentual sobe para 72,0%. Isso significa que mais de 70% dos esgotos dos municípios nordestinos são lançados de forma irregular no solo, nas redes de drenagem pluvial ou diretamente em corpos hídricos que, em grande parte, são utilizados para abastecimento humano.

3. METODOLOGIA

3.1. Área de estudo

A área de estudo é o município de Custódia (Figura 1), Pernambuco, localizado predominantemente no sertão pernambucano, na microrregião de Moxotó. Apresenta uma área territorial de aproximadamente 1.404 km², com uma população de 33.855 habitantes (IBGE, 2010). O clima da região é tropical semiárido quente, com temperatura média anual de 24° C. O território insere-se numa área de relevo predominantemente suave-ondulado com vegetação do tipo Caatinga Hiperxerófila (CPRM, 2019). O município não apresenta estação de tratamento de esgoto e o esgoto doméstico é lançado diretamente nos corpos hídricos (ANA, 2019).

Figura 1 – Mapa de localização: A) Município de Custódia, B) Estado de Pernambuco e C) Brasil.



Fonte: Autoria Própria.

3.2. Estabelecimento dos critérios

Para determinar a melhor localização para a implantação da ETE, inicialmente são selecionados 6 critérios (Tabela 1). Os critérios 1, 2 e 3 estabelecem áreas que são consideradas inadequadas para a instalação, portanto são excludentes. O critério 1 refere-se às regiões localizadas próximo à rede de drenagem; o critério 2 às áreas próximas aos reservatórios; e o critério 3 às regiões próximas à infraestrutura urbana. Esses fatores são considerados com o intuito de evitar a construção da ETE em áreas de preservação ambiental, nas proximidades de corpos hídricos ou adjacente às áreas urbanas, evitando problemas sociais acarretados por prováveis desapropriações.

O critério 4 corresponde à declividade do terreno e estabelece os locais onde prevalece relevo plano e suavemente ondulado. A escolha dessa característica relaciona-se aos aspectos construtivos, a fim de evitar grandes movimentações de terra.

Os critérios 5 e 6 são estabelecidos tendo em vista a identificação de áreas mais adequadas para construção da ETE, levando em consideração a logística do local, buscando evitar áreas demasiadamente distantes da sede municipal ou de rodovias, por questões econômicas provenientes da construção de condutos e estradas para acesso.

Os raios de abrangência estabelecidos para os seis critérios são baseados nos estudos de Ribeiro et al. (2018) e na resolução CONAMA N° 303 de 2002, que dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente (APPs), como mostrados na Tabela 1.

Tabela 1- Valores utilizados para cada critério.

Critério	Raio de abrangência	Características para instalação de uma ETE
1	50 metros	Áreas próximas à rede drenagem
2	100 metros	Áreas próximas aos reservatórios
3	3 quilômetros	Áreas próximas à infraestrutura urbana
4	-	Áreas de relevo plano ou suavemente ondulado
5	10 quilômetros	Distância máxima até infraestruturas urbanas
6	5 quilômetros	Distância máxima até rodovias existentes

Fonte: Elaborada a partir de Ribeiro et al. (2019) e CONAMA (2002).

3.3. Obtenção e processamento dos dados

Para a elaboração do mapa final foi utilizado o software QGIS. Primeiramente criaram-se *buffers* (raios de abrangência) para os critérios 3 e 5, que correspondem às

distâncias máximas e mínimas, limitando áreas muito próximas à sede bem como áreas muito distantes, respectivamente. A shapefile contendo os limites territoriais do município foi obtida no site do IBGE, através do link: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>.

Em seguida, utilizando a mesma ferramenta, são criados *buffers* em relação à distância dos corpos hídricos, considerando os valores mínimos estabelecidos pelos critérios 1 e 2, a partir dos vetores dos rios e massas d'água obtidos no portal de metadados da ANA (<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>).

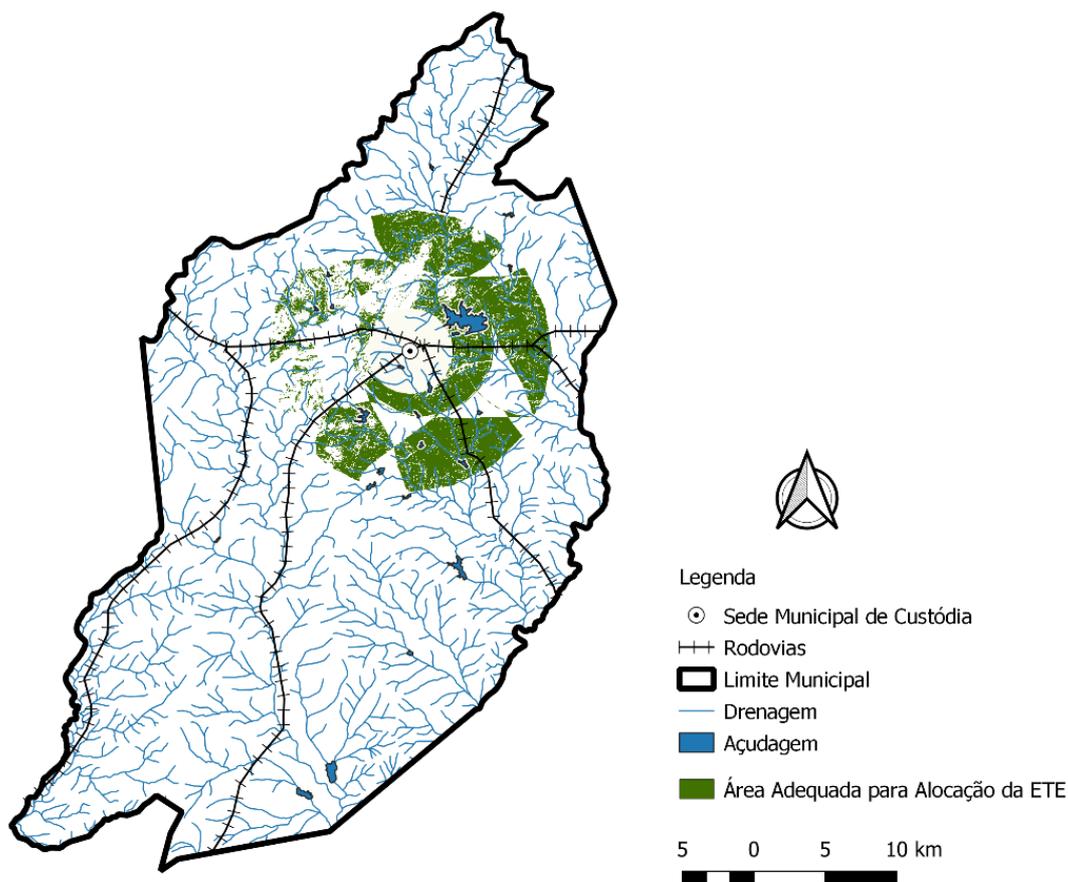
Já para o critério 4, através do Modelo Digital do Terreno (MDT), gera-se o mapa de declividade e por meio da ferramenta “calculadora raster” foi possível identificar as áreas com relevo plano e suavemente ondulado que apresentam declividade entre 0 e 8%, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2005). Para o critério 6 utilizou-se a mesmo processo de criação de *buffers*, com raio de abrangência de 5 km em relação às rodovias. O vetor contendo as rodovias georreferenciadas foi obtido no site do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - DNIT (<http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/shapefiles>).

Por fim, todos os *buffers* são combinados e através da ferramenta de recorte, gera-se um mapa que apresenta as áreas mais adequadas para a instalação da ETE, considerando todos os critérios mencionados anteriormente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado obtido (Figura 2), demonstra que as áreas mais adequadas para a instalação de uma ETE, no município de Custódia, estão concentradas na região norte do município. O fator determinante para esse resultado consiste na limitação econômica que foi estabelecida, uma vez que a instalação de uma estação muito distante dos centros urbanos ocasionaria despesas excessivas com tubulações e infraestrutura no geral.

Figura 2 - Mapa que apresenta as áreas mais adequadas para instalação de uma ETE em Custódia-PE.



Fonte: Autoria Própria.

Outro critério que limitou significativamente as áreas propícias foi a distância mínima da sede municipal. Esse limite garante que problemas relacionados a desapropriações ou desvalorização imobiliária prejudiquem a população residente. Vale ressaltar que, a depender do tipo de tecnologia utilizada no tratamento, pode ocorrer problemas relacionados a odores provenientes da estação. Portanto, a distância mínima estabelecida colabora para evitar que o mau cheiro prejudique as populações circunvizinhas.

No que se refere ao relevo nota-se, como já havia sido mencionado, a predominância de terrenos planos e suavemente ondulados que, para a finalidade estudada, correspondem a áreas adequadas para a instalação da ETE. A construção da estação em terrenos mais planos acarreta economia tanto na redução de movimentos de terra, quanto na necessidade de instalação de estações elevatórias.

De modo geral, o município em estudo apresenta uma vasta extensão de áreas adequadas para a instalação de uma ETE, o que mostra a viabilidade da sua construção, visto que a área em estudo ainda não apresenta nenhuma estação de tratamento de esgoto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com esse estudo foi possível estabelecer critérios para identificar espacialmente e de forma rápida as áreas que apresentam melhores condições para instalação de uma ETE. Os critérios definidos permitiram que o produto final gerado abrangesse diferentes categorias de análise, tanto sociais como econômicas que, por sua vez, resultam em um estudo de viabilidade simplificado.

O mapa permite auxiliar projetistas de empresas de saneamento e técnicos ambientais que objetivem alocar esse tipo de empreendimento no município. Além disso, a metodologia utilizada nesse estudo é simples e pode ser facilmente replicada em outras regiões, o que demonstra ser uma ferramenta versátil para os gestores na tomada de decisão, inclusive ao utilizar um software gratuito.

Vale ressaltar que o método utilizado pode ser adaptado, permitindo a adição de outros critérios, como a direção dos ventos, a distância aos possíveis corpos hídricos receptores do esgoto tratado e o tipo de tratamento utilizado na estação, resultando em um estudo mais aprofundado.

No contexto da escassez hídrica vivenciada no Semiárido Brasileiro, medidas como a construção de estações de tratamento de esgotos são de fundamental importância, tendo em vista que o não tratamento de efluentes domésticos acarretam a poluição dos corpos hídricos utilizados para o abastecimento, o que dessa forma inviabiliza o uso para o consumo humano ou encarece o tratamento de água necessário.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de mestrado e doutorado aos pesquisadores

envolvidos. Agradecem, também, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFCG no qual esta pesquisa foi desenvolvida.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas Esgoto: Despoluição de Bacias Hidrográficas**. 2019. Disponível em <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/atlas-esgotos>> Acesso em 5 out. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Portal de Metadados Geoespaciais. Disponível em: <<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>> Acesso em: 25 out. 2019.
- ARCEIVALA, S.J. **Wastewater treatment and disposal**. New York: Marcel Dekker, 892 p. 1981.
- BATISTELLA, M.; MORAN, E, F. **Geoinformação e monitoramento ambiental na América Latina**. São Paulo: SENAC São Paulo. 2008.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Impactos na saúde e no sistema único de saúde decorrentes de agravos relacionados a um saneamento ambiental inadequado**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 246 p. 2010.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília, DF: Presidência da República.
- BRASIL. Presidência da República. Secretaria Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Brasília, DF: Presidência da República.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS- CPRM. 2005. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrâneas Pernambuco: diagnóstico do município de Custódia. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/15924/Rel_Cust%C3%B3dia.pdf?sequence=1> Acesso em 29 ago. 2019.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 303, de 20 de mar. de 2002. Dispões sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente, Brasília-DF, mar. 2002. Disponível em:<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=299>> . Acesso em: 9 out. 2019.
- DANTAS, F. V. A.; LEONETI, A B.; OLIVEIRA, S. V. W. B.; OLIVEIRA, M. M. B. Uma análise da situação do saneamento no brasil. **FACEF Pesquisa: Desenvolvimento e Gestão**, v.15, n.3 - p.272-284, 2012.

- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. Shepefiles Brasil: mapas multimodais. Brasília: DNIT, 2013. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/shapefiles>>. Acesso em: 15 out. 2019.
- EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 306p. 2005.
- FERREIRA P. S. F.; MOTTA, P. C.; SOUZA, T. C.; SIVA, T. P.; OLIVEIRA J. F.; SANTOS, A. S. P. Avaliação preliminar dos efeitos da ineficiência dos serviços de saneamento na saúde pública brasileira. **Revista Internacional de Ciências**. v.6, n2, p.214–229, 2016.
- FIGUEIREDO, F. F.; FERREIRA, J. G. **O Saneamento Básico no Nordeste e no Rio Grande no Norte: avanços e constrangimentos**. In: XVII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, 2017, São Paulo. Anais do XVIII ENANPUR, v. 1. p. 1-20, 2017.
- HELLER, L. Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 3, n. 2, p. 73-84. 1998.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2010. IBGE: Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/panorama>>. Acesso em 25 ago. 2019.
- ITB – INSTITUTO TRATA BRASIL. Painel Saneamento Brasil, 2018. Disponível em: <<https://www.painelsaneamento.org.br/localidade/index?id=25>>. Acesso em: 08 nov. 2020.
- RIBEIRO, V. O. **Geotecnologias aplicadas ao saneamento básico**. 2011. 76f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande – MS, 2011.
- RIBEIRO, V. O.; CORREA, N. F.; CARVALHO, L. A.; PARANHOS FILHO, A. C. Identificação de Área para a Instalação de Estação de Tratamento de Esgoto em Coronel Sapucaia (MS), Utilizando Álgebra de Mapas. **Anuário do Instituto de Geociências**. v. 41, n. 2, p. 685–698, 2018.
- SOUZA, E. J. C.; SOUZA, F. B.; ZAMBRANO, G. J. D.; GARCIA, M. C. M. Modelagem de Conhecimento Locacional para Implantação de Estação de Tratamento de Esgoto : Estudo de Caso no Município de Criciúma (SC - Brasil). **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**. v.42, n.2, p.341–349, 2019.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, v. I, 4ª edição, 472 p. 2014.
- VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico das Águas Residuárias**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, v. III, 140 p. 1996.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION; UNICEF. **Water, Sanitation and Hygiene in Health Care Facilities: Status in Low and Middle Income Countries and Way Forward.** World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2015.

CAPÍTULO III

APROVEITAMENTO DO BIOGÁS PROVENIENTE DA DIGESTÃO ANAÉROBIA DE EFLUENTES LÍQUIDOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL APLICADA

Raylan Caminha de Vasconcelos¹

¹ Pós-graduando do curso de Engenharia Ambiental. Universidade Cândido Mendes – UCAM

RESUMO

Um problema que atinge várias cidades do país é a deficiência no tratamento do esgoto doméstico. Na maioria dos casos, o esgoto coletado nas áreas urbanas não recebe nenhum tipo de tratamento antes de ser despejado nos cursos d'água, gerando vários impactos ambientais. Um dos tipos de tratamento é a digestão anaeróbia é um processo biológico para tratamento de águas residuárias que tem sido muito utilizado nos últimos anos para tratamento de esgoto doméstico. O principal subproduto do processo anaeróbio é o biogás, cuja composição é, em sua maior parte, de gás carbônico (CO₂) e metano (CH₄). Dessa forma, este trabalho visa estudar a recuperação e o aproveitamento energético do biogás gerado em sistemas anaeróbios implantados em ETE. Pode-se constatar que o tratamento do biogás é de fundamental importância para a proteção da atmosfera, principalmente para a preservação do equilíbrio dos ciclos biogeoquímicos. Esse tratamento não deve ter como resultado apenas a simples redução do potencial poluidor dos gases que constituem o biogás. Há de se privilegiar e melhorar as tecnologias voltadas para o aproveitamento energético do metano que representa parte considerável do biogás. A melhoria na captação e utilização do metano existente no biogás dos processos anaeróbios beneficiará diretamente a população com a distribuição da energia elétrica excedente produzida em unidades de tratamento de esgotos, reforçando o caráter sustentável do aproveitamento energético do biogás.

Palavras-chave: Efluentes líquidos. Metano. Sustentabilidade. Desenvolvimento sustentável. Energia.

1. INTRODUÇÃO

Um problema que atinge várias cidades do país é a deficiência no tratamento do esgoto doméstico. Na maioria dos casos, o esgoto coletado nas áreas urbanas não recebe nenhum tipo de tratamento antes de ser despejado nos cursos d'água, gerando vários impactos ambientais. O esgoto deve ser direcionado às estações de tratamento de esgoto (ETEs), onde passam por uma série de processos, a fim de diminuir o seu potencial poluidor antes de retorná-lo ao meio ambiente (COSTA, 2006).

O Brasil hoje ainda sofre com problemas decorrentes da falta de acesso ao saneamento básico. Segundo o SNIS (2018), apenas 53,2% da população brasileira é atendida com coleta de esgoto. Do esgoto coletado, 69,4% passa por algum processo de tratamento. No entanto, a coleta e tratamento de esgoto são centralizadas nas regiões mais desenvolvidas, onde há maior concentração urbana.

A digestão anaeróbia é um processo biológico para tratamento de águas residuárias que tem sido muito utilizado nos últimos anos para tratamento de esgoto doméstico. O principal subproduto do processo anaeróbio é o biogás, cuja composição é, em sua maior parte, de gás carbônico (CO_2) e metano (CH_4). No Brasil, atualmente, a grande maioria das Estações de Tratamento de Esgotos Domésticos (ETE) que utilizam processos anaeróbios ou realizam a queima do biogás a fim de reduzir o impacto climático do metano ou o liberam para a atmosfera, sem que aproveitem o potencial energético contido neste gás. O biogás pode ser produzido tanto no tratamento anaeróbio da fase líquida quanto na digestão do lodo gerado nas ETE.

O aproveitamento do biogás para geração de energia também propicia o uso racional das fontes disponíveis, diminuindo a dependência de fontes externas de energia e, como ocorre a conversão do metano em dióxido de carbono, promove a redução de emissões de gases de efeito estufa, já que o metano tem potencial de aquecimento global cerca de 20 vezes maior, quando comparado ao dióxido de carbono. Como recurso renovável, o uso do biogás colabora com a não dependência de fonte de energia fóssil; aumenta a oferta e possibilita a geração descentralizada de energia próxima aos centros de carga; promove economia no processo de tratamento de esgoto, aumentando a viabilidade da implantação de serviços de saneamento básico.

Diversos países no mundo já aproveitam o potencial energético do metano gerado em processos anaeróbios como uma maneira de tornar os sistemas de tratamento sustentáveis ou até mesmo autossuficientes energeticamente. Os países desenvolvidos de clima frio são os que mais se aproveitam dessa tecnologia, como são os exemplos da Noruega (Venkatesh e Brattebo, 2011), da Suécia (Iveroth et al., 2013) e da Áustria (Nowak et al., 2014). Nos Estados Unidos, mais de 1000 estações de tratamento aproveitam o potencial energético de alguma forma, sendo que 74 chegam a gerar mais energia do que consomem, vendendo-a para o sistema elétrico (Shen et al., 2015).

No Brasil estudos para recuperação e aproveitamento energético do metano gerado em ETE são relativamente recentes, tornando necessários estudos para propor e avaliar metodologias que visem estabelecer protocolos que garantam um balanço energético mais favorável nas ETE a partir do estabelecimento de alternativas para previsão do potencial de geração, captação e utilização do gás metano gerado. O gerenciamento adequado desse gás confere benefícios não apenas energéticos, mas também climáticos e de redução do odor.

Dessa forma, este trabalho visa estudar a recuperação e o aproveitamento energético do biogás gerado em sistemas anaeróbios implantados em ETE.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Tratamento de esgotos

As águas residuais de origem doméstica, ou com características similares, são denominadas esgotos sanitários ou simplesmente esgotos. Seus diversos constituintes presentes, devido ao impacto produzido no meio ambiente, podem ser reunidos em quatro grupos: sólidos em suspensão, matéria orgânica, nutrientes e organismos patogênicos. Os efeitos desses constituintes quando lançados em excesso no meio ambiente, ou mais especificamente, nos corpos receptores, provocam conseqüências desastrosas, muitas vezes com recuperação difícil ou dispendiosa.

Realizar o tratamento de esgotos sanitários significa utilizar um ou mais processos para reduzir seu teor de impurezas de tal modo que os subprodutos finais possam ser reutilizados ou devolvidos ao meio ambiente sem que suas características sejam alteradas. Segundo Van Haandel e Lettinga (1994) o objetivo principal do tratamento de esgoto é corrigir suas características indesejáveis, de tal maneira que o uso ou a disposição final possa ocorrer de acordo com as regras e critérios definidos pelas autoridades regulamentadoras.

A primeira etapa do processo consiste em deter o material de maior porte, como galhos de árvores, objetos conduzidos e arrastados, presos nos sistemas de gradeamento, que dispõem de malhas com espaçamentos diferentes em vários níveis.

A seguir, o esgoto passa pelas caixas de areia para a retirada do material sólido granulado.

A etapa seguinte ocorre nos decantadores primários onde as partículas sólidas se sedimentam no fundo do tanque. Entretanto, algumas partículas são muito pequenas e não possuem peso suficiente para precipitar-se; por esse motivo, adiciona-se no início do processo de tratamento uma substância coagulante a fim de uni-las, formando partículas maiores e mais densas que consigam sedimentar com seu próprio peso no decantador. O tempo de residência no decantador é predeterminado e chamado “tempo de retenção”.

Os sedimentos acumulados no fundo do decantador, denominados “lodos”, são retirados pelo fundo do tanque e encaminhados para adensadores por gravidade e digestores anaeróbios. Nestes digestores, os microrganismos anaeróbios consomem a matéria orgânica constituinte do lodo. Ocorre, assim, uma diminuição de 35% a 45% em seus sólidos voláteis. O lodo é então previamente desidratado e encaminhado para filtros-prensa nos quais ocorre uma diminuição ainda maior do seu volume. Após esse processo, o lodo é encaminhado a aterros sanitários ou usado como fertilizante na agricultura.

É nos digestores, durante o processo de degradação da matéria orgânica, que ocorre a liberação de biogás (composto basicamente de metano). Geralmente, parte dele é aproveitada como combustível, muitas vezes para abastecer equipamentos da própria estação de tratamento, como, por exemplo, os secadores térmicos.

A principal vantagem do processo anaeróbio é que a degradação do material orgânico é acompanhada da produção de energia na forma de metano, enquanto a produção de lodo é muito menor quando comparada com processos aeróbios: 97% de anabolismo, contra apenas 30% no anaeróbio, segundo Van Haandel (1994). Devido às reduzidas taxas de crescimento das bactérias anaeróbias, tem-se a redução dos custos de transporte, de tratamento e de disposição final do lodo. O lodo produzido em excesso é altamente estabilizado e em geral sua capacidade de desidratação é excelente.

As empresas que utilizam o biogás proveniente do esgotamento sanitário podem adotar o sistema de cogeração de energia com utilização dos gases de exaustão para aquecimento dos digestores e do secador de lodo, aumentando a eficiência do processo

com concomitante redução de custos de instalação e possibilidade de comercialização do excedente de eletricidade (CENBIO, 2001).

Nesse sentido, as tecnologias de digestão anaeróbia e de aproveitamento do biogás têm-se revelado eficazes no tratamento e valorização de resíduos e na mitigação do efeito estufa, evitando custos ambientais correspondentes ao uso de fontes convencionais de energia elétrica.

Verifica-se, entretanto, que embora haja um potencial de aproveitamento decorrente do volume elevado de esgotos gerados, principalmente nas metrópoles, são relativamente poucos os projetos de aproveitamento do biogás em operação no Brasil e em vários países do mundo, com destaque para os Estados Unidos, Canadá e alguns centros europeus. As principais dificuldades encontradas dizem respeito à viabilidade técnica e econômica e aos problemas operacionais do sistema, indicando que ainda há espaço para o aperfeiçoamento tecnológico e o emprego dessa fonte de energia em escala regional.

O Brasil apresenta ainda dificuldades adicionais. A primeira dela condiz ao elevado déficit nos serviços de saneamento básico, especialmente em relação à coleta e tratamento de esgotos sanitários nas áreas urbanas, que hoje resulta em sérios problemas relacionados à propagação de doenças de veiculação hídrica e à mortalidade infantil.

Outra dificuldade diz respeito aos equipamentos necessários, que apresentam custos elevados por serem, em sua maioria, importados, requerendo ainda recursos para sua manutenção. Dependendo da potência instalada na estação de tratamento de esgoto e do volume de biogás gerado, o investimento torna-se muito elevado, podendo inviabilizar o projeto.

O esforço voltado ao emprego de tecnologias de aproveitamento energético de efluentes representaria também um estímulo à implantação de sistemas de tratamento de esgotos, sobretudo nas zonas periféricas das cidades, com reflexos extremamente positivos em termos sociais, ambientais e de saúde pública.

O aproveitamento energético do biogás promove a utilização ou reaproveitamento de recursos renováveis; colabora com a não dependência de fonte de energia fóssil; aumenta a oferta e possibilita a geração descentralizada de energia

próxima aos centros de carga; promove economia no processo de tratamento de esgoto, aumentando a viabilidade da implantação de serviços de saneamento básico.

As empresas do setor podem adotar o sistema de cogeração de energia com utilização dos gases de exaustão para aquecimento dos digestores e do secador de lodo, aumentando a Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável eficiência do processo, com concomitante redução de custos de instalação e possibilidade de comercialização do excedente de eletricidade (CENBIO, 2001).

Segundo von Sperling (2005), os níveis de tratamento convencional dos esgotos podem ser classificados da seguinte forma:

- Tratamento preliminar ou pré-tratamento: objetiva apenas a remoção dos sólidos grosseiros por meio de processos físicos.
- Tratamento primário: visa à remoção de sólidos sedimentáveis a partir de mecanismos físicos de remoção de poluentes.
- Tratamento secundário: tem como principal objetivo a remoção de matéria orgânica e, eventualmente, nutriente como nitrogênio e fósforo, utilizando-se processos biológicos.
- Tratamento terciário: objetiva a remoção de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis) ou ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário.

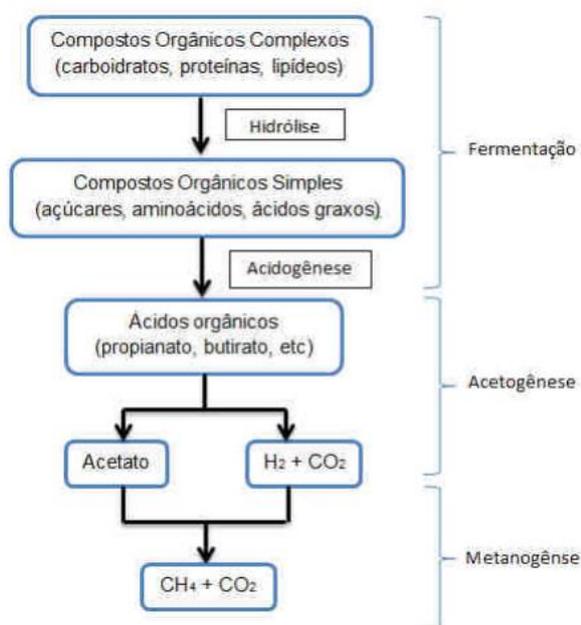
2.2. Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia da matéria orgânica é um processo complexo na qual associações entre grupos de diferentes espécies microbianas atuam de forma coordenada, transformando a matéria orgânica em, principalmente, metano e gás carbônico. Também são produzidos, nesse processo, água, gás sulfídrico e amônia (Chernicharo, 2007).

A digestão anaeróbia é relativamente sensível e requer condições de estrita falta de oxigênio (Appels et al. 2008). A digestão anaeróbia é realizada por três grupos distintos de microorganismos: as bactérias fermentadoras, as bactérias acetogênicas e as archeas metanogênicas, e ocorre de acordo com as seguintes etapas: hidrólise,

acidogênese, acetogênese e metanogênese (Gerardi, 2003; Chernicharo, 2007; Appels et al. 2008), conforme é apresentado no fluxograma da figura 1. Normalmente, a etapa limitante à taxa de decomposição da matéria orgânica e, portanto, de geração de biogás é a hidrólise (Maspolim et al., 2013; Ma et al., 2015). Que se constitui na primeira etapa da digestão anaeróbia. Nela, compostos insolúveis e particulados de cadeia longa, como carboidratos, proteínas e gorduras, são metabolizados em componentes menores por meio de enzimas extracelulares que rompem as ligações moleculares desses compostos, formando açúcares simples, ácidos graxos e aminoácidos, que são solúveis em água e podem ser mais facilmente assimilados pelos micro-organismos digestores.

Figura 1 – Esquema das etapas do processo de digestão anaeróbia



Fonte: Adaptado de Chernicharo (1997).

A segunda etapa é a acidogênese, no qual os compostos solúveis gerados na hidrólise são assimilados pelas bactérias fermentativas, que os degradam, formando gás carbônico, hidrogênio gasoso, álcoois, ácidos orgânicos e alguns compostos nitrogenados e sulfurados. Alguns dos compostos gerados nessa etapa chegam às archeas metanogênicas de forma direta e outros de forma indireta.

A via indireta é a acetogênese, na qual compostos como ácido acético, propionato e butirato são oxidados pelas bactérias acetogênicas, formando hidrogênio, dióxido de carbono e água. Já na via direta e última etapa da digestão anaeróbia, a

metanogênese, as arqueas metanogênicas digerem o acetato e o hidrogênio, produzindo metano e dióxido de carbono. Sendo assim, esses organismos são divididos em dois grupos: as metanogênicas acetoclásticas, que digerem acetato; e as metanogênicas hidrogenotróficas, que digerem hidrogênio.

2.3. O gás metano (CH₄)

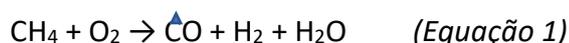
O biogás é uma mistura gasosa resultante da degradação anaeróbia da matéria orgânica dos resíduos sólidos depositados em aterros sanitários e dos efluentes industriais e esgotos domésticos tratados pelo processo anaeróbio.

O metano (CH₄) é um gás que não possui cor (incolor) nem cheiro (inodoro). Considerado um dos mais simples hidrocarbonetos, possui pouca solubilidade na água, aproximadamente 0,0645 g/L (gramas por litro) e, quando adicionado ao ar, torna-se altamente explosivo. Além disso, apresenta: peso molecular igual a 16,03 g/mol (gramas por mol), massa específica: 0,07167 kg/m³ (quilogramas por metro cúbico), poder calorífico de: 35.600 kJ/m³ (quilojoules por metro cúbico). É produzido através de processos naturais como, por exemplo: a decomposição de lixo orgânico, a digestão de animais herbívoros, o metabolismo de certos tipos de bactérias, principalmente as arqueas metanogênicas, atuantes no processo de decomposição da matéria orgânica em efluentes líquidos, a extração de combustíveis minerais (principalmente o petróleo) e o aquecimento de biomassa anaeróbica. Encontramos na atmosfera o gás metano na proporção aproximada de 1,7 ppm (partículas por milhão) ou mg/L (miligramas por litro). Como ele pode ser produzido através de matéria orgânica, pode ser chamado de biogás. Desta forma, é utilizado como fonte de energia. Um dos aspectos negativos do metano é que ele participa da formação do efeito estufa, colaborando, desta forma, para o aquecimento global. Se inalado, o metano pode causar: asfixia, parada cardíaca, inconsciência e até mesmo danos no sistema nervoso central (COOPERMITI, Melanie Grunkraut, 2013).

O gás metano (CH₄) é 21 vezes mais poluidor que o gás carbônico, mas pode ser aproveitado como um gás combustível para geradores de energia elétrica, em vez de ser jogado na atmosfera, ou simplesmente queimado.

O metano forma um radical metila (CH₃), que reage com o oxigênio, dando formaldeído (HCHO ou H₂CO). O formaldeído reage para formar o radical (HCO), que

então forma o monóxido de carbono (CO). O processo é chamado pirólise, conforme descrito por meio da equação 1:



Seguindo a pirólise oxidativa, o H₂ oxida, formando H₂O, reabastecendo a espécie ativa, e liberando calor. Isto acontece muito rapidamente, geralmente em menos de um milissegundo, conforme descrito por meio da equação 2.



Finalmente, o CO oxida-se, formando CO₂ e liberando mais calor. Este processo é geralmente mais lento que o outro processo químico e precisa de alguns poucos milissegundos para acontecer, conforme descrito através da equação 3.



Pelas reações, nota-se a vantagem no uso do biogás como combustível. Não é a inexistência do dióxido de carbono (CO₂) como produto final da reação, mas sim a eliminação da emissão de metano na atmosfera. Se utilizarmos outro combustível, além de produzirmos CO₂, continuaremos liberando enormes quantidades de CH₄.

IPCC (2006) propõe uma metodologia para estimar as emissões totais de metano no tratamento de águas residuárias em um determinado país. A equação geral para realizar esta estimativa é:

$$\text{Emissões de CH}_4 = [\sum_{i,j} (U_i * T_{i,j} * EF_j)(TOW - S) - R$$

Em que: TOW = matéria orgânica total no esgoto (kg*DBO/ano) S = matéria orgânica removida como lodo (kg*DBO/ano) U_i = fração da população no grupo de renda i i = grupo de renda j = tipo de tecnologia de tratamento utilizada EF_j = fator de emissão, (kg CH₄ / kg DBO) R = quantidade de metano recuperada (kg CH₄/ ano)

2.4. Potencial do aproveitamento energético do biogás

Atualmente, o aproveitamento, transporte e uso da energia são alguns dos aspectos mais importantes da sociedade. A energia é utilizada nas mais diversas funções, tanto domésticas, quanto comerciais e produtivas. A matriz energética global atual é baseada principalmente nos combustíveis fósseis. Segundo IPCC (2007), esses combustíveis foram responsáveis por fornecer 85% da energia primária total em 2004, em 2014, essa porcentagem era de 81,7% (IEA, 2014).

Até então, o desenvolvimento da maior parte dos países do mundo foi baseado em uma matriz energética composta principalmente por esse tipo de combustível. No entanto, o uso dos combustíveis fósseis não é sustentável em longo prazo, tanto pela eventual escassez desse recurso quanto pela questão climática e pelos efeitos da poluição.

Para que possa haver desenvolvimento no longo prazo, é preciso que ele seja sustentável, já que do contrário os recursos naturais serão esgotados e o meio ambiente será consideravelmente impactado. Nesse contexto, para ser sustentável, o desenvolvimento energético depende da aplicação de energias renováveis. Energia renovável, por definição, é qualquer tipo de energia cuja taxa de utilização antrópica e natural é menor do que a taxa com a qual essa fonte de energia é reabastecida naturalmente. De forma geral, as fontes de energia renovável são mais sustentáveis e geram menor quantidade de gases do efeito estufa IPCC (2011).

Devido ao uso primário dos combustíveis fósseis como fonte energética, fica evidente que o caminho tomado até então não foi o sustentável. No entanto, esse quadro vem mudando. Mais recentemente, constatou-se que os gases de efeito estufa estão em níveis que requerem mudanças imediatas na matriz energética mundial caso queiramos evitar graves problemas no futuro (IPCC, 2007). Essas informações têm gerado uma apreensão e conscientização mundial para reduzir a emissão desses gases. Por isso, o investimento em fontes de energia limpa tem aumentado em todo o mundo IPCC (2011). Nesse contexto, o aproveitamento energético da biomassa e, conseqüentemente do biogás, tem recebido mais atenção, não só pelo seu potencial como fonte de energia, mas também devido ao seu potencial poluidor.

De fato, a recuperação e uso do biogás gerado em sistemas anaeróbios têm grande potencial. Estações de tratamento de esgoto são constantemente abastecidas por resíduos e geralmente funcionam ininterruptamente. Isso constitui grande oportunidade, pois essas estações podem ser fontes de energia limpa, renovável, descentralizada e que ainda por cima reduzem as emissões de metano à atmosfera. Além disso, elas existem (ou pelo menos deveriam existir), em praticamente todo local que tenha ocupação humana, mesmo em lugares afastados e sem acesso à energia elétrica de forma consistente.

No Brasil, algumas poucas ETEs (tratando esgoto doméstico) possuem algum sistema de aproveitamento energético do biogás. Temos como exemplo: A ETE Ouro Verde, em Foz do Iguaçu/RS possui um sistema reduzido de geração de energia, com capacidade instalada de 20kW. A ETE Riberão Preto, por sua vez, tem um sistema de aproveitamento a partir do biogás produzido nos digestores anaeróbios de lodo com capacidade instalada de 1,5 MW. Em Belo Horizonte, a ETE Arrudas, que é a maior do estado, supre cerca de 70% da energia consumida pela estação com a energia proveniente do biogás.

As novas preocupações referentes ao aquecimento global também levaram à criação das Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), também conhecidas como “créditos de carbono”, obtidas, no Brasil através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Esses créditos permitem com que um grande emissor de gases do efeito estufa pague pela sua poluição para um agente que tenha realizado medidas positivas ao meio ambiente. A grande importância desses é que eles podem aumentar a viabilidade econômica de projetos de geração de energia com uso de biogás.

Sendo assim fica evidente como o biogás pode se tornar um instrumento vital para tornar o tratamento de esgoto mais energeticamente eficiente e até mesmo mais economicamente viável.

Segundo PROSAB (2003), existem dois usos principais para o biogás. Um é a queima direta para aquecimento e o outro é a geração de energia elétrica. Segundo Lobato (2011), podem ser caracterizados ainda outros dois tipos de uso: a cogeração de eletricidade e calor e o uso como gás combustível alternativo (gás de cozinha e combustível veicular).

A utilidade do biogás é dada pelo seu conteúdo energético, isto é, pela sua capacidade de ser queimado e produzir calor. O poder calorífico do biogás depende diretamente da concentração de metano no biogás, já que este é o seu componente que possui poder calorífico relevante.

2.5. Aproveitamento do biogás e sustentabilidade ambiental

A palavra sustentabilidade deriva do latim *sustentare*, que significa sustentar, defender, favorecer, apoiar, conservar e/ou cuidar. Esta, objetiva o equilíbrio, a preservação do meio ambiente e o que ele pode oferecer em consonância com a

qualidade de vida da população. É justamente o que propõe o aproveitamento do biogás com fins para a geração de energia elétrica, tendo em vista que esta prática colabora para a atenuação do efeito estufa, o que garante a conservação dos recursos para as atuais e futuras gerações em quantidade e qualidade suficientes, o que preza o princípio do desenvolvimento sustentável.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estações de tratamento de esgoto, em especial aquelas utilizando processos biológicos anaeróbios de tratamento, produzem biogás, que é um gás composto principalmente por metano e dióxido de carbono. O metano, por ser um gás combustível de alto potencial calorífico, torna este gás em um potencial combustível. Desta forma, o biogás pode ser uma alternativa renovável e ambientalmente correta para a matriz energética atual, baseada em recursos naturais não renováveis.

A utilização do biogás não deve ser tratada apenas como um interesse econômico, ao utilizá-lo como fonte de energia elétrica nos motores de combustão, ou ainda, apenas queimá-lo evita a emissão de gás metano para a atmosfera que possui maior potencial de poluição comparado ao dióxido de carbono.

O tratamento do biogás é de fundamental importância para a proteção da atmosfera, principalmente para a preservação do equilíbrio dos ciclos biogeoquímicos. Esse tratamento não deve ter como resultado apenas a simples redução do potencial poluidor dos gases que constituem o biogás. Há de se privilegiar e melhorar as tecnologias voltadas para o aproveitamento energético do metano que representa parte considerável do biogás.

A melhoria na captação e utilização do metano existente no biogás dos processos anaeróbios beneficiará diretamente a população com a distribuição da energia elétrica excedente produzida em unidades de tratamento de resíduos e esgotos, reforçando o caráter sustentável do aproveitamento energético do biogás.

REFERÊNCIAS

Appels L, Baeyens J, Degrève J e Dewil R. **Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge.** Progress in Energy and Combustion Science, 34 (6), 755–81. 2008.

- Chernicharo, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Reatores anaeróbios.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 380p. 2007.
- COOPERMITI-MelanieGrunkraut, 2013, In.....: http://www.coopermiti.com.br/coopermiti_admin/pdfs/d6c6f1f63b347a6489d661c14b9282a2.pdf.
- COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto.** 2006. 194 f. Dissertação (mestrado) – Programa Interunidades de PósGraduação em Energia (PIPGE), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006
- IEA. **2014 Key World Energy Statistics** pp. 6, 38. Disponível em: Acesso em 27 de setembro de 2020. 2014.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston, H.S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K. IGES, Japan. 2006.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Core writing team: Pachauri, R.K., e Reisinger, A. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p. 2007.
- Iveroth, S.P., Vernay, A.L., Mulder K.F., Brandt, N. **Implications of systems integration at the urban level: the case of Hammarby Sjöstad, Stockholm.** J. Clean. Prod., 48, 220–231. 2013.
- Lobato, L. C. S. **Aproveitamento Energético de Biogás Gerado em Reatores UASB Tratando Esgoto Doméstico** – Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais UFMG. 2011.
- Maspolim, Y., Zhou, Y., Guo, C., Xiao, K., & Ng, W. J. **Comparison of singlestage and two-phase anaerobic sludge digestion systems–Performance and microbial community dynamics.** Chemosphere. 2013.
- Nowak, O., Enderle, P., Varbanov, P. **Ways to optimize the energy balance of municipal wastewater systems: lessons learned from Austrian applications.** Journal of Cleaner Production, 88 (1), 125-131. 2015.
- PROSAB. Secagem e higienização de lodos com o aproveitamento do biogás. In: Cassini, S. T. (coordenador). **“Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás”.** PROSAB, p.121-166. 2003.

Shen, Y., et. Al. **An overview of biogas production and utilization at full-scale wastewater treatment plants (WWTPs) in the United States: Challenges and opportunities towards energy-neutral WWTPs.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 50, 346-362. 2015.

VAN HAANDEL, A. C. **Influence of the digested COD concentration on the alkalinity requirement in anaerobic digesters.** Water Science Technology nº 30, p. 23-24. _____ . Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente. Epgraf, Campina Grande, 1994. _____; VERTON, P. Eval. 1994.

Venkatesh, C., Brattebø, H. **Energy consumption, costs and environmental impacts for urban water cycle services: case study of Oslo (Norway).** Energy, 36, 792-800. 2011.

CAPÍTULO IV

AVANÇOS E DESAFIOS PARA A GESTÃO AMBIENTAL MUNICIPAL NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Manoel Mariano Neto ¹

Higor Costa de Brito ²

Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho ³

¹ Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA). Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

² Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA). Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

³ Professor Adjunto do Departamento de Engenharias e Tecnologia (DETEC). Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros (CMPF).

RESUMO

A gestão ambiental municipal tem por finalidade orientar a elaboração de políticas e instrumentos condizentes com as condições locais, além de promover a descentralização do território. Contudo, apresenta uma série de limitações, sobretudo, nos municípios de pequeno porte. Assim, este trabalho tem por objetivo analisar a gestão ambiental municipal em Encanto, no estado do Rio Grande do Norte, de modo compreender os percalços da gestão local, a partir da percepção dos gestores, e identificar os principais programas, projetos e atividades desenvolvidas. Para tanto, realizou-se aplicação de questionários à secretária de meio ambiente e ao gestor municipal, e a aplicação de um *checklist*. Constatou-se que a gestão ambiental desta localidade possui uma discussão muito recente, visto que o órgão ambiental foi criado há 3 anos e ainda não se estruturou. Outros aspectos que restringem a efetividade da política ambiental são a ausência de instrumentos normativos locais e a pouca disponibilidade de recursos financeiros. Quanto às potencialidades, cita-se as parcerias firmadas com entidades federais, estaduais e intermunicipais, e as parcerias com as instituições de ensino superior. Dentre os principais desafios a serem superados, aponta-se a criação de instrumentos jurídicos, a instituição do conselho municipal de meio ambiente e à criação do fundo municipal do meio ambiente. Outros aspectos desafiadores são a ampliação dos serviços prestados pelo órgão ambiental e ampliação do quadro de colaboradores.

Palavras-chave: Gestão ambiental municipal. Desenvolvimento local. Municípios de pequeno porte.

1. INTRODUÇÃO

As questões ambientais no contexto brasileiro começaram a ganhar relevância jurídica a partir da década de 1930, devido à criação dos códigos reguladores quanto à

exploração dos recursos naturais, e, após a Conferência de Estocolmo, quando foram criados o primeiro órgão ambiental e a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), a partir da Lei nº6.938/1981 (SANCHES et al., 2017).

A PNMA prevê a criação do Sistema Nacional do Meio Ambiente, e este por sua vez, delega atribuições aos órgãos ambientais das esferas federal, estadual e local (BRASIL, 1981). No entanto, a descentralização das responsabilidades ambientais se consolidou após a promulgação da Constituição Federal em 1988, uma vez que este marco legislativo elevou os municípios à categoria de entes federados, com a finalidade de promover a descentralização e redemocratização nacional (AZEVEDO, 2015).

Diante deste cenário, o processo de descentralização das atividades e consequente surgimento da gestão ambiental municipal são de grande importância, visto que possibilitam o desenvolvimento de políticas públicas condizentes com às realidades locais e permite a participação popular nas tomadas de decisões. Quanto à concretude frente à implementação da gestão ambiental local, entende-se a criação do Sistema Municipal de Meio Ambiente (Sismuma) como uma ferramenta indispensável (SILVA et al., 2018). Entretanto, a implementação das ferramentas de gestão ainda é um desafio para os municípios brasileiros (ANDRADE, 2015).

Assim, este trabalho estuda a gestão ambiental municipal, a partir do contexto dos municípios situados no semiárido e, para tanto, tem como objeto a ser analisado, o município de Encanto, no estado do Rio Grande do Norte. Logo, o objetivo é analisar a gestão ambiental municipal, mediante o delineamento da organização administrativa local, de modo a descrever a composição do corpo técnico, os instrumentos de gestão e as parcerias firmadas. Também se faz necessário compreender os percalços da gestão ambiental local a partir da percepção dos gestores, além de identificar os principais programas, projetos e atividades desenvolvidas pelo órgão ambiental.

Estudar esta questão se justifica por tratar de uma temática ainda fragilizada e pouco discutida, em especial nos municípios do semiárido (RODRIGUES et al., 2016). Ressalta-se ainda as contribuições para os ambientes científicos e para o âmbito no qual o estudo foi conduzido.

Além desta introdução, o trabalho apresenta outras cinco seções: Política Ambiental no Brasil, que discute a construção do arcabouço jurídico direcionado ao meio ambiente no país; Gestão Ambiental Municipal, onde é explicitada a relevância

para o desenvolvimento sustentável e descentralização do território; Materiais de Métodos, direcionado à apresentação do ambiente no qual o estudo foi desenvolvido, bem como a explanação dos procedimentos metodológicos empregados; Resultados e Discussão; Considerações Finais e Referências.

2. POLÍTICA AMBIENTAL NO BRASIL

Sob o viés ambiental, no Brasil a trajetória política se iniciou na década de 1930, com a criação do Código das Águas e o Código Florestal, o que permitiu avanços graduais quanto a criação de marcos legais e ampliação das políticas públicas ambientais. No entanto, Moura (2016) aponta que estes marcos ainda se apresentavam como normativas tangenciais focadas na exploração dos recursos naturais, o que não configura uma política pública.

Nesta perspectiva, a institucionalização da política ambiental brasileira ocorreu somente após a Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Humano, realizada em Estocolmo, em 1972 (AZEVEDO; PASQUIS; BURSZTYN, 2017). Nesta perspectiva, observa-se no âmbito nacional a criação da Secretaria Especial do Meio Ambiente, ligada diretamente à presidência da república no primeiro momento, e posteriormente, a criação das legislações ambientais, a partir da Lei nº 6.938/1981, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente - PNMA.

Como se observa, a PNMA antecede à Constituição Federal de 1988, no entanto, verifica-se que estas legislações apresentam estreita relação, visto que a Lei nº 6.938/1981 atende aos incisos VI e VII do Art.23, bem como o Art. 225.

Art. 23. É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios:

VI - proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas;

VII - preservar as florestas, a fauna e a flora. (BRASIL, 1988)

[...] Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. (BRASIL, 1988)

Dentre aos mecanismos associados a PNMA, cita-se a criação do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, que permite a descentralização das discussões das responsabilidades e cuidados com o meio ambiente, conforme as diretrizes balizadoras da Constituição. Logo, verifica-se que as atribuições são organizadas e distribuídas entre os órgãos da União, Estados e Municípios (Quadro 1).

Quadro 1 – Organização do Sisnama

Órgãos	Principais atribuições
Órgão Superior	Compreende o Conselho de Governo e, tem por finalidade, assessorar o presidente da república na formulação da política nacional e nas diretrizes governamentais para o meio ambiente e os recursos ambientais.
Órgão Consultivo e Deliberativo	É representado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), cuja finalidade é assessorar, estudar e propor ao Conselho de Governo, as diretrizes das políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais; e, deliberar, no âmbito de suas competências, sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida.
Órgão Central	É a Secretaria de Meio Ambiente da Presidência da República. Tem por finalidade planejar, coordenar, supervisionar e controlar, como órgão federal, a política nacional e as diretrizes governamentais fixadas para o meio ambiente.
Órgãos Executores	Cita-se o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA) e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Buscam executar e fazer executar a política e as diretrizes governamentais fixadas para o meio ambiente, de acordo com as respectivas competências.
Órgãos Seccionais	São os órgãos e entidades estaduais, responsáveis pela execução de programas e projetos, e, pelo controle e fiscalização de atividades capazes de provocar a degradação ambiental.
Órgãos Locais	Compreende os órgãos e entidades municipais, responsáveis pela execução de programas e projetos, e, pelo controle e fiscalização de atividades capazes de provocar a degradação ambiental na esfera municipal.

Fonte: BRASIL (1981). Adaptado pelos autores.

A partir da PNMA, explicita-se a criação de novas políticas que se direcionam às questões ambientais ao longo das décadas (Quadro 2), o que elucida o amadurecimento e a modernização nacional quanto às questões ambientais.

Quadro 2 – Evolução temporal das políticas e órgãos ambientais¹

Décadas	Avanços na questão ambiental
1970	<ul style="list-style-type: none"> • Criação da Secretaria Especial do Meio Ambiente (1973).
1980	<ul style="list-style-type: none"> • Criação da PNMA (1981); • Criação do Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente (1985); • Aprovação das primeiras normativas do Conama direcionadas aos impactos ambientais (Resoluções 01/1986 e 09/1987); • Aprovação da Constituição Federal (1988); • Criação do Fundo Nacional do Meio Ambiente (1989)
1990	<ul style="list-style-type: none"> • Início da atuação do Programa Nacional do Meio Ambiente (1991); • Realização da Eco-92 (1992); • Criação do Ministério do Meio Ambiente (1992); • Aprovação da Lei de Crimes Ambientais (1998); • Criação da Política Nacional de Educação Ambiental (1999).
Anos 2000	<ul style="list-style-type: none"> • Criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (2000); • Criação da Agência Nacional das Águas (2000); • Lançamento da Agenda 21 (2002); • Criação do Instituto Chico Mendes para a Conservação da Biodiversidade (2007); • Criação da Política Nacional de Saneamento Básico (2007); • Criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010); • Realização da Rio+20 (2012); • Criação do novo Código Florestal (2012); • Criação da Política Nacional de Combate à Desertificação (2015).

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Mesmo diante do progresso apresentado, as políticas ambientais ainda apresentam algumas fragilidades. Nesta perspectiva, Moura (2014) enfatiza que apesar de o arcabouço legal brasileiro cobrir praticamente todas as questões ambientais, há uma severa dificuldade em legislar, devido à ocorrência de conflitos entre os instrumentos e dispositivos presentes nas legislações, aspecto que inviabiliza o alcance

¹ Este quadro não tem por finalidade apresentar todos os marcos históricos acerca das políticas ambientais no Brasil. O objetivo é expressar os avanços ocorridos.

dos objetivos e dificulta a compatibilização do desenvolvimento econômico com a proteção ambiental. Ainda segundo a autora, a ausência de fiscalização efetiva limita a vasta legislação a um caráter simbólico.

3. GESTÃO AMBIENTAL MUNICIPAL

Com a criação do Sisnama, a partir da PNMA, observa-se que os municípios ganham, neste primeiro momento, a responsabilidade de prover a proteção e a qualidade ambiental local mediante controle e fiscalização das atividades potencialmente degradadoras. No entanto, esta atribuição é de fato consolidada após 1989, com a promulgação da Constituição Federal.

Ao encontro desta prerrogativa, a Constituição Federal de 1988 concede aos municípios brasileiros o título de entes federados e com isso se observa o início da redemocratização, pautada na descentralização das tomadas de decisões, bem como na efetiva participação popular. Assim, verifica-se que a gestão ambiental municipal veio de fato se consolidar após a Rio-92, de modo que o estado pioneiro foi o Rio Grande do Sul. Com isso, verifica-se que as legislações e políticas instituídas no âmbito federal necessitam de adequações às peculiaridades locais, de modo a subsidiarem políticas públicas ambientais estaduais e municipais (LEME, 2016).

Face a ascensão da gestão ambiental municipal, a política ambiental local, associada a um conjunto de estruturas organizacionais que atuem através de diretrizes normativas de modo a favorecer a interação com as esferas estadual e nacional, findam por constituir o Sistema Municipal de Meio Ambiente – Sismuma (NUNES, PHILIPPI JR; FERNANDES, 2012). Quanto à sua estrutura, os autores citam a necessidade de um órgão executivo, conselho municipal e o fundo municipal de meio ambiente, bem como o subsídio de instrumentos de gestão, tais como a Agenda 21 Local, plano diretor, zoneamento ambiental e outros.

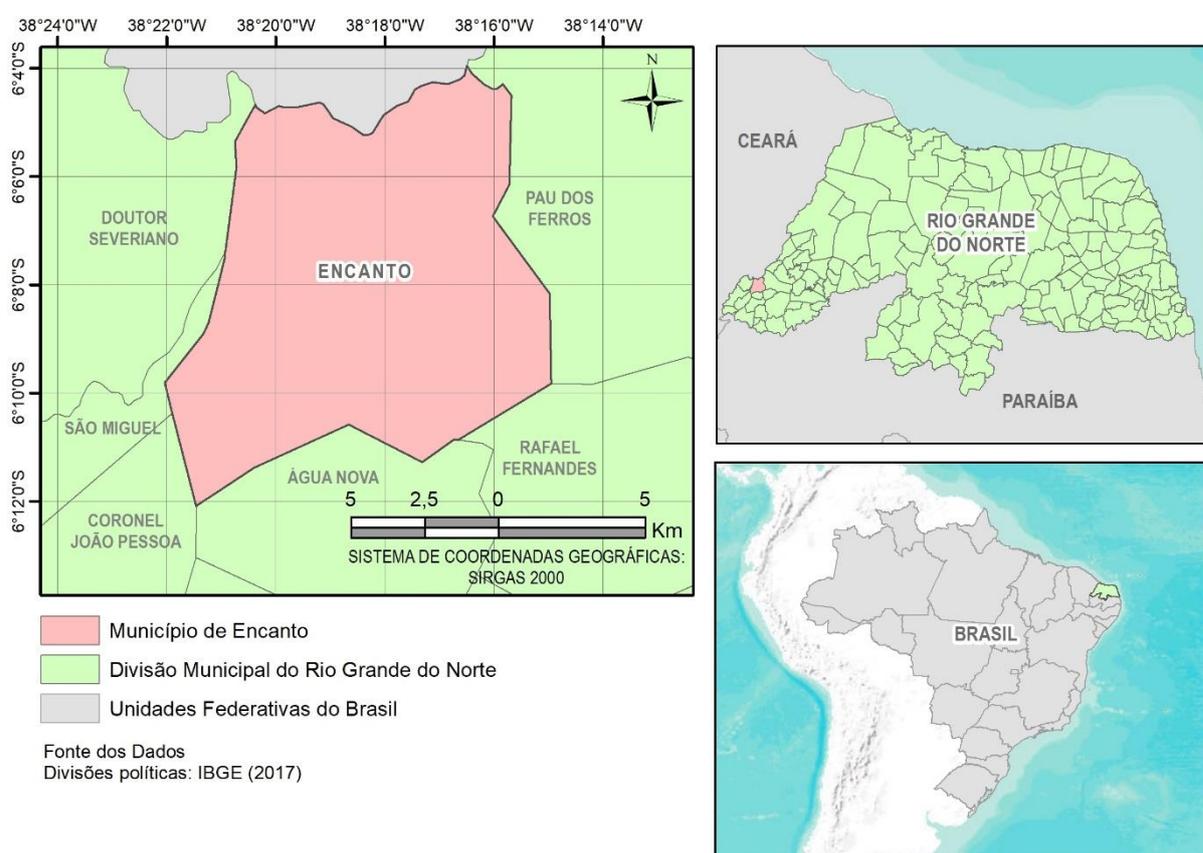
Muitos instrumentos podem compor o Sismuma: instrumentos de comando e controle, econômicos, participativos, de informação e educação, de planejamento e de fortalecimento institucional. Quanto às limitações observadas, cita-se a crise financeira, ausência da estrutura necessária, bem como a ausência dos aparatos jurídicos e de gestão (ÁVILA; MALHEIROS, 2012).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Caracterização do município de Encanto/RN

O Município de Encanto, situado na porção semiárida do estado do Rio Grande do Norte, pertence a microrregião da Serra de São Miguel e Mesorregião do Oeste Potiguar. Quanto às características geográficas (Figura 1), está distante aproximadamente 403km de Natal, e é limitado pelos municípios de Água Nova, Rafael Fernandes, Pau dos Ferros, Doutor Severiano, São Miguel, Coronel João Pessoa e Ererê, sendo este último pertencente ao estado do Ceará.

Figura 1 – Localização de Encanto/RN



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Em relação aos fatores demográficos, conforme a projeção do IBGE (2018), possui uma população de aproximadamente 5.608 habitantes e ocupa uma área territorial de 125,749 km². A maior parcela populacional, correspondente a 59,28%, ocupa a zona rural, enquanto que 40,72% estão situados na área rural. Ao analisar os

aspectos históricos, verifica-se que Encanto pertencia a Pau dos Ferros e se originou a partir de atividades agrícolas, com ênfase à criação de bovinos e a prática da agricultura familiar. Sob tais condições, foi elevado à distrito através da Lei estadual nº55/1953, e posteriormente, a município em 1963.

4.2. Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos metodológicos empregados ao longo da pesquisa se organizam basicamente em três seções: aplicação de questionários à secretária de meio ambiente; aplicação de checklist; e, aplicação de questionário ao gestor.

O questionário aplicado junto à secretária de meio ambiente se direcionava à identificação das principais problemáticas ambientais, sob a percepção da entrevistada; bem como compreender como ocorre a inter-relação entre os órgãos públicos municipais; os principais programas e projetos em desenvolvimento; as potencialidades e fragilidades da secretaria; as parcerias instituídas pelo órgão ambiental; as condições orçamentárias e técnicas da secretaria.

Já o checklist, tinha por finalidade identificar a legislação ambiental existente no município; os serviços prestados pela secretaria; os instrumentos de planejamento local; as bases estruturantes do Sismuma; a origem dos recursos financeiros e a infraestrutura disponível.

Quanto ao gestor municipal, objetivava-se capturar a percepção ambiental acerca da gestão ambiental municipal, de modo a compreender quais as principais limitações, desafios e problemas de ordem ambiental observados. Outros aspectos contemplados dizem respeito ao tempo de funcionamento da secretaria e dos objetivos a serem alcançados com a criação do órgão.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar as condições operacionais e administrativas do órgão ambiental do município de Encanto/RN, observou-se que a secretaria foi criada há, aproximadamente, três anos e o quadro de profissionais é constituído exclusivamente pela secretaria, que não possui formação acadêmica que contemple a área de gestão ambiental ou áreas afins. Outros colaboradores presentes correspondem aos estagiários

dos cursos de engenharia ambiental e sanitária e engenharia civil, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), que atuam voluntariamente.

Em relação à estrutura física, a entrevistada aponta que a secretaria dispõe de sede própria, um computador com acesso à internet, mesas e cadeiras. O material de escritório (papel, impressões e outros) são obtidos em contato direto com a prefeitura, visto que não há recursos próprios para aquisição.

Ao abordar os instrumentos de gestão, verificou-se que o município dispõe unicamente da Lei Orgânica, posto que ainda não foram instituídos o Código de Obras e Posturas, Lei Municipal de Uso e Ocupação do Solo e o Plano Diretor. Além dos aparatos jurídicos, observou-se a presença dos planos municipais de gestão e constatou-se que em agosto de 2018 foi instituído o Plano Municipal de Saneamento de Encanto/RN, elaborado através de uma parceria com a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e a Fundação Nacional de Saúde (Funasa).

Neste contexto, é válido ressaltar que o Plano Municipal de Gestão Ambiental de Encanto/RN está em elaboração, com auxílio do Programa de Apoio à Gestão Ambiental dos Municípios do RN (Proagam), uma iniciativa do Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (Idema), vinculado à Secretária de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH), do estado.

Quanto às parcerias, foram investigadas as articulações municipais, intermunicipais, estaduais e federais. Nesta perspectiva, segundo as informações dispostas pela secretária, no âmbito municipal há uma relação direta do órgão ambiental com a prefeitura, tendo em vista a dependência financeira bem como a hierarquia administrativa; as escolas municipais e o hospital, de modo a favorecer o desenvolvimento de atividades voltadas à educação ambiental e a disponibilidade de transportes para deslocamento (frota municipal vinculada ao hospital).

Já as relações intermunicipais ocorrem principalmente com o município de Coronel João Pessoa, por meio da permuta de informações, apoio institucional e colaboração mútua com as ações ambientais. As relações estaduais ocorrem basicamente com o Idema e com o Instituto de Gestão de Águas do Estado do Rio Grande do Norte (Igar), fato que permitiu iniciar a construção do plano de gestão ambiental municipal, e, a emissão de outorgas para a retirada de água do açude e dos poços artesianos locais.

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e a Funasa são as entidades federais associadas à gestão ambiental municipal, parceria que favoreceu a construção dos planos de saneamento, bem como a realização de análises dos recursos hídricos do município. Outras parcerias são traçadas com a Ufersa, que disponibiliza estagiários e favorece a ampliação temporária do quadro técnico da secretaria.

A partir das informações dispostas, verifica-se uma efetiva fragilidade quanto à gestão ambiental local, que é severamente agravada quando analisada sob a óptica dos instrumentos básicos que constituem o Sismuma. Neste contexto, foi evidenciado que dos itens necessários para a estruturação do sistema municipal de meio ambiente, o município de Encanto/RN dispõe unicamente do órgão ambiental, que por sua vez não apresenta qualquer estrutura que favoreça a gestão ambiental local. Quanto à política de meio ambiente e ao conselho municipal, ainda não foram instituídos. E, não há um fundo financeiro do meio ambiente, visto que o mais próximo disto seria o direcionamento de R\$ 16.000,00 anuais, definidos no Plano Plurianual, que conforme a gestora, não são repassados.

Para fins comparativos, Moraes e Souza (2014) ao analisarem a gestão ambiental do município de Mundo Novo/MS encontraram condições que destoam parcialmente do quadro retratado por esta pesquisa. Segundo os autores, o município em questão apresentava Lei Orgânica, Código de Postura Municipal e o Plano Diretor em fase de elaboração. Outra distinção apresentada diz respeito ao quadro de profissionais, uma vez que o departamento de meio ambiente era constituído por 15 colaboradores e estagiários dos cursos de gestão ambiental e ciências biológicas. No tocante aos aspectos similares, cita-se a inexistência do fundo municipal de meio ambiente, bem como a formação das parcerias. Honda et al. (2015) ao estudarem o planejamento ambiental e ocupação urbana em Presidente Prudente/SP, também relatam a ausência da política ambiental no quadro institucional.

As discrepâncias apontadas reforçam o distanciamento de Encanto/RN quanto às diretrizes da gestão ambiental e, mostram que esta problemática se faz presente em outras localidades, em diferentes dimensões. Dentre os pontos apresentados, destaca-se a inexistência dos aparatos legislativos municipais básicos, corroborado pela ausência do plano diretor. Sob esta perspectiva, Honda et al. (2015) afirmam que este

instrumento se associa diretamente à função social da cidade mediante ao estabelecimento das normativas para o desenvolvimento urbano, e com isso, propicia rebatimentos à gestão ambiental, por apresentar instrumentos direcionados a este viés, dentre eles, o zoneamento ambiental.

Rodrigues et al. (2012), ao estudar a percepção ambiental enquanto instrumento de apoio na gestão e na formulação de políticas públicas ambientais, mostram a percepção ambiental é inerente ao sujeito e varia de acordo com as relações sociais e com o meio, de modo que reflete os valores absorvidos a partir das manifestações culturais, históricas e ambientais. Neste sentido, buscou-se analisar a percepção do gestor municipal e da secretaria quanto à gestão ambiental municipal.

Ao ser questionado sobre o que seria e qual a importância da gestão ambiental municipal, o gestor afirmou que era o “desenvolvimento de serviços para conservar o meio ambiente do município”, afirmou que se trata de uma questão muito importante, e de difícil implementação devido às limitações financeiras. Diante dos apontamentos feitos, observa-se que o entendimento acerca desta temática ainda se mostra muito restrito, visto que se limita unicamente à conservação do meio ambiente, sem qualquer embasamento jurídico ou administrativo.

O apontamento feito pelo gestor vai ao encontro às normativas da PNMA, que incube aos municípios a responsabilidade de proteger e conservar o ambiente e os recursos naturais locais, no entanto, a gestão ambiental municipal se estende para além da conservação, visto que favorece a amenização de conflitos, a segurança ambiental, o desenvolvimento sustentável, bem como o fortalecimento e aprofundamento da democracia local, a partir da participação popular (GIARETTA; FERNANDES; PHILIPPE JR, 2010). No tocante às limitações, são semelhantes aos apontamentos realizados por Ávila e Malheiros (2012), que indicam a ausência de recursos financeiros e a precariedade quanto à infraestrutura como barreiras a serem superadas.

Quanto à importância e finalidades da secretaria de meio ambiente, afirmou-se que este órgão foi instituído no primeiro momento devido à necessidade de um gestor para responder às indagações realizadas por órgãos superiores, dentre eles, o Ministério Público, e, posteriormente, auxiliou na resolução de outras questões, como a formação da parceria com a Funasa e a UFRN, para elaboração do plano de saneamento municipal.

Estes pontos indicam, basicamente, que a secretaria, no primeiro momento, se direciona ao atendimento de demandas externas, que pressionam o município. Este aspecto mostra que a gestão ambiental local foi imposta, e, permite compreender a ocorrência das fragilidades já citadas. Pacheco, Figueiredo Neto e Aydos (2016), ao analisarem o panorama da gestão ambiental no Brasil, entre 2002 e 2013, elucidam que as condições citadas são recorrentes, e contribuem diretamente para ampliação do quantitativo de órgãos ambientais do país.

Face a esta prerrogativa, em 2002, 68% dos municípios brasileiros apresentavam órgãos ambientais, enquanto que em 2013 o índice alcançou 90%, contudo, apenas 1,5% e 43% possuíam fundo municipal de meio ambiente em 2002 e 2013, respectivamente (PACHECO; FIGUEIREDO NETO; AYDOS, 2016).

Quando questionada sobre as fragilidades do órgão ambiental, apontou-se a carência de colaboradores, falta de recursos financeiros, pouco apoio da gestão municipal e infraestrutura limitada. Pontes e Farias (2016), ao discutirem a gestão ambiental em Belém/PA, apontam como fragilidades locais a desarticulação dos órgãos municipais, a pouca participação popular, a insuficiência do corpo técnico, aspectos semelhantes, que reafirmam a perpetuação das limitações, observadas nesse estudo, em outras localidades.

Dentre os serviços e projetos desenvolvidos pela secretaria, foram citados a realização de atividades de sensibilização quanto ao uso de agrotóxicos; atividades direcionadas à produção de artesanato, a partir do reuso de materiais recicláveis ou reutilizáveis; oficinas sobre práticas de jardinagem; arborização urbana; produção de mudas; e a recuperação de áreas desmatadas. Desse modo, observa-se que devido à ausência de profissionais, o licenciamento e a fiscalização ambiental, não são contemplados pela secretaria.

Estas condições coincidem com os apontamentos realizados por Rodrigues et al. (2016), que, ao analisarem o uso de instrumentos de gestão ambiental no semiárido, pontuaram que a maioria dos esforços, ainda que escassos, são voltados para a mobilização acerca do uso, preservação e recuperação dos recursos naturais, em especial, a água, as reservas biológicas e áreas de proteção ambiental.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O município de Encanto está situado no interior do Rio Grande do Norte, possui uma pequena população e encontra grandes limitações quanto à implementação da gestão ambiental local. Diante disto, o objetivo do estudo consistiu em analisar as condições da sua gestão ambiental municipal.

A gestão ambiental desta localidade possui uma discussão muito recente, visto que o órgão ambiental foi criado há três anos e ainda não se estruturou. Outro aspecto que marca o contexto local é a ausência de instrumentos normativos, uma vez que o único instrumento com viés ambiental apresentado foi a Lei Orgânica.

Assim, as principais limitações de Encanto quanto à gestão ambiental local dizem respeito às limitações financeiras, que por sua vez, condicionam o corpo técnico-ambiental do município. Ressalta-se ainda o descaso dos gestores ambientais com a temática e a desarticulação com os demais órgãos da administração pública da cidade.

Quanto às potencialidades, cita-se as parcerias firmadas com entidades federais, estaduais e intermunicipais. Dentre elas, a participação junto ao Proagam, que se direciona ao fornecimento de assistência para elaboração dos planos municipais de gestão ambiental do Rio Grande do Norte. As parcerias com as instituições de ensino superior também potencializam as condições locais.

Dentre os principais desafios a serem superados, aponta-se a criação de instrumentos jurídicos, a instituição do conselho municipal de meio ambiente e à criação do fundo municipal do meio ambiente. Outros aspectos desafiadores dizem respeito à ampliação dos serviços prestados pelo órgão ambiental e ampliação do quantitativo de colaboradores.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Rebeca. As Bases legais para a gestão ambiental municipal. **Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 4, n. 2, 2015.

ÁVILA, Rafael Doñate; MALHEIROS, Tadeu Fabrício. O sistema municipal de meio ambiente no Brasil: avanços e desafios. **Saúde e Sociedade**, v. 21, p. 33-47, 2012.

AZEVEDO, Andréa; PASQUIS, Richard; BURSZTYN, Marcel. A reforma do Estado, a emergência da descentralização e as políticas ambientais. **Revista do Serviço Público**, v. 58, n. 1, p. 37-55, 2014.

AZEVEDO, Andrea. **Fortalecendo a gestão ambiental municipal: mecanismos financeiros e visibilização de boas práticas**. CEAPG-Centro de Estudos em Administração Pública e Governo (EAESP) e Instituto de Pesquisas Ambientais da Amazônia (IPAM), 2015.

BRASIL. **Constituição Federal de 1988**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm#art23vi>. Acesso em 28 ago. 2018.

BRASIL. **Lei nº6.938 de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em 28 ago. 2018.

GIARETTA, Juliana Barbosa Zuquer; FERNANDES, Valdir; PHILIPPI JR, Arlindo. **Gestão Ambiental Municipal no Brasil: Condicionantes à Participação Social. V Encontro Nacional da ANPPAS**. Florianópolis–SC, 2010.

HONDA, Sibila Corral de Arêa Leão; VIEIRA, Marcela do Carmo; ALBANO, Mayara Pissutti; MARIA, Yeda Ruiz. Planejamento ambiental e ocupação do solo urbano em Presidente Prudente (SP). **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 7, n. 1, p. 62-73, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Encanto**. 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/encanto/historico>>. Acesso em 28 ago. 2018.

LEME, Taciana Matos. GOVERNANÇA AMBIENTAL NO NÍVEL MUNICIPAL. In: MOURA, Adriana Maria Magalhães de (Org.). **Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas**. Brasília: Ipea, 2016. p. 147-174.

MORAES, Alessandra Ribeiro; SOUZA, Rodolfo Portela. **Análise da gestão ambiental no município de Mundo Novo/MS**. 2014.

MOURA, Adriana Maria Magalhães de. Caminhos para uma melhor governança na política ambiental brasileira. In: MONASTERIO, Leonardo Monteiro; NERI, Marcelo Côrtes; SOARE, Sergei Suarez Dillon. **Brasil em desenvolvimento 2014: estado, planejamento e políticas públicas**. Brasília: Ipea, 2014. p. 103-129.

MOURA, Adriana Maria Magalhães de. Trajetória da política ambiental federal no Brasil. In: MOURA, Adriana Maria Magalhães de (Org.). **Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas**. Brasília: Ipea, 2016. p. 13-43.

NUNES, Marcela Riccomi; PHILIPPI JUNIOR, Arlindo; FERNANDES, Valdir. Gestão Ambiental Municipal: objetivos, instrumentos e agentes. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 23, p.66-72, mar. 2012.

PACHECO, Adriano Pereira; FIGUEIREDO NETO, Leonardo Francisco; AYDOS, Leonardo Recena. Gestão Ambiental Municipal no Brasil-Um Panorama entre os anos 2002 a 2013. **Revista ESPACIOS**, v. 37, n. 10, 2016.

PONTES, Lana Glayce Dias Ferreira; FARIAS, Andre Luis Assunção. O desafio da gestão ambiental municipal: o caso do programa de educação ambiental de Belém. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 33, n. 3, p. 302-319, 2016.

RODRIGUES, Cecília Barreto et al. Instrumentos de gestão ambiental em municípios do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 3, n. 5, p. 101-112, 2016.

RODRIGUES, Mariana Lima; MALHEIROS, Tadeu Fabrício; FERNANDES, Valdir; DAROS, Taiane Dagostin. A percepção ambiental como instrumento de apoio na gestão e na formulação de políticas públicas ambientais. **Saúde e sociedade**, v. 21, p. 96-110, 2012.

SANCHES, Arthur Caldeira; CALEMAN, Silvia Morales de Queiroz; MELO, Mary Fernanda Sousa; CAMPOS-SILVA, Willerson. Descentralização da gestão ambiental no Brasil: análise histórica dos principais momentos do processo. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, v. 14, n. 2, p. 51-68, 2017.

SILVA, Camilo Vinícius Trindade; DIAS, Nildo da Silva; OLIVEIRA JÚNIOR, Hermínio Sabino; SILVA, Clara Livia Câmara; LIMA, Alexandre de Oliveira; TEIXEIRA, Ruan Otavio; MIRANDA, Paulo Eudes Moreira. Análise da estrutura do sistema municipal de meio ambiente no município de Macau, Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Espacios**, Caracas, v. 39, n. 8, p.23-33, nov. 2018.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Questionário aplicado à Secretária de Meio Ambiente (SEMA).

Nome	
Cargo	
Grau de escolaridade	
Tempo de atuação	

- 1 Quais as principais problemáticas ambientais presentes no município? O que está sendo feito para mitigar estes problemas?
- 2 Há inter-relação entre os órgãos públicos municipais e fortalecimento da gestão ambiental municipal?
- 3 Quais os principais projetos e programas desenvolvidos pela SEMA?
- 4 Na sua percepção, quais as principais potencialidade e fragilidades da secretaria?
- 5 Quais os órgãos municipais, estaduais e/ou federais atuam em conjunto com a SEMA?
- 6 Há a formação de parcerias intermunicipais?
- 7 Qual a infraestrutura da secretaria?
- 8 Qual o orçamento anual da secretaria? Quais os principais direcionamentos dados ao recurso?
- 9 Quais os profissionais que constituem a SEMA de Encanto?

APÊNDICE B - Questionário aplicado ao gestor municipal.

Nome	
Cargo	
Grau de escolaridade	
Tempo de atuação na política local	

- 1 Na sua percepção o que é gestão ambiental municipal?

- 2 Quais os desafios e limitações para implementação da Gestão Ambiental Municipal?
- 3 Quais as principais problemáticas ambientais presentes no município? O que está sendo feito para mitigar estes problemas?
- 4 Na sua percepção qual o grau de importância da gestão ambiental municipal?

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

 Sem importância;

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

 Pouco importante;
- | |
|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> |

 Importante;

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

 Muito importante.
- 5 Que secretarias compõem a gestão pública municipal atualmente?
- 6 Quando a secretaria de meio ambiente foi criada?
- 7 Quais os objetivos a serem alcançados com a criação da secretaria de meio ambiente?
- 8 Há incentivos da gestão municipal para a inter-relação entre os órgãos públicos municipais e fortalecimento da gestão ambiental municipal?
- 9 Quais os ganhos observados mediante a criação da SEMA?
- 10 Na sua percepção, quais as principais potencialidade e fragilidades da secretaria?

APÊNDICE C - Checklist

- 1- Quais legislações o município apresenta?
 - a) Lei orgânica;
 - b) Código de obras e posturas;
 - c) Lei de uso e ocupação do solo;
 - d) Plano diretor;
 - e) Outras: _____
- 2- Quais dos seguintes serviços são desenvolvidos pela SEMA?
 - a) Licenciamento ambiental;
 - b) Fiscalização ambiental;
 - c) Recuperação de áreas degradadas;
 - d) Arborização urbana;
 - e) Produção de mudas;
 - f) Outras: _____
- 3- Quais os instrumentos de planejamento município apresenta?
 - a) Plano municipal de saneamento;
 - b) Plano de gestão integrada de resíduos sólidos;
 - c) Plano municipal de gestão ambiental;
 - d) Agenda 21 local;

- e) Política municipal de meio ambiente.
- f) Outras: _____

4 – Quais desses componentes do Sistema Municipal de Meio Ambiente o município possui?

- a) Política ambiental;
- b) Secretaria municipal de meio ambiente;
- c) Conselho municipal de meio ambiente;
- d) Fundo municipal de meio ambiente;

5 – Qual a origem dos recursos utilizados para custear os programas, projetos e outras iniciativas?

- a) Recurso municipal;
- b) Recursos obtidos através de editais estaduais e federais;
- c) Parcerias com empresas;
- d) Outras fontes: _____

6- Qual a infraestrutura disponível na secretaria?

- a) Sede própria;
- b) Computadores;
- c) Material de escritório;
- d) Equipamentos de medição ambiental;
- e) Outros: _____

CAPÍTULO V

A IMPORTÂNCIA DA CONTABILIDADE AMBIENTAL NA ECONOMIA CIRCULAR

Erika Dayane Ribeiro de Matos¹

¹ Bacharel em Engenharia de Produção. FacSul/ UNIME Itabuna.

RESUMO

A consideração da variável ecológica é essencial no atual desenvolvimento econômico, impulsionado por princípios de Economia Circular. A administração financeira é uma das principais ferramentas para alcançar esse amadurecimento, envolvida nesta a Contabilidade Ambiental. O presente estudo objetivou compreender a importância que a Contabilidade Ambiental representa para a Economia Circular. Para tanto, a metodologia aplicada foi de revisão bibliográfica, que consistiu na pesquisa de informações relevantes provenientes de livros, artigos e documentos eletrônicos. Feito o levantamento de dados, conclui-se que a Economia Circular é um sistema regenerativo, que objetiva a substituição do fim do ciclo de vida do produto, através de atividades de recuperação e preservação. Logo, a Contabilidade Ambiental objetiva identificar e alocar todos os gastos e retornos envolvidos nesse processo, de forma que informe e contribua na sua gestão. Sendo assim, esse ramo da contabilidade é fundamental para o êxito sustentável do negócio, uma vez que opera na redução de custos ambientais e promove a ecoeficiência.

Palavras-chave: Contabilidade Ambiental. Economia Circular. Ecoeficiência.

1. INTRODUÇÃO

Mudanças climáticas e desequilíbrio ambiental são propulsores de um novo modelo de produção baseado nos princípios de Economia Circular, pois a principal causa desses eventos é o sistema linear de exploração, uma vez que este desconsidera a limitação dos recursos naturais e o impacto das suas atividades no meio ambiente. Tais princípios adotados se referem a procedimentos de regeneração e restauração de resíduos, o que no todo constitui um ciclo de consumo fechado, baseado nos processos encontrados na natureza (EMF, 2012).

Nesse contexto, para Bergamini Junior (1999), a Contabilidade Ambiental atua como uma ferramenta de gerenciamento, de maneira que demonstra o desempenho ambiental da empresa, o que contribui para a tomada de decisões, ao assegurar a viabilidade de suas atividades relacionadas ao meio ambiente. Logo, a comunicação

empresa-sociedade sobre essas ações é fundamental para garantir a efetividade da sua gestão ambiental, como também as deliberações financeiras propiciam a otimização desta. Sendo assim, a questão que norteou essa pesquisa se deu pela indagação: De que forma a Contabilidade Ambiental é importante para a Economia Circular?

O objetivo do presente estudo é compreender a relevância da Contabilidade Ambiental na Economia Circular. Neste intuito, desmembrou-se em objetivos específicos, que divididos em seções, propuseram-se a expor os conceitos e características da Economia Circular, a conceituar a Contabilidade Ambiental, evidenciando seus elementos padrão, para finalmente discorrer sobre sua respectiva finalidade e importância.

Para tanto, a metodologia de pesquisa aplicada se deu pela classificação de revisão bibliográfica, de caráter exploratório e abordagem descritiva e qualitativa. O levantamento de dados foi realizado por meio de livros, artigos científicos e documentos eletrônicos. O rastreamento das informações se deu pelas seguintes palavras-chave: contabilidade; contabilidade ambiental; economia circular; e ecoeficiência.

2. ECONOMIA CIRCULAR

A Economia Circular (EC) objetiva sustentar o produto em seu mais alto nível de valor durante todo o seu ciclo de vida através da restauração, o que a define como um sistema regenerativo. Para transformar os processos e elevar a circularidade das saídas, a EC aprimora o capital natural, ao controlar estoques e fluxo de recursos renováveis, e aperfeiçoa o rendimento do material ao aumentar seu nível de utilidade (EMF, 2015).

A EC é conceituada por Kirchherr et al. (2017) como um sistema econômico que se baseia na substituição do fim do ciclo de vida do produto, através de recuperação que envolve processos de reciclagem, reúso ou remanufatura, com objetivo de implementar o desenvolvimento sustentável, operando assim em três níveis. O nível micro diz respeito às atividades individuais de empresas e consumidores que transformam seu modo de produzir ou consumir; o nível meso engloba a união de empresas em eco parques, que formam parcerias objetivando otimizar a eficiência sustentável em seus processos; e o nível macro engloba regiões, cidades ou países, que sustentam a EC através de políticas públicas.

Bonciu (2014) aponta para o benefício referente ao fim da descartabilidade, proporcionado pela EC, ao transitar de uma economia linear, onde apenas se usa e descarta, para uma perspectiva de reúso de resíduos, o que significaria que a matéria-prima ainda seria obtida pelo meio ambiente, entretanto, ao adentrar na cadeia de abastecimento, seu tempo de vida seria elevado com processos de reciclagem, reúso e remanufatura, ou seja, basicamente se transforma “outputs” em “inputs”. Para estruturar uma produção que atenda com eficácia esse fluxo reverso, todo o processo é transformado, desde o “layout” e o “design” de produto à política de fornecedores, permitindo assim um fluxo aberto ou fechado de logística reversa, o que angaria novamente valor ao produto.

A origem da EC, conforme Santos (2017), está ligada ao lançamento de “Primavera Silenciosa” de Raquel Carson, pois na década de 1960 se intensificaram as discussões ambientais com o surgimento de diversas escolas que fundamentaram a EC, cujas principais foram apontadas por EMF (2012) como: economia de performance, simbiose industrial, Cradle-to-Cradle (Do berço ao berço) e bio based economy (Economia baseada em biocombustível). Já Andrews (2015) afirma que o conceito de EC foi definitivamente introduzido em 1970, pelo economista Walter Stahel, que sugeriu o Cradle-to-Cradle, indo contra ao modelo de economia linear e identificou a possibilidade dos resíduos se tornarem matéria-prima secundária, ao serem processados novamente ou reutilizados, e apontou como uma solução sustentável.

As escolas citadas que fundamentaram o conceito de EC são base para compreendê-la. Em primeiro lugar, Do Berço ao Berço, assume o uso potencialmente infinito de materiais, através de um ciclo de revalorização, implicando um consumo seguro e saudável de recursos naturais. Ao apoiar a ideia de uso cíclico de insumos, ela avança para o conceito de sustentabilidade na simbiose industrial, que fundamenta essencialmente a existência de eco parques e bolsas de resíduos; essa linha constitui-se de uma filosofia colaborativa, onde empresas se unem e compartilham equipamentos, infraestruturas ou recursos. Essa integração se estende a resíduos, de maneira que se torne possível sustentar um fluxo aberto de logística reversa, onde o que é resíduo numa organização pode vir a se tornar matéria-prima secundária em outra. (BCSD, 2013).

Para compreender integralmente o conceito da EC é essencial comparar quais são as suas principais diferenças do modelo tradicional de Economia Linear. A

linearidade econômica desconsidera a disponibilidade de recursos naturais e supõe um ciclo de vida finito, ou seja, viabiliza a descartabilidade. A EC entende a capacidade e necessidade de reaproveitamento de cada material, como também é fundamentada nos conceitos de resíduo zero, diversidade, fontes renováveis, otimização do uso de energia, possibilidade de troca ou compartilhamento, incentivo ao uso virtual de produtos e serviços, pensamento sistêmico e transparência a fim de obter conformidade de custos. (EMF, 2015).

Lemos (2018) salienta que a EC rejeita a ineficiência de processos e os valoriza desde a extração de matéria-prima até a utilização do consumidor final, de modo que se estenda ao máximo o tempo de vida útil do produto, através do reinício do seu ciclo de vida, ao aplicar técnicas e ferramentas de gestão, cujo ciclo de vida é dividido em ciclo biológico e ciclo técnico. No primeiro ocorre o consumo e trata-se do material renovável, onde se aplica a regeneração, de maneira que não agrida o meio ambiente. Já no ciclo técnico se encontram os materiais finitos, que não são produzidos continuamente na biosfera, logo, o seu foco é o uso em ciclos industriais fechados que garantam a restauração desses componentes com qualidade e praticidade. (EMF, 2015).

Lucas (2017) acrescenta que a EC é baseada no modelo natural do ecossistema, em que a regeneração é o principal fator que justifica sua eficiência, pois possibilita a sustentabilidade de material e energia por longos períodos. O autor ainda afirma que o modelo de Economia Linear é a principal causa de diversos problemas na interação homem-meio ambiente na atualidade, mas a preocupação ambiental entrou na agenda dos *stakeholders*, que passaram a pressionar as empresas a adotarem práticas sustentáveis. Como por exemplo, o governo, através da criação de planos nacionais; os consumidores que criaram uma demanda para produtos “verdes”; e os acionistas, que introduziram a percepção do “*green*” até mesmo na bolsa de valores.

A relevância da EC, segundo Dias (2011), cresce a cada dia justificada pela sua importância, mas vale ressaltar que essa transição é desafiadora e exige a transformação do meio de produção, como também que vai além de processos de reciclagem, mas que oferece, além de sustentabilidade, ganhos econômicos e novas oportunidades de negócio. Para o autor, a eficiente operacionalização da EC se dá através de ações transformadoras norteadoras que abrangem todo o ciclo de vida do produto, classificadas em quatro de acordo com o foco da sua atividade:

1. A primeira ação diz respeito à disposição do processo produtivo para um alinhamento com a responsabilidade de reduzir impactos negativos no meio ambiente, a partir da redução no consumo de recursos naturais e da garantia de uma gestão correta de resíduos.
2. A segunda ação propõe agregar valor ao resíduo, de modo que outras empresas possam absorvê-los e reintroduzi-los no canal de abastecimento.
3. A terceira ação se trata do desenho do produto, o Ecodesign, de forma que este ofereça sustentabilidade no que diz respeito à matéria-prima e no processo, como também ofereça a possibilidade de reciclagem ou reuso.
4. Por último, a quarta ação vai além da transformação de produtos e processos, sugere que a empresa se recoloque em novos mercados, alcançando outras oportunidades de negócio através da inovação.

Para Bonciu (2014), a eficiência da EC a nível operacional requer uma rede de colaboração entre empresas de diferentes segmentos e uma boa relação cliente-empresa para que o fluxo reverso ocorra, ou seja, o comportamento do consumidor é de suma importância nesse aspecto, logo, estende-se para uma transformação de valores culturais e percepção ambiental. A aplicabilidade da EC- apesar de já se apresentar como uma necessidade- enfrenta diversas barreiras no diz respeito à gestão, tecnologia, estrutura, finanças, gerenciamento de riscos, entre outros; principalmente quando se trata de empresas de médio ou pequeno porte, nas quais existe a ausência de conhecimento técnico.

Várias ferramentas, técnicas e procedimentos estão sendo desenvolvidos com o objetivo de sustentar práticas de EC, como por exemplo, desenvolvimento sustentável, ecologia industrial, gestão do ciclo de vida, análise do fluxo de materiais e contabilidade ambiental. Entretanto, atualmente as cadeias produtivas ainda são em sua maioria lineares e os projetos de reciclagem são de baixa eficiência, pois reduzem minimamente a disposição de resíduos e também não garantem no produto final um dos princípios da

EC: manter a qualidade do produto secundário equiparada ao primário (BERNDTSSON, 2015).

Preston (2012) ressalta a necessidade de conceber um entendimento comum sobre EC para elevar sua conscientização, uma vez que existe um grande equívoco sobre a consistência de práticas aplicadas pelos governos sobre o tema. O autor aponta para o foco em desenvolvimento e inovação de materiais como uma das principais estratégias, o que significaria uma mudança radical, a partir da ideia de aprimoramento da sustentabilidade desses produtos, com menor consumo, com maior durabilidade, capacidade de biodegradação ou reutilização. Logo, o autor argumentou que a tarefa de uma intensificação na pesquisa de materiais seria do governo, apesar do setor privado ainda ser em muitos países o maior responsável por essa execução. E uma vez que essa evolução depende do meio empresarial, antes de tudo essa novidade precisa ser lucrativa, sendo assim, deve-se avaliar todo o desempenho da organização sobre a ótica da gestão de investimentos. A partir disso, entende-se a importância da percepção da Contabilidade Ambiental na EC, sobre a qual se dissertou na próxima seção.

3. CONTABILIDADE AMBIENTAL

A Contabilidade, segundo Costa (2012), é uma ciência que estuda o patrimônio das organizações: seus bens, direitos e obrigações; de modo que possa auxiliar a administração deste, como também avaliar o desempenho dessa gestão através de relatórios fidedignos. Sendo uma das ciências mais antigas, quando surgiu, a contabilidade apresentava apenas relatórios simples, visto a necessidade de registro, mas evoluiu, uma vez que a riqueza das células sociais se dividiu em ramos a fim de aprimorar a análise e êxito da reflexão. Um desses ramos é conhecido como Contabilidade Ambiental (CA).

Para o autor, a crescente transformação do cenário econômico mundial e a adoção de políticas ambientais pelas organizações impulsionaram o surgimento da CA, visto a pressão que problemas desencadeados pela antiga relação homem-ambiente de exploração e poluição desenfreada causaram, partindo para uma mudança no modelo de produção e consumo. Tendo em vista que, conforme Ribeiro (2010), a Contabilidade possui um caráter interdisciplinar, ela é capaz de se adaptar e desenvolver um aspecto ligado a uma comunicação empresa-sociedade, com objetivo de esclarecer os esforços

envolvidos para minimização do seu impacto ambiental, esforços esses ligados à gestão de resíduos e fluxo reverso.

Segundo Tinoco e Kraemer (2011), a CA é uma ramificação da Contabilidade Tradicional, logo, suas atividades são compreendidas em identificar, mensurar, avaliar e alocar gastos ocorridos em determinado período, porém especificamente ligados à sustentabilidade, através de relatórios internos, a fim de avaliar sua viabilidade. A CA tem o papel de localizar e registrar esses eventos ambientais em tais relatórios, como também criar parâmetros, de modo que a organização possa quantificar o progresso da sua relação com meio ambiente ao longo do tempo. Os autores acrescentam que a CA foi reconhecida como um ramo da Contabilidade em 1998, com o Relatório financeiro e contábil sobre o passivo e custos ambientais pelo Grupo de Trabalho Intergovernamental das Nações Unidas de Especialistas em Padrões Internacionais de Contabilidade e Relatórios. Embora haja tamanha semelhança com o ramo tradicional, a CA se difere ao focar nos efeitos que as atividades proporcionam ao meio ambiente, de forma que esse direcionamento reflete nas decisões de investimentos.

Conciliar esses efeitos com a lucratividade é o principal objetivo da CA, uma vez que as demonstrações financeiras são meio de comunicação com os consumidores externos. Se a empresa gerar danos ao meio ambiente, de acordo com a Norma Brasileira de Contabilidade Técnica Específica (NBC TE XXX), todos os seus ativos e passivos ambientais devem estar registrados, identificados e segmentados em relatórios técnicos e notas explicativas.

Para Bergamini Junior (1999), a CA deve conter informações que geralmente não são colocadas pela contabilidade tradicional, como o progresso das atividades ambientais e indicadores de desempenho, como também, de forma clara e transparente, todas as transações que afetam a saúde financeira da empresa: custos internos, despesas, receitas, ativos e passivos envolvidos. O autor aponta para a importância do registro e da segregação dos itens correspondentes das contas ambientais, os custos devem ser explicitados em natureza operacional ou não operacional e as despesas em extraordinárias ou excepcionais, assim como todas as provisões ambientais devem estar redigidas, incluindo multas e penalidades, e se necessário, informações mais abrangentes.

O balanço ambiental é um demonstrativo incluso no balanço social que divulga o comportamento ambiental da organização, logo, é uma ferramenta essencial na CA. Apesar da sua não obrigatoriedade, de acordo com Baldarelli et al. (2017), existe uma crescente solicitação do compartilhamento das informações sobre as políticas ambientais provenientes dos *stakeholders*, sendo assim o balanço informa o desempenho destas ao expor custos, ativos e passivos, sendo que esses valores englobam investimentos em preservação, proteção, recuperação, redução de poluentes ou tecnologias limpas.

No entendimento de Tinoco e Kraemer (2011), ativos são bens e direitos: recursos que a empresa controla referentes a atividades passadas que oferecem a promessa de um retorno econômico futuro, assim como na abordagem monetária; mas na CA essas atividades estão relacionadas à preservação ambiental, direta ou indiretamente, e devem ser redigidos separadamente no demonstrativo de forma indicativa com títulos e subtítulos. Essas atividades são concebidas em esforços que evitam a contaminação do ecossistema ou incentivam sua conservação, o que se reflete em gastos e logo, são definidos como ativos, mas somente se estes gerarem benefícios posteriores, sendo segmentados em classes específicas de acordo com sua disposição.

A NBC TE XXX classifica o ativo ambiental como circulante ou não circulante. Segundo a norma, o primeiro refere-se a estoques de produtos ou insumos que serão utilizados em qualquer etapa do processo com objetivo sustentável, como por exemplo, matéria-prima secundária. O segundo é o ativo permanente, de longo prazo, com objetivo de conservar o meio ambiente, sendo caracterizado como investimento ambiental. Tal ativo é identificado em imobilizado ou intangível e a principal diferença entre os dois é a tangibilidade, mas ambos geram valor. O primeiro pode ser exemplificado pela aquisição de áreas de preservação, enquanto o segundo, de difícil mensuração, pode ser definido, por exemplo, pelo capital intelectual.

Para Ribeiro (2010), diferentemente dos ativos, o passivo ambiental é negativo, tanto para empresa, quanto para o ecossistema, pois está relacionado a valores utilizados para pagar multas e indenizações, ou mesmo recuperar estragos que atividades ambientalmente incorretas da organização causaram. Sendo assim, é definido como uma obrigação presente, de curto ou longo prazo, voluntária ou não, para com o meio ambiente, inclusos neste os riscos ambientais. Tal voluntariado é salientado

na categorização dessas obrigações, elas podem ser pelo cumprimento legal ou não: quando a legislação não exige, mas a empresa aplica esforços para cumpri-las, tornando-se uma obrigação construtiva, de acordo com a NBC TE XXX.

A Norma também classifica o passivo ambiental em circulante ou não circulante, a depender do prazo para cumprimento. Para mensuração do valor do passivo, é aconselhada a utilização de métodos de mensuração, que são relatórios internos ou externos, e divulgados em nota explicativa, principalmente se a atividade estiver enquadrada na Lei 9.605/98, a Lei de Crimes Ambientais. Essa mensuração pode ser complexa, uma vez que existem em diversos casos indefinição sobre técnicas, tecnologias e capital adequado para o cumprimento do dever, ou mesmo sobre quem são seus agentes responsáveis.

A manutenção, a compra ou o pagamento de ativos e passivos geram valores de despesas e custos nesse balanço ambiental, assim como outras movimentações relacionadas, logo, tais despesas e custos são gastos incorridos para a realização de atividades ambientais. Tinoco e Kraemer (2011) definem custos ambientais como valores que estão ligados a operações que amenizam o impacto negativo da empresa no meio ambiente, de forma que empreguem ações de controle, correção ou prevenção de danos e falhas, presentes ou futuras. Exemplos de custos ambientais são tecnologias de fim de tubo e reflorestamento.

As despesas se diferem dos custos no sentido de não estarem diretamente conectadas ao operacional, numa relação concreta com o processo produtivo; assim como na linha tradicional, elas estão relacionadas a tarefas administrativas e representam valores despendidos com gestão financeira, de compras, estratégica, logística, de recursos humanos, entre outras; como também com auditoria ou depreciação. Além dos encargos administrativos, a classificação de despesa também é atribuída a gastos com recuperação e reparação, diferentemente dos custos, que compõem ações de prevenção. (RIBEIRO, 2010).

Entretanto, ações ambientais não geram apenas custos e despesas, mas podem gerar vantagens que são admitidas como receita. Tinoco e Kraemer (2011) definem receita ambiental como o resultado de atividades ambientais que geram recursos e aumentam o patrimônio líquido da empresa, ou seja, qualquer valor que participa do faturamento e decorre de atividades que contribuam para a preservação do meio

ambiente. Os autores expõem as atividades que explicam essa receita: venda de produtos de material secundário, aproveitamento de resíduos, economias com reduções de matéria-prima e recursos naturais, serviços especializados em gestão ambiental e vantagens competitivas adquiridas com ações sustentáveis que gerem retorno financeiro.

Vale ressaltar a existência do valor atribuído a uma perda ambiental, que para os autores, refere-se a qualquer gasto despendido sem retorno econômico, tratando-se apenas de prejuízo. A principal característica é sua imprevisibilidade, esse custo decorre geralmente de acidentes, logo, multas e indenizações não estão inclusas, pois supõem que são passivos, ou seja, obrigações provenientes de atividades humanas e, portanto, previsíveis.

Neste ponto do estudo é possível compreender que a interação empresa-meio ambiente foi ao longo dos anos conflitante, pautada por interesses econômicos que não visualizavam a importância da sustentabilidade e do compartilhamento de informações ambientais. Para os autores, essa é a principal causa da omissão de informações ambientais nos demonstrativos contábeis, proveniente da ausência de percepção ambiental, além do não cumprimento da legislação associada a ela, sendo preferível camuflar essa imagem negativa dominada de passivos. Outro ponto importante referente à omissão é a dificuldade em contabilizar esses eventos, logo, o presente estudo se justifica pela contribuição em elevar essa percepção ao elucidar a CA, cuja importância se dissertou no próximo capítulo.

4. IMPORTÂNCIA DA CONTABILIDADE AMBIENTAL

O cenário atual de mudanças climáticas e escassez de recursos naturais está pressionando todos os agentes da cadeia de valor a assumirem a importância da variável ecológica. De acordo com Baldarelli et al. (2017), tal variável deixou de representar apenas custos e obrigações para as empresas, pois passou a oferecer uma oportunidade de obter benefícios econômicos, ao desempenhar atividades relacionadas a ela, como por exemplo, gestão de resíduos, assumindo uma postura positiva e direta com o respectivo negócio. Uma vez entendida sua importância, as autoras identificam a necessidade de aprimorar métodos de comunicação ambiental, no que diz respeito a

avaliação, medição e transmissão das informações correspondentes a todas as partes interessadas.

Azevedo (2015) afirma que a concretização da sustentabilidade ambiental está fundamentada em princípios econômicos, uma vez que a EC tem por objetivo conservar e aperfeiçoar o capital natural, ao gerir esses recursos de maneira sustentável. Nesse contexto, a CA está posicionada como uma técnica de gestão que auxilia a tomada de decisões e o planejamento em diversos níveis de atividades ligadas a EC, como também como ferramenta de comunicação com a sociedade sobre o desempenho da organização nesse aspecto. (EMF, 2012).

Conforme Buren et al. (2016), a administração financeira, principalmente nas tarefas de aquisição e “*sourcing*”, é um dos principais desafios para a concretização da EC, como também custos com matéria-prima secundária, com *ecodesign* e com as dificuldades geradas pela extensão do tempo de vida dos produtos, o que altera algumas responsabilidades, como também eleva a complexidade do gerenciamento devido à transição, traduzindo-se em custos mais altos.

Para Jasch (2009), a empresa arca com diversos desafios ao se posicionar como uma empresa “verde” e adotar procedimentos baseados na EC, sendo, portanto, necessário o estudo e o aperfeiçoamento de ferramentas colaborativas de gestão, principalmente financeira. A autora aponta essa necessidade ao afirmar que despesas e investimentos ambientais são vistos como valores adicionais, não inclusos em variáveis econômicas, o que resulta em desconhecimento sobre o valor desse desempenho. A CA auxilia a compreensão dos aspectos econômicos envolvidos nesses procedimentos, pois permite a visualização do desempenho ambiental.

Devido à mudança do cenário mundial, a imprescindibilidade dessa conexão está cada vez mais evidente. Baldarelli et al. (2017) acrescentam que os motivos que embasam a relevância da mensuração do desempenho ambiental estão compreendidos pelos benefícios advindos das decisões de investimento, esses são apresentados pela redução dos custos ambientais ao mesmo tempo que contribui para a sustentabilidade, como por exemplo, trocar tecnologias de fim de tubo e tratamento de resíduos por modificações “verdes” no decorrer do processo; pelo gerenciamento dos custos de gestão ambiental e logística reversa; pela identificação de economias envolvidas outrora

negligenciadas; e pela visualização de oportunidades de receita ambiental, através de vantagem competitiva ou de novos negócios.

Essa otimização do desempenho ambiental, ao conciliar custos e minimização de impacto, pode ser entendida como ecoeficiência, cujo cálculo é compreendido pela divisão do valor do produto pela sua influência ambiental. Logo, informações financeiras são essenciais para sua visualização. Burritt e Schaltegger (2001) destacam a interferência que a CA opera nesse numerador e na agregação de valor ambiental, uma vez que esses valores são vinculados a informações físicas. Para os autores, calcular somente a ecoeficiência não é suficiente para agregar valor, mas a sua prospecção, sendo necessário integrá-la ao orçamento, pois as informações orçadas são importantes para a empresa. Depois de compreender o valor agregado da ecoeficiência, ações de curto prazo deverão ser incentivadas para alcançar os objetivos de longo prazo, possibilitando o progresso sustentável da organização e sua melhoria contínua.

Uma vez que um dos objetivos da EC anteriormente citados é o resíduo zero, Burritt e Schaltegger (2001) apontam que a CA é uma das protagonistas para alcançar essa meta, através da identificação no orçamento do valor agregado que os resíduos, outrora ignorados, poderiam gerar ao processo produtivo, como também a percepção da redução de custos com o tratamento, manuseio e até mesmo com os passivos ambientais atrelados a estes, no que os autores colocam como gerenciamento proativo. Logo, se reduzidos os custos ambientais, a gestão ambiental é estimulada e a ecoeficiência aprimorada, através da prevenção no lugar de simples redução ou tratamento.

Sendo assim, de acordo com Tinoco e Kraemer (2011), a CA é capaz de identificar e alocar os custos ambientais, de informar detalhadamente o desempenho ambiental e de controlar o uso dos recursos naturais, de forma que essas atividades agreguem valor e que o produto possa alcançar seu mais alto nível de utilidade, como sugere a EC. Para tanto, os autores sugerem que as contas ambientais não sejam segregadas, mas inteiradas aos fatos contábeis, para que esses representem com eficácia o patrimônio da organização, pois os custos ambientais compõem os custos totais. A identificação das contas ambientais é importante para a tomada de decisões, com ênfase nas relevantes, mas que em outros termos, são como qualquer outra conta da empresa, logo, não se deve separá-las, como comumente ocorre em algumas entidades (JASCH, 2009).

Dito isso, Azevedo (2015) salienta que há um longo caminho a se percorrer para alcançar a efetividade da EC no Brasil, uma vez que a sua aplicação acontece em casos isolados e ainda depende da motivação do mercado, que pratica a sustentabilidade influenciada por interesses próprios, não se estendendo ao coletivo. A autora sugere uma maior intervenção do Poder Público para a preservação ambiental, embora já então consolidada a Política Nacional de Resíduos Sólidos, desde 2010, mas há muito para estudar e evoluir nesse tema, como por exemplo, a discussão sobre o balanço ambiental não ser obrigatório para empresas potencialmente poluidoras no país, visto que ainda não existe uma legislação específica. Portanto, persiste a necessidade na literatura de estudos sobre o desenvolvimento e a importância da CA na EC e sobre a viabilidade de sua obrigatoriedade no meio empresarial.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A EC é um sistema regenerativo que substitui o sistema linear de consumo por um ciclo fechado de produção, no qual resíduos se transformam em matéria-prima secundária, através restauração e recuperação, envolvendo atividades auxiliares como a logística reversa e a análise do ciclo de vida, que objetivam a minimização do impacto ambiental da organização. Logo, a EC objetiva aprimorar o capital natural, prospectando assim uma transição desafiadora, que requer uma rede colaborativa e o aperfeiçoamento de tais técnicas e ferramentas, como também demanda a promoção da percepção ambiental e da sua importância no meio produtivo.

Tendo em vista essa necessidade, a CA é um ramo da contabilidade que estuda o patrimônio ambiental da empresa, atuando como um meio de comunicação entre a empresa e a sociedade sobre seu desempenho ambiental, ao identificar, mensurar e alocar custos e receitas provenientes deste, através do balanço ambiental. Tal demonstrativo sinaliza valores advindos de investimentos e atividades de preservação propulsoras de receita, de gastos com obrigações e perdas ambientais e de custos envolvidos com tais atividades; a fim de elevar a ecoeficiência da entidade, ao apoiar a administração de tais recursos e ascender a sua performance sustentável.

A ecoeficiência está ligada à relevância da variável ecológica no contexto atual de desenvolvimento econômico, partindo da posição de apenas geradora de custos para a condição de vantagem competitiva no mercado. A concretização desse viés

sustentável está fundamentada nos princípios de EC e no sucesso de suas ferramentas de gestão, sendo este um de seus primordiais desafios, principalmente no que se refere à administração financeira, devido à mudança na alocação de custos que tal transição opera.

Portanto, a CA é essencial para o cálculo e a efetivação da ecoeficiência, uma vez que ela está ligada a informações físicas, como também através da CA é possível sofisticar a tomada de decisões que irão impactar esse desempenho e chegar mais próximo de atingir o resíduo zero ao mesmo tempo em que se reduzem custos ambientais. Sendo assim, a CA é relevante no sentido que ressalta a importância da variável ecológica na organização e assiste seu progresso, cabe assim, refletir sobre a sua não obrigatoriedade para empresas consideradas poluidoras.

REFERÊNCIAS

- ANDREWS, D. **The circular economy, design thinking and education for sustainability**. Local Economy, Vol. 30(3) 305–31, 2015.
- AZEVEDO, Juliana Laboissière. **A Economia Circular Aplicada no Brasil: uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa**. In: Anais... Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2015.
- BALDARELLI, Maria-Gabriella; BALDO, Mara; NESHEVA-KIOSSEVA, Ninel. **Environmental Accounting and Reporting**. CSR, Sustainability, Ethics & Governance, Springer, 2017.
- BCSD PORTUGAL. **Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável**. Lisboa, BCSD Portugal, 2013. Disponível em: <<http://bcsdportugal.org/wp-content/uploads/2013/10/BrochuraBCSD-EC.pdf>>. Acesso em: 01 de agosto de 2020.
- BERGAMINI JÚNIOR, S. **Contabilidade e riscos ambientais**. Revista do BNDES, v. 6, n. 11, p. 97-116, jun., 1999.
- BERNDTSSON, M. **Circular Economy and Sustainable development**. Tese de mestrado em Desenvolvimento Sustentável, Department of Earth and Sciences, Uppsala University, 2015.
- BONCIU, F. **The European Economy: From a Linear to a Circular Economy**. Romanian Journal of European Affairs 14(4), 78-91. 2014.
- BUREN, Nicole; DEMMERS, Marjolein; HEIJDEN, Robert; WITLOX, Frank. **Towards a Circular Economy: The Role of Dutch Logistics Industries and Governments**. Sustainability. 8. 647, julho de 2016.

BURRIT, R; SCHALTEGGER, S. **Eco-efficiency in corporate budgeting**. Environmental Management and Health, 12, maio de 2001.

CONSELHO FEDERAL DE CONTABILIDADE (CFC). **NBC TE XXX interação da entidade com o meio ambiente**. Disponível em: <https://cfc.org.br/wp-content/uploads/2016/02/NBC_TE_INTERACAO_DA_ENTIDADE_MEIO_AMBIEN-TE.pdf>. Acesso em: 10 de agosto de 2020.

COSTA, C. A. G DA. **Contabilidade Ambiental: mensuração, evidência e transparência**. São Paulo: Atlas, 2012.

DIAS, R. **Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. 2 ed. São Paulo, Atlas, 2011.

Ellen MacArthur Foundation- EMF. **Rumo à Economia Circular: o racional de negócio para acelerar a transição**. 2015. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-a%CC%80-economia-circular_Updated_08-12-15.pdf>. Acesso em: 01 de agosto de 2020.

Ellen MacArthur Foundation- EMF. **Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition**. 2012. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>>. Acesso em: 01 de agosto de 2020.

JASCH, C. **Environmental and flow cost accounting, principals and procedures**. Springer, 2009.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. **Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions**. Resources, Conservation and Recycling, Vol. 127, Setembro, pp. 221–232, 2017.

LEMOS, P. **Economia Circular como fator de resiliência e competitividade na região de Lisboa e Vale do Tejo: estudos para uma região RICA - resiliente, inteligente, circular e atractiva**. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo, Lisboa, 2018.

LUCAS, M. R. **Economia Circular**. Semanário Registo, 278, Setembro, 2017.

PRESTON, Felix. **A Global Redesign? Shaping the Circular Economy**. Chatham House Briefing Paper, Março, 2012.

RIBEIRO, M. S. **Contabilidade ambiental**. São Paulo: Saraiva, 2010.

SANTOS, G.M.A. **A gestão ambiental rumo à economia circular: como o Brasil se apresenta nessa discussão**. In: XIII Congresso Nacional de Excelência em Gestão & IV INOVARSE - Inovação & Responsabilidade Social-CNEG, Rio de Janeiro, 2017.

TINOCO, J. E. P.; KRAEMER, M. E. P. **Contabilidade e Gestão Ambiental**. 3 ed., São Paulo:
Atlas, 2011.

CAPÍTULO VI

ENDÓFITOS BACTERIAIS: UMA ALTERNATIVA AGROECOLÓGICA NO MANEJO DE COUVE (*BRASSICA OLERACEA* VAR. *ACEPHALA*)

João Manoel da Silva¹

Clayton dos Santos Silva²

Jakes Halan de Queiroz Costa³

Tania Marta Carvalho dos Santos³

Yamina Coentro Montaldo³

¹ Doutorando em Biotecnologia, Rede Nordeste de Biotecnologia (Renorbio). Universidade Federal de Alagoas - UFAL

² Mestrando em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

³ Professor(a) Doutor(a) do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias. Universidade Federal de Alagoas - UFAL

RESUMO

Dentre as culturas agrícolas de maior expressividade econômica, as espécies da família Brassicaceae destacam-se como uma das mais populares na alimentação humana. A couve-manteiga (*Brassica oleracea* var. *acephala*) é um ingrediente essencial em diversos pratos regionais, sendo uma excelente fonte nutricional para crianças, jovens e idosos. Entretanto, a produção brasileira vem sofrendo com a incidência de pragas e doenças que acometem a lavoura, sendo a podridão negra das crucíferas (PNC), a principal causa de perdas econômicas de seus produtores. Diante deste contexto, objetiva-se a construção de um arcabouço teórico mediante revisão de literatura sobre o manejo fitotécnico e fitossanitário agroecológico de cultivares de couve comum, na premissa de agregar ao conhecimento científico ecológico na preservação da agrobiodiversidade em comunidades familiares rurais e tradicionais.

Palavras-chave: Fitotecnia. Controle biológico. Manejo ecológico.

1. INTRODUÇÃO

Detendo alta relevância econômica, sociocultural e política para o país, a horticultura impulsiona o desenvolvimento de comunidades rurais e tradicionais (AVILA, 2017), a geração de emprego e renda (GAZOLLA SCHNEIDER, 2017) e o fornecimento de alimentos de qualidade para o consumo em escolas, hospitais, restaurantes e domicílios, contribuindo na cadeia produtiva e no abastecimento de mantimentos de necessidade básica. Todavia, nas últimas décadas, os problemas fitossanitários têm sido objeto de estudo em instituições de ensino e pesquisa do Brasil e do mundo, em detrimento da incidência de pragas e doenças que acometem as mais variadas culturas,

sejam de interesse agrícola, zootécnico, farmacológico ou florestal, responsável por inúmeras perdas substanciais no setor agropecuário brasileiro.

Constituindo uma das famílias botânicas de maior importância para unidades familiares rurais, a família *Brassicaceae* (*Cruciferae*), conhecida por agrupar espécies alimentícias convencionais como o repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*), o brócolis (*B. oleracea* var. *italica*), o rabanete (*Raphanus sativus*), a rúcula (*Eruca sativa*), a couve-flor (*B. oleracea* var. *botrytis*) e a couve comum (*B. oleracea* var. *acephala*) (SANTOS, 2000; CARVALHO; CLEMENTE, 2004), também é empregada em sistemas médicos populares, decorações e projetos paisagísticos e na produção de óleos e gorduras vegetais, utilizados para fins alimentícios e bioenergéticos. Contudo, algumas patologias como manchas, murchas, mosaicos, podridões e ferrugens despertam a atenção e o cuidado no seu manejo pré e pós-plantio.

Dentre as bacterioses mais comuns em crucíferas, a podridão negra (PNC), disseminada pelo fitopatógeno *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Pammel) Dowson (Xcc), destaca-se pela severidade de suas lesões, podendo acarretar necrose foliar e em casos mais graves, a senescência total do vegetal (MARINGONI, 1997; BEDENDO, 2011).

Seu principal hospedeiro é a couve comum, uma olerícola folhosa de clima ameno com distribuição em todo território nacional e grande aceitação pelo mercado consumidor, integrando o ranking das 50 espécies hortícolas mais comercializadas no país, segundo dados publicados pela EMBRAPA Hortaliças no ano de 2010.

Em decorrência do aumento do uso de agroquímicos (agrotóxicos ou defensivos) no manejo das lavouras e da escassez de intervenções sustentáveis e ecológicas para a promoção de crescimento vegetal e para o controle da PNC e de outras doenças de plantas, o controle biológico (biocontrole) surge de forma alternativa pela utilização de agentes biológicos (fungos, vírus, bactérias e nematoides) no manejo fitotécnico e fitossanitário da lavoura, gerando menos impactos no ambiente, mantendo o equilíbrio dos sistemas agrícolas e da agrobiodiversidade local.

Portanto, objetivou-se por intermédio deste trabalho, desenvolver uma revisão de literatura sobre o manejo agroecológico por meio de endófitos bacterianos para promoção de crescimento e resistência à PNC em plantas de couve-manteiga, como contribuição técnico-científica na preservação da agrobiodiversidade brasileira.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Bactérias endofíticas: Agentes Biológicos de Controle (ABC)

No decorrer do processo evolutivo, as plantas desenvolveram mecanismos de adaptação ao seu habitat e evoluíram para a sua sobrevivência (PEIXOTO NETO; AZEVEDO; ARAÚJO, 2004), paralelamente, os micro-organismos associados a essas plantas também sofreram adaptações que as conferiram tolerância a ambientes com baixa disponibilidade hídrica e a aptidão de proteção às plantas contra determinadas adversidades ambientais (KAVAMURA et al., 2013).

Estes micro-organismos são classificados como endofíticos, pois habitam no interior das plantas, geralmente suas partes aéreas, sem causar danos ao hospedeiro (HALLMANN et al., 1997; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), característica esta, que os diferem dos micro-organismos fitopatogênicos (AZEVEDO, 1998), os quais causam danos às plantas, sendo refletido em seus órgãos ou metabolismo.

As primeiras menções da existência de bactérias e fungos endofíticos ocorreram no ano de 1866, com os estudos do cientista alemão Heinrich Anton de Bary, que distinguiu esta classe de micro-organismos dos patógenos de plantas. Entretanto, apenas no final da década de 70, quando as suas propriedades farmacológicas, biotecnológicas e de promoção de crescimento vegetal despertaram a atenção de pesquisadores em todo o mundo, que os estudos e as posteriores descobertas ganharam ênfase e notoriedade no meio científico (AZEVEDO, 1998; SANTOS; VARAVALLO, 2011).

Acredita-se que todos os vegetais do planeta possuem micro-organismos associados (estima-se a existência de mais de 1.000.000 de espécies diferentes), podendo uma determinada planta hospedar mais espécies microbianas do que outras, indicando a grande biodiversidade de fungos e bactérias endofíticas em todos os continentes (PETRINI, 1991; STROBEL; DAISY, 2003; AMATUZZI, 2014). Esse grupo é classificado conforme a sua ocorrência em um determinado hospedeiro, onde, as espécies encontradas com maior frequência são classificadas como dominantes, em contrapartida, as espécies mais escassas (raras) são denominadas secundárias (AZEVEDO, 1998).

Os principais gêneros de endófitos bacterianos já descritos na literatura são *Acetobacter*, *Acinetobacter*, *Actinomyces*, *Agrobacterium*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Curtobacterium*, *Pantoea*, *Pseudomonas* e *Xanthomonas* (HALLMANN et al., 1997; PEIXOTO NETO, AZEVEDO; ARAÚJO, 2002), encontrados principalmente no algodão (*Gossypium hirsutum*), na batata (*Solanum tuberosum*), na beterraba (*Beta vulgaris*), no milho comum e doce (*Zea mays*) e em diversos tipos de citrus (AZEVEDO, 1998). Esse conjunto de hospedeiros forma o grupo das espécies vegetais com o maior número de bactérias associadas relatadas até os dias de hoje.

Diversos autores relatam o sucesso do uso de endófitos no controle de fitopatógenos, como algumas bactérias do gênero *Erwinia* (simbiontes de soja), comumente utilizadas para o controle de *Pseudomonas syringae* pv. *glycinea*, agente etiológico da “queima bacteriana da soja” (VOLKSCH; ULLRICH; FRITSCH, 1992); o endófito *Bacillus pumilus*, que em estudo realizado por Nicole Benhamou no ano de 1996, promoveu a indução de resistência em plantas de ervilha (*Pisum sativum*) microbiolizadas ao *Fusarium oxysporum* f. sp. *Pisi*; na cultura do arroz (*Oryza sativa*) inúmeras estirpes associadas apresentaram propriedades antifúngicas contra *Guamanomyces graminis*, *Heterobasidium annosum*, *Pythium myriotylum* e *Rhizoctonia solani*, micro-organismos infecciosos de espécies agrícolas e florestais (MUKHOPADHYAY et al., 1996), havendo mais exemplos na literatura que reforçam a eficiência do controle biológico de doenças de plantas por bactérias endofíticas.

Todos estes mecanismos de ação (diretos e indiretos) auxiliam no sucesso da produção, proporcionando o estabelecimento, a proteção e o desenvolvimento das mais diferentes culturas agrícolas em todo o mundo (PEIXOTO NETO, AZEVEDO; ARAÚJO, 2002; LUZ et al., 2006).

2.2. A cultura da couve

A couve manteiga, também conhecida como couve de folhas (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) tem seu centro de diversidade apontado por pesquisadores à região do Mediterrâneo, da Ásia Menor e da Costa Ocidental Europeia (BALKAYA; YANMAZ, 2005), tendo como ancestral primário a couve silvestre. Sua introdução no Brasil se deu a partir da entrada de material propagativo trazido pelos navegantes portugueses durante o período colonial (MADEIRA; REIFSCHNEIDER; GIORDANO, 2008).

A hortalica é uma herbácea típica de clima ameno ou frio (entre 16-22 °C), de ciclo anual ou bienal (NOVO et al., 2010) e de porte ereto, podendo atingir aproximadamente 40 a 120 cm de altura, apresentando folhas simples, verde claras, pecíolo longo, limbo e nervuras bem desenvolvidas e filotaxia rosulada ao redor de seu caule (FILGUEIRA, 2003).

Atualmente, a espécie é uma das mais populares na alimentação humana (SANTOS, 2000; CARVALHO; CLEMENTE, 2004), consumida em sua forma *in natura* ou como ingrediente em diversos pratos, como sucos, sopas, saladas e refogados (SANTOS et al., 2017), sendo um vegetal rico em proteínas, carboidratos, fibras, ferro, fósforo, enxofre, cálcio, vitaminas A, C e K, tiamina, riboflavina, ácido ascórbico e carotenóides (FILGUEIRA, 1982; EMBRAPA, 2010), o que conferem-lhe propriedades cicatrizantes e anticancerígenas (MORENO et al., 2006), além de preventivas contra doenças oftalmológicas e intestinais (LEFSRUD et al., 2007; TRANI et al., 2015).

Cultivada em todo Brasil, a produção comercial concentra-se na região centro-sul do país, onde estima-se uma área aproximada de 6.128 hectares cultivados de couve-manteiga (VILELA; LUENGO, 2017), com destaque para os Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, maiores polos de produção da cultura, respectivamente (WRUCK; OLIVEIRA; DIAS, 2010).

Para a comercialização da hortalica, vários atributos físicos e sensoriais são avaliados pelos produtores e seus respectivos consumidores, aspectos estes, que ajudam a assegurar a receptividade do alimento pelo mercado, como aparência, tamanho, forma, brilho e cor da folha (NOVO et al., 2010). Entretanto, algumas pragas e doenças interferem diretamente na qualidade do produto, gerando prejuízos econômicos para o agricultor e a consequente redução da quantidade ofertada nos mercados, supermercados e feiras livres (SILVA et al., 2019).

Já as principais doenças que acometem o seu cultivo são a alternaria (*Alternaria brassicae*), fusariose (*Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans*); hérnia das crucíferas (*Plasmodiophora brassicae*); míldio (*Peronospora parasitica*); podridão mole (*Erwinia carotovora* var. *carotovoa*) e podridão negra (*Xanthomonas campestris* pv. *campestris*) (ABCSEM, 2015; TRANI et al., 2015), sendo esta, a doença mais importante das brássicas (WILLIAMS, 1980) e o principal alvo de pesquisas fitopatológicas na cultura da couve (WRUCK; OLIVEIRA; DIAS, 2010).

2.3. Podridão Negra das Crucíferas (PNC)

As bactérias do gênero *Xanthomonas* (do grego “*xanthus*” = amarelo, “*monas*” = unidade) (BRADBURY, 1984) são consideradas o grupo mais importante de fitopatógenos de espécies agricultáveis (LEYNIS et al., 1984) ao se tratar de bactérias (estima-se a existência de mais de 100 patógenos de plantas reunidos nesse gênero) (BEDENDO, 2011), tendo cada vegetal existente no planeta, pelo menos uma xantomona como agente etiológico de doenças, principalmente de parte aérea (MARCUSO, 2009).

De acordo com a sua classificação filogenética, o gênero *Xanthomonas* pertence ao filo *Proteobacteria*, a classe *Gammaproteobacteria*, a ordem *Xanthomonadales* e a família *Xanthomonadaceae* (DOWSON, 1939; GARRITY; HOLT, 2000), constituído por 20 espécies (*X. albilineans*, *X. arboricola*, *X. axonopodis*, *X. bromi*, *X. campestris*, *X. cassavae*, *X. codiae*, *X. cucurbitae*, *X. fragariae*, *X. hortorum*, *X. hyacinthi*, *X. melonis*, *X. oryzae*, *X. pisi*, *X. populi*, *X. sacchari*, *X. theicola*, *X. translucens*, *X. vasicola* e *X. vesicatoria*) (TAKATSU, 2000).

Dentre estas, a espécie *campestris* (principal fitopatógeno da couve-manteiga), destaca-se como a mais complexa e com o maior número de patovares (pv.), subdividida em aproximadamente 140 (BRADBURY, 1984), diferindo-se de hospedeiro e tecido lesionado (TESSMANN, 2002).

Desde o início do século XX, que o grupo tem sido alvo de intensos estudos taxonômicos e filogenéticos, sendo descrito pela primeira vez em 1921, como patógeno de cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum*) e pimenta (*Capsicum* spp.). Contudo, o fitopatologista inglês Walter John Dowson, no ano de 1939, propôs a reclassificação das bactérias fitopatogênicas em quatro gêneros distintos: *Bacterium* (em 1953 o nome genérico passou a ser considerado inválido, sendo as espécies pertencentes ao mesmo redistribuídas entre os gêneros *Pectobacterium* e *Erwinia*), *Pseudomonas* e *Xanthomonas* (DOWSON, 1949; GARRETT, 1981), onde, a aptidão em provocar doenças e consequentes danos em diferentes culturas de interesse agrônomo, tornou o estudo dessa classe de micro-organismos infecciosos mais aprofundado e aplicado para a resolução dos problemas em campo (LEITE JÚNIOR, 1990).

Ultimamente, o gênero é responsável por inúmeros prejuízos na produção agropecuária em todo o mundo (QUEZADO-DUVAL; LOPES, 2010), decorrente dos agravos originados, tais como, manchas foliares (MARCOLIN; CARMO; GARCIA, 2015), lesões necróticas em caule, folhas e frutos (AIELLO et al., 2013), murchas (ALMEIDA; RODRIGUES; BERIAM, 2014), cancrios (MORAES et al., 2011), dentre outros sintomas, infectando uma gama de aproximadamente 400 espécies vegetais, como arroz (*Oryza sativa*), feijão (*Phaseolus vulgaris*), uva (*Vitis vinifera*),

manga (*Mangifera indica*), maracujá (*Passiflora edulis*), mandioca (*Manihot esculenta*), algodão (*Gossypium hirsutum*), tomate (*Solanum lycopersicum*), batata (*Solanum tuberosum*), trigo (*Triticum aestivum*), nim (*Azadirachta indica*), cítricos e crucíferas (brássicas) (LEYNS et al., 1984).

A podridão negra das crucíferas (PNC), descrita pela primeira vez em 1889 (MAJI; NATH, 2015), é uma enfermidade que acomete espécies da família *Brassicaceae*, dentre elas, a couve-manteiga (Maringoni, 1997). Ocasionalmente pelo fitopatógeno bacteriano *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Pammel) Dowson (Xcc), a PNC tem gerado consideráveis perdas na produtividade e na sanidade dos alimentos consumidos, onde, estima-se a diminuição de 60% da produção em decorrência da doença (DZHALILOV; TIWARI, 1995).

No Brasil, a bacteriose tem provocado a redução do valor comercial da cultura, havendo casos de incidência da doença em todo território nacional, principalmente nos Estados do Amazonas, Amapá, Bahia, Goiás, Pernambuco, Paraná, Rio Grande do Sul, Sergipe e no Distrito Federal (MALAVOLTA JÚNIOR et al., 2008).

Seu agente etiológico é caracterizado como gram-negativo de coloração amarelada, móvel e uniflagelado (ELROD; BRAUN, 1947), arranjado no formato de bacilos (aspecto celular do tipo bastonete), com metabolismo respiratório aeróbico e formação de colônias não esporogênicas de tamanho mediano (0,4-0,7 x 0,7-1,6 μm), com superfície lisa, circular e brilhante, apresentando temperatura ótima de crescimento (incubação) entre 28-30 $^{\circ}\text{C}$ (ANDRADE et al., 2005) e estrutura celular complexa (BRADBURY, 1984).

A principal característica genérica que difere este grupo de patógenos dos demais, consiste na síntese de um polissacarídeo extracelular (EPS) (SUTHERLAND, 1993) de consistência gomosa (viscosa) (PAN; MOREIRA; VENDRUSCOLO, 2000), obtido durante o processo de crescimento bacteriano em meio de cultura, denominado xantomonadina (aril-polieno-brominado) (BRADBURY, 1986), conhecido popularmente como goma xantana, utilizada por indústrias alimentícias, agropecuárias, farmacêuticas, químicas e petrolíferas (ROSALAM; ENGLAND, 2006).

A Xcc sobrevive no solo e em restos vegetais (em associação ou não), plantas daninhas, plantas doentes remanescentes e materiais de propagação, alojando-se em seu interior ou em sua superfície, adquirindo característica epífita. Sua disseminação pode ocorrer a curtas e longas distâncias, através de interferências ambientais, tal como, respingos de água de chuva e de irrigação pela incidência de ventos fortes ou por interferências de ação humana, por meio do transporte de sementes e mudas doentes ou pela utilização de ferramentas infectadas durante o manejo da lavoura, favorecendo a inoculação da bactéria nas plantas de couve (MARINGONI, 1997).

Após a penetração do patógeno pelos hidatódios (estruturas foliares responsáveis pela secreção do excesso de água por meio do processo de gutação, caracterizando-se como principal portal de entrada do agente causal em crucíferas) (REIS; OLIVARES, 2006), as bactérias em suspensão colonizam os vasos do xilema, ocasionando o escurecimento dos seus tecidos (descoloração vascular) (HUGOUVIEUX; BARBER; DANIELS, 1998), induzindo o desenvolvimento de lesões cuneiformes nos bordos foliares, como avarias amareladas em forma de “V” (principal sintoma característico da espécie). Além dessa injúria, outros sintomas estruturais são expressos como subdesenvolvimento, murcha, necrose, queima e queda prematura das folhas e apodrecimento das plantas infectadas (MARINGONI, 1997; BEDENDO, 2011).

Devido à vulnerabilidade da hortaliça ao ataque do agente deletério, novas alternativas de manejo têm sido adotadas para facilitar a diagnose e o controle da PNC (NÚÑEZ, 2015). Recomenda-se ao produtor a utilização de materiais propagativos de boa procedência e a desinfecção dos maquinários, equipamentos e utensílios que possam converter-se em vetores do patógeno, infectando plantas sadias e disseminando a moléstia. Além destas práticas, a utilização de cultivares e híbridos resistentes (controle genético), a realização da aração na área de plantio, a eliminação de restos culturais e a rotação de culturas (controle cultural), o tratamento térmico de sementes em altas temperaturas (controle físico) e o emprego de microorganismos antagônicos (controle biológico) (MARINGONI, 1997), também podem auxiliar na redução da severidade da Xcc e no fortalecimento de práticas agroecológicas na produção familiar.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda inexpressiva, as pesquisas e contribuições científicas são iniciais e introdutórias em relação às demais folhosas (alface, repolho e rúcula) e a outras culturas agrícolas de maior expressividade econômica (cana-de-açúcar, milho e soja), sendo a restrição de dados atualizados do quadro produtivo e de informações sobre manejo sustentável específico para a espécie, um grande empecilho para o mapeamento e a tomada de estratégias para o estabelecimento do cultivo agroecológico da couve de folhas como uma efetiva fonte de renda para a agricultura familiar, resgatando a função social da terra na preservação da agrobiodiversidade e de recursos genéticos nativos e adaptados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Laboratório de Microbiologia do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, CAPES e CNPq.

REFERÊNCIAS

- ABCSEM. 2015. Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas. **Manual Técnico para cultivo de hortaliças**. Terceira edição, Campinas, São Paulo, Brasil, 54p.
- AIELLO, D.; SCUDERI, G.; VITALE, A.; FIRRAO, G.; POLIZZI, G.; CIRVILLERI, G. A. Pith necrosis caused by *Xanthomonas perforans* on tomato plants. **European Journal of Plant Pathology**, v. 137, p. 29-41, 2013.
- ALMEIDA, I. M. G.; RODRIGUES, L. M. R.; BERIAM, L. O. S. *Xanthomonas fuscans* subsp. *fuscans* causing wilt symptoms in bean plants (*Phaseolus vulgaris*) in Brazil. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 20, n. 10, p. 1-3, 2014.
- AMATUZZI, R. F. 2014. **Fungos endofíticos do morangueiro e potencial de controle biológico de *duponchelia fovealis zeller* (Lepidoptera: Crambidae)**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, Brasil. 52p.
- ARAÚJO, R. G. V.; SILVA, C. S.; SANTOS, T. M. C.; LIMA, J. R. B.; MONTALDO, Y. C.; ABREU, L. A.; SILVA, A. B.; ARAÚJO JÚNIOR, J. V.; SILVA, J. M. Potential of endophytic bacteria of the *Bacillus* genus to *Brassica oleracea* var. *acephala* growth promotion. **Asian Academic Research Journal of Multidisciplinary**, v. 6, n. 3, p. 53-61, 2019.
- AVILA, S. R. 2017. **A influência da adubação orgânica na preferência alimentar de *Brevicoryne brassicae* (Homoptera: Aphididae) em *Brassica oleracea* var. *acephala* (Brassicaceae)**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal De Pelotas. Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. 62p.
- AZEVEDO, J. L. 1998. **Microrganismos endofíticos**. In: MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. [eds.]. Ecologia microbiana. 486, Embrapa-CNPMA, Jaguariúna, São Paulo, Brasil.
- BALKAYA, A.; YANMAZ, R. 2005. Promising kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) populations from Black Sea region, Turkey. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 33, p. 1-7.
- BEDENDO, I. P. 2011. **Bactérias fitopatogênicas**. In: Manual de fitopatologia: Princípios e conceitos. [S.l: s.n.]. Editora Agronômica Ceres, São Paulo, São Paulo, Brasil.
- BEDENDO, I. P.; MASSOLA JÚNIOR, N. S.; AMORIM, L. 2011. **Controles cultural, físico e biológico de doenças de plantas**. In: AMORIM, L., REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN

FILHO, A. [eds.]. Manual de fitopatologia: Princípios e conceitos, 2011. pp. 367-388, São Paulo: Editora Agronômica Ceres.

BRADBURY, J. F. **Guide to plant pathogenic bacteria**. Slough: Editora CAB International Mycological Institute, 1986. 332p.

BRADBURY, J. F. **Xanthomonas Dowson (1939)**. In: BERGEY, D. H.; KRIEG, N. R.; HOLT, J. C. [eds.]. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, 1984. pp. 199–210.

CARVALHO, P. T. C.; CLEMENTE, E. Qualidade de brócolis (*Brassica oleracea* var. *itálica*) em embalagem com atmosfera modificada. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 26, n. 4, p. 497-502, 2004.

DOWSON, W. J. 1949. **Manual of bacterial plant diseases**. Londres: Adam & Charles Black, 1949.

DOWSON, W. J. **On the systematic position and generic names of the gramnegative bacterial plant pathogens**. *Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde und Infektionskrankheiten*, 1939. pp. 177-93.

DZHALILOV, F. S.; TIWARI, R. D. Soil and cabbage plant debris as infection sources of black rot. **Archive für Phytopathologie und Pflanzenschutz**, v. 29, p. 383-387, 1995.

ELROD, R. P.; BRAUN, A. C. Serological studies of the genus *Xanthomonas*. I-cross-agglutination relationships. **Journal of Bacteriology**, v. 53, n. 5, p. 509-518, 1947.

EMBRAPA. 2010. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Catálogo brasileiro de hortaliças**: Saiba como plantar e aproveitar 50 das espécies mais comercializadas no país. Embrapa Hortaliças: SEBRAE, Brasília, Distrito Federal, Brasil, 59p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: Editora UFV, 2003.

FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de olericultura**: Cultura e comercialização de hortaliças. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1982.

GARRETT, S. D. Pioneer leaders in plant pathology: W. J. Dowson. **Annual Review of Phytopathology**, v. 19, p. 29-34, 1981.

GARRITY, G. M.; HOLT, J. G. **An overview of the road map to the manual**. Nova York: *Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology* 2000.

GAZOLLA, M; SCHNEIDER, S. **Cadeias curtas e redes agroalimentares alternativas**: Negócios e mercados da Agricultura Familiar. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2017.

HALLMANN, J.; QUADT-HALLMANN, A.; MAHAFFEE, W. F.; KLOEPPER, J. W. Bacterial endophytes in agricultural crops. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 43, p. 895-914, 1997.

- HINTON, D. M.; BACON, C. W. Enterobacter cloaca eis na endophytic symbiont of corn. **Mycopathologia**, v. 29, n. 2, p. 117-125, 1995.
- HUGOUVIEUX, V.; BARBER, C. E.; DANIELS, M. J. Entry of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* into hydathodes of Arabidopsis thaliana leaves: A system for studying early infection events in bacterial pathogenesis. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 11, n. 6, p. 537-543, 1998.
- KAVAMURA, V. N.; SANTOS, S. N.; SILVA, J. L.; PARMA, M. M.; ÁVILA, L. A.; VISCONTI, A.; MELO, I. S. Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. *Microbiological research*, v. 168, n. 4, p. 183-191, 2013.
- LEFSRUD, M.; KOPSELL, D.; WENZEL, A.; SHEEHAN, J. Chances in kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) carotenoid and chlorophyll pigment concentrations during leaf ontogeny. **Scientia Horticulturae**, v. 112, n. 2, p. 136-141, 2007.
- LEITE JÚNIOR, R. P. 1990. **Cancro Cítrico**: Prevenção e controle no Paraná. Circular 61 do Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR. Londrina, Paraná, Brasil, 51p.
- LEYS, F.; DE CLEENE, M.; SWINGS, J.; DE LEY, J. The host range of the genus *Xanthomonas*. **Botanical Review**, v. 50, n. 3, p. 308-356, 1984.
- LUZ, J. S.; SILVA, R. L. O.; SILVEIRA, E. B.; CAVALCANTE, U. M. T. Atividade enzimática de fungos endofíticos e efeito na promoção do crescimento de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Caatinga**, v. 19, v. 2, p. 128-134, 2006.
- MADEIRA, N. R.; REIFSCHNEIDER, F. V. B.; GIORDANO, L. B. Contribuição portuguesa à produção e ao consumo de hortaliças no Brasil: uma revisão histórica. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 4, p. 428-432, 2008..
- MAJI, A.; NATH, R. Pathogenecity test by using different inoculation methods on *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* caused of black rot of cabbage. **International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences**, v. 3, n. 2, p. 53-58, 2015.
- MALAVOLTA JÚNIOR, V. A.; BERIAM, L. O. S.; ALMEIDA, I. M. G. RODRIGUES NETO, J.; ROBBS, C. F. Bactérias fitopatogênicas assinaladas no Brasil: Uma atualização. **Summa Phytopathologica**, v. 34, p. 1-88, 2008.
- MARCOLIN, G.; CARMO, A. L. M.; GARCIA, F. A. O. Biocontrole *in vitro* de mancha foliar bacteriana do eucalipto, mediado por rizobactérias. **Centro Científico Conhecer**, v. 11, n. 21, p. 346-354, 2015.
- MARCUZZO, L. L. Aspectos epidemiológicos de sobrevivência e de ambiente no gênero *Xanthomonas*. **Ágora: Revista de Divulgação Científica**, v. 16, n. 1, p. 13-19, 2009.

- MARINGONI, A. C. **Doenças das Crucíferas**. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; RESENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. [eds.]. Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas. São Paulo: CERES, 1997. pp. 315-324.
- MORAES, W. B.; JESUS JUNIOR, W. C.; PEIXOTO, L. A.; MORAES, W. B.; CECÍLIO, R. A. Mapeamento das áreas de risco de ocorrência do cancro cítrico no Brasil. **Centro Científico Conhecer**, v. 7, n. 12, p. 1-10, 2011.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2006.
- MORENO, D. A.; CARVAJAL, M.; LOPEZBERENQUER, C.; GARCIA-VIGUERA, C. Chemical and biological characterization of nutraceutical compounds of broccoli. **Journal Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 41, p. 1508-22, 2006.
- MUKHOPADHYAY, N. K.; GARRISON, N. K.; HINTON, D. M.; BACON, C. W.; KHUSH, G. S.; PECK, H. D.; DATTA, N. Identification and characterization of bacterial endophytes of rice. **Mycopathologia, Dordrecht**, v. 134, n. 3, p. 151-159, 1996.
- NOVO, M. C. S. S.; PRELA-PANTANO, A.; TRANI, P. E.; BLAT, S. F. Desenvolvimento e produção de genótipos de couve manteiga. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 321-325, 2010.
- NÚÑEZ, A. M. P. 2015. **Produtos alternativos controlam a podridão negra e aumentam a atividade de enzimas ligadas à defesa em couve**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais, Brasil. 61p.
- PAN, A.; MOREIRA, A. S.; VENDRUSCOLO, C. T. Efeito da concentração inicial do inóculo no crescimento celular e qualidade de biopolímeros de *Xanthomonas campestris* pv. *pruni* cepa 06. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 6, n. 3, p. 273-277, 2000.
- PEIXOTO NETO, P. A. S.; AZEVEDO, J. L.; ARAÚJO, W. L. Microrganismos endofíticos. **Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v. 29, p. 62-77, 2002.
- PETRINI, O. **Fungal endophyte of tree leaves**. In: ANDREWS, J.; HIRANO, S. S. [eds.]. Microbial Ecology of Leaves. New York: Springer, 1991. pp. 179-197.
- QUEZADO-DUVAL, A. M.; LOPES, C. A. 2010. **Mancha bacteriana: uma atualização para o Sistema de Produção Integrada de Tomate Indústria**. Circular Técnica 84, Embrapa Hortaliças. Brasília, Distrito Federal, Brasil, 24p.
- REIS, V. M.; OLIVARES, F. L. 2006. **Vias de penetração e infecção de plantas por bactérias**. Embrapa Agrobiologia. Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil, 34p.
- ROSALAM, S.; ENGLAND, R. Review of xanthan gum production from unmodified starches by *Xanthomonas campestris* sp. Enzyme and **Microbial Technology**, v. 39, n. 2, p. 197-207, 2006.

- Santos, M. A. C. **Caracterização química das folhas de brócoli e couve-flor (*Brassica oleracea* L.) para utilização na alimentação humana**. 2000, 96f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2000.
- SANTOS, S. T.; VIEIRA, L. P.; COSTA, J. P. B. M.; FREITAS, R. S.; REGIS, L. R. L.; OLIVEIRA, F. A. 2017. Produção de mudas de couve manteiga submetidas a diferentes concentrações de soluções nutritivas. **Anais... IV INOVAGRI**. INOVAGRI International Meeting. Fortaleza, Ceará, Brasil.
- SANTOS, T. T.; VARAVALLO, M. A. Aplicação de microrganismos endofíticos na agricultura e na produção de substâncias de interesse econômico. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 32, n. 2, p. 199-212, 2011.
- SHINGO, G. Y.; VENTURA, M. U. Produção de couve *Brassica oleracea* L. var. *acephala* com adubação mineral e orgânica. **Semina: Ciências Agrárias**, 30, 3, 589-594, 2009.
- SILVA, C. S.; ARAÚJO, R. G. V.; LIMA, J. R. B.; SANTOS, T. M. C.; NASCIMENTO, M. S.; MONTALDO, Y. C.; SILVA, J. M. Resistance induction in *Brassica oleracea* var. *acephala* to *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* and growth promotion by endophytic. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 22401-22414, 2019.
- TAKATSU, A. Classificação atual de bactérias fitopatogênicas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 8, p. 93-120, 2000.
- TESSMANN, C. Caracterização molecular de *Xanthomonas campestris* pv. *pruni* pela técnica de *rapd* e prognóstico da produção e qualidade da xantana. 2002, 46f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.
- TRANI, P. A.; TIVELLI, S. W.; BLAT, S. F.; PRELA-PANTANO, A.; TEIXEIRA, E. P.; ARAÚJO, H. S.; FELTRAN, J. C.; PASSOS, F. A.; FIGUEIREDO, G. J. B.; NOVO, M. C. S. S. 2015. **Couve de folha: Do plantio à pós-colheita**. Boletim Técnico 214 do Instituto Agrônomo de Campinas - IAC, Campinas, São Paulo, Brasil, 36p.
- VILELA, N. J.; LUENGO, R. F. A. 2017. **Produção de hortaliças folhosas no Brasil**. Campo & Negócios. Seção Hortifruti. Disponível em: <<http://revistacampoenegocios.com.br/producao-de-hortalicas-folhosas-no-brasil/>>. Acesso em: 18 de março de 2020.
- VOLKSCH, B.; ULLRICH, M.; FRITSCH, W. 1992. Identification and population dynamics of bacteria in leaf spots of soybean. *Microbial Ecology*, 24, 3, 305-311. DOI: 10.1007/BF00167788
- WILLIAMS, P. H. Black Rot: a continuing threat to world crucifers. **Plant Disease**, v. 64, p. 736-742, 1980.
- WRUCK, D. S. M.; OLIVEIRA, J. R.; DIAS, L. A. S. Especificidade de hospedeiro nas interações *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* - brássicas. **Summa Phytopathologica**, v. 36, n. 2, p. 129-133, 2010.

CAPÍTULO VII

USO INTEGRAL DO ABACAXI (ANANAS COMOSUS) NA PRODUÇÃO DE TEMPERO

Keliane da Silva Maia¹

Maria Érica da Silva Oliveira²

Felícia Gabriele França de Oliveira³

Thiago Mendes Fernandes⁴

¹ Doutora em Ciência Animal. Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA

² Mestre em Ciência Animal. Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA

³ Graduanda em Direito. Universidade Potiguar – UnP

⁴ Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal da Paraíba – UFPB

RESUMO

O aproveitamento integral de alimentos é importante para reduzir os desperdícios e para motivar novos hábitos alimentares. Diante disso, teve-se como objetivo na presente pesquisa a elaboração de um tempero à base de abacaxi, como alternativa para o aproveitamento da casca, polpa e cilindro central. Para a caracterização do tempero natural elaborado, foram realizadas as análises de umidade, cinzas, proteínas totais, carboidratos e valor energético. Foi realizada uma avaliação sensorial para verificação da aceitabilidade do tempero quando adicionado à carne bovina. As amostras de carne adicionada de tempero foram submetidas a análises microbiológicas, que foram realizadas com o objetivo de aferir a segurança alimentar das amostras submetidas à avaliação sensorial. Em relação às análises da composição nutricional, verificou-se a presença de nutrientes estruturais na composição do tempero. Além disso, a quantidade de micro-organismos encontrada estava dentro do permitido pela legislação brasileira que dispõe sobre a definição de critérios e padrões microbiológicos para alimentos. Em relação ao resultado da avaliação sensorial, foi possível perceber que o sabor do produto foi a característica mais atrativa, seguido de cor, odor, maciez e suculência. Logo, o uso da casca, polpa e cilindro central foi satisfatório na elaboração do tempero à base de abacaxi.

Palavras-chave: Aproveitamento. Desperdício. Nutrição. Aceitabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O aproveitamento integral dos alimentos pode ser considerado uma alternativa viável para motivar novos hábitos alimentares, além de diminuir o gasto com alimentação (LÔBO; CAVALCANTE, 2017). Assim, para aproveitar de forma integral o alimento é importante e necessário a elaboração de novos produtos. O seguimento dessa proposta é benéfico em vários pontos, pois pode-se melhorar a alimentação, diminuir o desperdício, além de ajudar o meio ambiente, causando menor impacto e,

com isso, propagar uma mudança construtiva para o consumo sustentável (LEITÃO; LEITÃO, 2015).

Tendo em vista que uma alimentação adequada se dá na ingestão de alimentos ricos em nutrientes, a utilização de cascas, talos e folhas na alimentação seria uma boa alternativa para melhorar a qualidade nutricional e, ainda, tornar possível novas opções de consumo de parte que normalmente seriam desprezadas (GONDIM *et al.*, 2005). De acordo com Cardoso *et al.* (2015), é altamente justificável a elaboração de processos culinários, mesmo que caseiros, que incluem em sua formulação alimentos que geralmente são desperdiçados.

Entre as frutas mais consumidas no Brasil, cuja casca e talo são desperdiçados, o abacaxi, conhecido como a rainha das frutas, possui excelente sabor. O fruto ajuda a manter o peso ideal, auxilia em uma nutrição equilibrada e, ainda, é bom para o sistema digestivo. Dessa forma, para atender à demanda de consumidores que desejam produtos saudáveis, nutritivos e naturais, novas tecnologias para o uso do abacaxi são necessárias. Na indústria alimentícia, o abacaxi destaca-se por seu uso como amaciante de carnes devido aos altos níveis de bromelina na sua composição, enzima que possui amplo uso em razão de sua atividade proteolítica, pois atua na quebra de ligações peptídicas (CHAUDHARY *et al.* 2019; COELHO *et al.*, 2011). Para Leonel, Leonel e Sampaio (2014), o abacaxi possui uma viabilidade maior no seu processamento. O uso do fruto não está limitado apenas o suco, mas o aproveitamento da sua casca possui grande importância para uma variedade de produtos.

Visando à importância do aproveitamento integral de alimentos, teve-se como objetivo na presente pesquisa elaborar um tempero à base de abacaxi como alternativa de aproveitamento da casca, polpa e cilindro central.

2. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Processamento e Análise Sensorial de Alimentos e no Laboratório de Nutrição Animal do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – Campus Apodi, Rio Grande do Norte - Brasil. Os frutos e ingredientes foram adquiridos no comércio local, e suas respectivas quantidades estão descritos na Tabela 1.

Para a elaboração do tempero, todos os ingredientes foram homogeneizados, utilizando-se um liquidificador, por aproximadamente 3 minutos e, em seguida, filtrados. Posteriormente, o líquido foi envasado em recipiente de vidro (esterilizado), deixando-se transbordar para que não houvesse ar no recipiente, e foi conservado em refrigeração (5°C).

Tabela 1: Ingredientes utilizados na elaboração de tempero natural à base de abacaxi.

INGREDIENTES	QUANTIDADES
Cascas de abacaxi	340g
Polpa de abacaxi (com cilindro central)	150g
Água	50ml
Cebola	170g
Alho	80g
Pimentão	85g
Óleo	150g
Vinagre de álcool	80g
Sal	85g
Batata inglesa cozida	230g
Cravo da índia	1g
Semente de coentro	1g
Cominho com pimenta preta	2g
Tomate	205g

Adaptado de: CENTEC. Caderno tecnológicos - Produtor de condimentos (2004).

Foi realizada a caracterização físico-química do tempero. As análises de composição centesimal seguiram os métodos da AOAC (2011). A umidade foi determinada por gravimetria, com secagem do material em estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. As cinzas foram determinadas por incineração em mufla, a 550°C . O teor de Proteínas Totais foi determinado pelo método de Kjeldahl, utilizando fator de conversão 6,25 para conversão em proteína bruta. O teor de lipídios foi determinado pelo método Folch *et al.* (1957). A determinação de carboidratos foi calculada por diferença, subtraindo-se de 100 os valores encontrados para umidade, cinza, lipídio e proteínas. O valor energético do tempero foi calculado pela soma e multiplicação dos macronutrientes (proteína, carboidrato, lipídio) pela quantidade de energia fornecida por cada um (% de proteína x 4 kcal + % de lipídios x 9 kcal + % de carboidratos x 4 kcal) e expresso em Kcal/100g, de acordo com metodologia proposta por Ribeiro *et al.* (2003).

Foi realizada uma avaliação sensorial para verificar a aceitabilidade do tempero quando adicionado à carne bovina. A amostra de carne adicionada de tempero foi submetida a análises microbiológicas que foram realizadas com o objetivo de atender à

segurança alimentar da avaliação sensorial. Os padrões microbiológicos adotados seguiram a Resolução - RDC nº 12 (BRASIL, 2001) da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), de acordo com metodologia descrita na Instrução Normativa nº 62 (BRASIL, 2003) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para as determinações de coliformes termotolerantes (NMP/g) e *Salmonella spp.*

Para a análise sensorial, as amostras de carne bovina foram cortadas em cubos de 2cm, aproximadamente, e o tempero foi adicionado na proporção de 55g para 1000g de carne, e deixadas em repouso por 20 minutos, para incorporação de sabor. Para o preparo das amostras foi utilizado o método de fritura, com fogo baixo e em meio a um fio de óleo, com o intuito de facilitar a cocção da amostra. O processo durou cerca de 40 minutos, até que as carnes adquirissem colorações douradas. Durante o preparo, foi descartada a água exsudada da carne. Após o preparo, as carnes foram avaliadas por uma equipe de 30 provadores não treinados de ambos os sexos e idades variadas. Cada julgador recebeu uma ficha sensorial com uma escala hedônica de 9 pontos referente aos atributos sabor, cor, odor, suculência e maciez, variando de “Desgostei muitíssimo (1)” a “Gostei muitíssimo (9)” (DUTCOSKY, 2013).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de composição centesimal do tempero à base abacaxi estão expressos na Tabela 2. As análises da composição nutricional do tempero evidenciaram a presença de nutrientes estruturais em sua composição. Dessa forma, verifica-se por sua composição nutricional que o tempero à base de abacaxi é uma opção atraente, por apresentar nutrientes em sua composição, baixo teor de gorduras, além de baixo valor calórico, quando comparado a produtos similares.

Tabela 2 – Caracterização físico-química do tempero a base de abacaxi

ANÁLISES	(g/100g)
Umidade	75,13
Cinzas	5,60
Lipídeos	8,49
Proteínas	0,80
Carboidratos	9,98
Valor calórico	88,81*

* Valor expresso em kcal/100g.

A polpa do abacaxi *in natura* tem em sua composição um teor de umidade de 87,0%, proteína em torno de 0,68%, lipídeos 0,33%, carboidrato 11,6% e cinzas 0,36% (TBCA, 2020). De acordo com Gondim *et al.* (2005), a casca *in natura* do abacaxi possui 78,13% de umidade, 1,51% de proteínas, 0,55% de lipídeos, 14,95% de carboidratos e 1,03% de cinzas. Segundo os autores, a casca *in natura* do abacaxi apresenta, em geral, teores de nutrientes maiores que o da parte comestível do fruto. Assim, a diferença observada quando comparadas a composição do tempero e a composição da polpa pode ser explicada pela diferença de nutrientes entre as várias partes do fruto.

Segundo Daniel e Ghisleni (2016), o uso integral pode melhorar a qualidade nutricional, reduzir o desperdício e aumentar o rendimento dos produtos alimentícios. Outrossim, os talos e as cascas podem ser considerados boas fontes de nutrientes, principalmente de minerais e fibras, sendo mais ricos do que as partes convencionalmente consumidas (SOUZA *et al.*, 2008). Desta forma, na presente pesquisa, as cascas do abacaxi utilizadas no preparo do tempero podem ser consideradas fonte alternativa de nutrientes, fato que pode, também, contribuir para evitar o desperdício de alimentos.

Quanto à análise microbiológica (Tabela 3), na carne bonina adicionada de tempero à base de abacaxi observou-se ausência de *Salmonella*. Para a análise de coliformes 45°, verificou-se que a contagem foi inferior a 10² NMP/g. Assim, a quantidade de microrganismos encontrada está dentro do permitido pela RDC nº 12 (BRASIL, 2001), que dispõe sobre a definição de critérios e padrões microbiológicos para alimentos, o que confirma que os alimentos analisados estavam aptos para consumo humano.

Tabela 3 – Resultado das análises microbiológicas da carne adicionada com tempero à base de abacaxi

MICROORGANISMOS	CARNE TEMPERADA
Coliformes 45°	<10 ² NMP/g
<i>Salmonella</i> *	Ausente

*em 25g

NMP: Número Mais Provável

Cardoso *et al.* (2015) afirmam que boas práticas de manipulação de partes normalmente descartadas de frutas, como cascas e talos, são necessárias, pois,

normalmente, apresentam sujidades que necessitam ser removidas e devem, posteriormente, ser higienizadas. Segundo os autores, algumas orientações básicas sobre a correta manipulação são obrigatórias, a fim de que se obtenha um produto final de qualidade em relação à segurança higiênico-sanitária e à manutenção dos valores nutricionais.

A Tabela 4 sumariza o resultado da avaliação sensorial da carne submetida ao tratamento com tempero à base de abacaxi. Em função dos dados obtidos, é possível perceber que o sabor do produto foi a característica mais atrativa (78,51%). De acordo com Putra, Wattanachant e Wattanachant (2019), o abacaxi é um ingrediente que pode ser utilizado no preparo de carne, pois, além da sua propriedade amaciadora, o seu odor específico, que é bastante atrativo, deve ser considerado.

Tabela 4 – Resultado da Avaliação Sensorial da carne adicionada com o tempero à base de abacaxi

ATRIBUTOS	IA%
Sabor	78,51
Odor	73,33
Cor	74,81
Suculência	69,62
Maciez	71,85

*IA – Índice de aceitabilidade em %

A utilização de cascas e talos em produtos alimentícios pode melhorar o sabor e a aceitabilidade das preparações, agregando, assim, valor aos alimentos (SOUZA *et al.*, 2008; STORCK *et al.*, 2013).

De acordo com Dutcosky (2013) e SOUZA *et al.* (2008), em relação às suas propriedades sensoriais, para que um produto seja considerado aceito, é necessário que ele obtenha um índice de aceitabilidade de, no mínimo, 70%. Assim, observou-se, na presente pesquisa, que a amostra avaliada obteve elevada aceitação por parte dos provadores, quanto aos atributos sabor, odor, cor e maciez.

A suculência da carne cozida é a sensação de umidade observada nos primeiros movimentos de mastigação, devido à rápida liberação de líquido pela carne (CALDARA *et al.*, 2012). Na presente pesquisa, o valor médio atribuído ao atributo suculência foi próximo a 70%. Assim, quanto à avaliação sensorial, verificou-se que o produto desenvolvido obteve uma boa aceitação e apresentou-se como uma alternativa viável

para contribuir para o aproveitamento integral de frutas e para o desenvolvimento sustentável do Brasil.

Ahmed *et al.* (2019) prepararam um tempero a base de cascas de abacaxi desidratadas misturadas com condimentos e especiarias. As amostras de carne bovina adicionadas com o tempero obtiveram índice de aceitabilidade acima de 70%, valor semelhante ao encontrado na presente pesquisa. De acordo com os autores, os produtos possuem grande potencial de mercado pelo diferencial em relação às várias funcionalidades do abacaxi, ao conferir sabor, textura, aroma e maciez.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da casca, polpa e cilindro central foi satisfatório para a elaboração do tempero à base de abacaxi. A composição centesimal evidenciou que o produto pode ser utilizado como uma fonte alternativa de nutrientes. Quando adicionado à carne bovina, verificou-se que o tempero desenvolvido obteve uma boa aceitação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFRN *campus* Apodi, por disponibilizar material, estrutura e apoio técnico no desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AHMED, F. D. A. L.; LEITÃO, B. R. G. S.; DE OLIVEIRA, S. C.; LEITÃO, C. S. S. DESENVOLVIMENTO DE CODIMENTOS A PARTIR DE FRUTAS E HORTALIÇAS. **Revista de Produção Acadêmico-Científica**, Manaus, v. 6, n. 1, 2019.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL**. 19th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA, www.eoma.aoc.org, 2011.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 62, de 26 de agosto de 2003. Oficializa os Métodos Analíticos Oficiais para Análises Microbiológicas para Controle de Produtos de Origem Animal e Água. **Diário Oficial da União**. 2003 set. 18; Seção 1. p. 14. 10.
- Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº12, de 02 de Janeiro de 2001. Aprova o regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos e seus Anexos I e II. **Diário Oficial da União**. 2001 jan. 10; n. 7

- CALDARA, F. R.; SANTOS, V. M. O. D.; SANTIAGO, J. C.; ALMEIDA PAZ, I. C. D. L.; GARCIA, R. G.; VARGAS JUNIOR, F. M. D.; SANTOS, L. S.; NÄÄS, I. D. A. (2012). Propriedades físicas e sensoriais da carne suína PSE. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 3, p. 815-824, 2012.
- CARDOSO, F. T.; FRÓES, S. C.; FRIEDE, R.; MORAGAS, C. J.; MIRANDA, M. G.; SANTOS AVELAR, K. E. Aproveitamento integral de Alimentos e o seu impacto na Saúde. **Sustainability in Debate/Sustentabilidade em Debate**, v. 6, n. 3, 2015.
- CARDOSO, F.T.; FRÓES, S. C., FRIEDE, R.; MORAGAS, C. J.; MIRANDA, M. G.; AVELAR, K. E. S. Aproveitamento integral de Alimentos e o seu impacto na Saúde. **Sustainability in Debate/Sustentabilidade em Debate**, v. 6, n. 3, 2015.
- CENTEC. Produtor de condimentos. (**Cadernos Tecnológicos**). Ministério da Ciência e Tecnologia. Demócrito Rocha. Fortaleza, 2. ed, 2004. 56 p.
- CHAUDHARY, V.; KUMAR, V.; VAISHALI, S.; SINGH, K.; KUMAR, R.; KUMAR, V. Pineapple (*Ananas cosmosus*) product processing: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 3, p. 4642-4652, 2019.
- COELHO, D. F.; PAULO A. G. S.; SILVEIRA, E.; PESSOA JÚNIOR, A.; TAMBOURGI, E. B. Purificação de bromelina dos resíduos de abacaxi (*Ananas comosus L. Merrill*) por sistemas bifásicos aquosos PEG/Sal. **Exacta**, São Paulo, v. 9, n. 3, p. 333-338, 2011.
- DAMIANI, C.; SILVA, F. A.; RODOVALHO, E. C.; BECKER, F. S.; ASQUIERI, E. R.; OLIVEIRA, R. A.; LAGE, M. E. Utilization of waste vegetable for the production of seasoned cassava flour. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 22, n. 4, p. 657-662, 2012.
- DANIEL, B. I.; GHISLENI, C. P. Desenvolvimento de um produto alimentício com aproveitamento integral do alimento. **Revista da Associação Brasileira de Nutrição-RASBRAN**, v. 7, n. 2, p. 43-49, 2016.
- DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 4. ed. Curitiba: Champagnat, 2013, p. 531.
- FOLCH, J.; LEES, M.; STANLEY, G. H. S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **The Journal of Biological Chemistry**, v.226, n.1, p.497-509, 1957.
- GONDIM, J. A. M.; MOURA, M. D. F. V.; DANTAS, A. S.; MEDEIROS, R. L. S.; SANTOS, K. M. Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas. **Food Science and Technology**, v. 25, n. 4, p. 825-827, 2005.

- LEITÃO, B. R. G. S.; LEITÃO, C. S. S. Sustentabilidade e elaboração de novos produtos através do aproveitamento de resíduo alimentar. **Revista Científica do Ciesa**, Manaus, v. 2, n. 2, p. 97, 2015.
- LEONEL, S.; LEONEL, M.; SAMPAIO, A. C. Processamento de frutos de abacaxizeiro cv smooth cayenne: perfil de açúcares e ácidos dos sucos e composição nutricional da farinha de cascas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 2, p. 433-439, 2014.
- LÔBO, C. R.; CAVALCANTI, F. A. G. S. Aproveitamento integral de alimentos – implantação da prática em uma oficina. **Nutrição Brasil**, v. 16, n. 4, p. 236-242, 2017.
- PUTRA, A. A.; WATTANACHANT, S.; WATTANACHANT, C. Sensory-related Attributes of Raw and Cooked Meat of Culled Saanen Goat Marinated in Ginger and Pineapple Juices. **Tropical Animal Science Journal**, v. 42, n. 1, p.59-67, 2019.
- RIBEIRO, P.; MORAIS, T. B.; COLUGNATI, F. A. B.; SIGULEM, D. M. Tabelas de composição química de alimentos: análise comparativa com resultados laboratoriais. **Revista de Saúde Pública**, 2003.
- SOUZA, P. D.; NOVELLO, D.; ALMEIDA, J. M.; QUINTILIANO, D. A. Análise sensorial e nutricional de torta salgada elaborada através do aproveitamento alternativo de talos e cascas de hortaliças. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 18, n. 1, p. 55-60, 2008.
- STORCK, C. R.; NUNES, G. L.; OLIVEIRA, B. B. D.; BASSO, C. Folhas, talos, cascas e sementes de vegetais: composição nutricional, aproveitamento na alimentação e análise sensorial de preparações. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, p. 537-543, 2013.
- Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). Food Research Center (FoRC). Versão 7.1. São Paulo, 2020. [Acesso em: 06.10.2020]. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca>.

CAPÍTULO VIII

USO DA CARNE MECANICAMENTE SEPARADA (CMS) EM PRODUTOS CÁRNEOS

Caroliny Santana dos Santos¹

Neide Kazue Sakugawa Shinohara²

Indira Maria Estolano Macedo³

Paulo Roberto Campagnoli de Oliveira Filho⁴

Michely Duarte Leal Coutinho de Souza⁵

¹ Bacharel em Química Industrial – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e Mestranda em Ciência e Tecnologia dos Alimentos – Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

² Docente dos cursos de Engenharia Ambiental e Gastronomia – Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

³ Bióloga e Mestre em Ciência e Tecnologia dos Alimentos. Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

⁴ Docente do curso de graduação em Engenharia de Pesca e dos cursos de pós-graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura e Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

⁵ Engenheira de Materiais - Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Especialista em Gestão da Qualidade e Segurança dos Alimentos – Faculdade Guararapes (FG) e Mestranda em Engenharia Física – Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

RESUMO

Os produtos cárneos representam uma ampla categoria de produtos proteicos que diferem na sua composição centesimal, grau de processamento, tecnologia de produção e formas de armazenamento. O consumo de produtos cárneos vem crescendo ao longo dos anos, causando aumento na quantidade de esqueletos, ossos e aparas, que se não aproveitados, resultarão no aumento de resíduos orgânicos. O desperdício de alimentos é uma preocupação global, tanto nos impactos negativos na economia, como também, nos segmentos ambiental e social. A Carne Mecanicamente Separada (CMS), surgiu como uma alternativa para o aproveitamento tecnológico de carcaças bovinas, suínas, aves e pescado e também na perspectiva de fomentar a economia circular. A CMS de animais de criação é uma fonte proteica de ótima aplicação industrial na elaboração de produtos cárneos como salsichas, linguiças e empanados. Portanto, o objetivo desta revisão bibliográfica foi apresentar as diversas formas de aproveitamento dos resíduos cárneos, por meio da obtenção e caracterização da CMS proveniente de diferentes espécies de animais.

Palavras-chave: Produtos Cárneos. Resíduos Orgânicos. Separação Mecânica de Carne e Ossos.

1. INTRODUÇÃO

As carnes e produtos cárneos são conhecidos como alimentos de alto valor nutricional devido à presença de aminoácidos e ácidos graxos essenciais para a saúde humana, vitaminas do complexo B, minerais como o ferro, zinco e manganês que

apresentam alta biodisponibilidade, além de participarem como cofator para as reações metabólicas (MAGALHÃES, 2017). Sendo assim, produtos cárneos representam uma ampla categoria de produtos que diferem em composição, grau de processamento, tecnologia de produção e armazenamento pós-processamento (POSPIECH ET AL, 2019).

A maioria da população mundial consome produtos cárneos, sendo um alimento fundamental para as dietas ocidentais (PFEILER & EGLOFF, 2018). O consumo cárneo escolhido, varia de acordo com as regiões e os hábitos locais (CARDOSO ET AL, 2020). A alta produção gerada pelo alto consumo de carne e produtos cárneos, pode aumentar a deposição de resíduos orgânicos no ambiente (MAGALHÃES, 2017). O despejo de grandes quantidades de resíduos da indústria cárnea em aterros sanitários, pode causar à contaminação das águas superficiais e emissão de gases do efeito estufa (GHOSH ET AL, 2019).

O desperdício de alimentos é uma grande preocupação para a indústria e para a sociedade. Essa preocupação está relacionada aos consideráveis impactos econômicos, ambientais e sociais negativos na geração de tais resíduos (DREYER ET AT 2019). O crescente consumo de produtos cárneos também resultaram no aumento da quantidade de esqueletos, ossos e aparas, que permanecem após a separação dos maiores músculos. Porém, nestas partes contêm ainda uma quantidade significativa de tecido muscular, sendo a maioria passível de ser recuperada através da tecnologia de obtenção da Carne Mecanicamente Separada (CMS) (HAĆ-SZYMAŃCZUK ET AL, 2019).

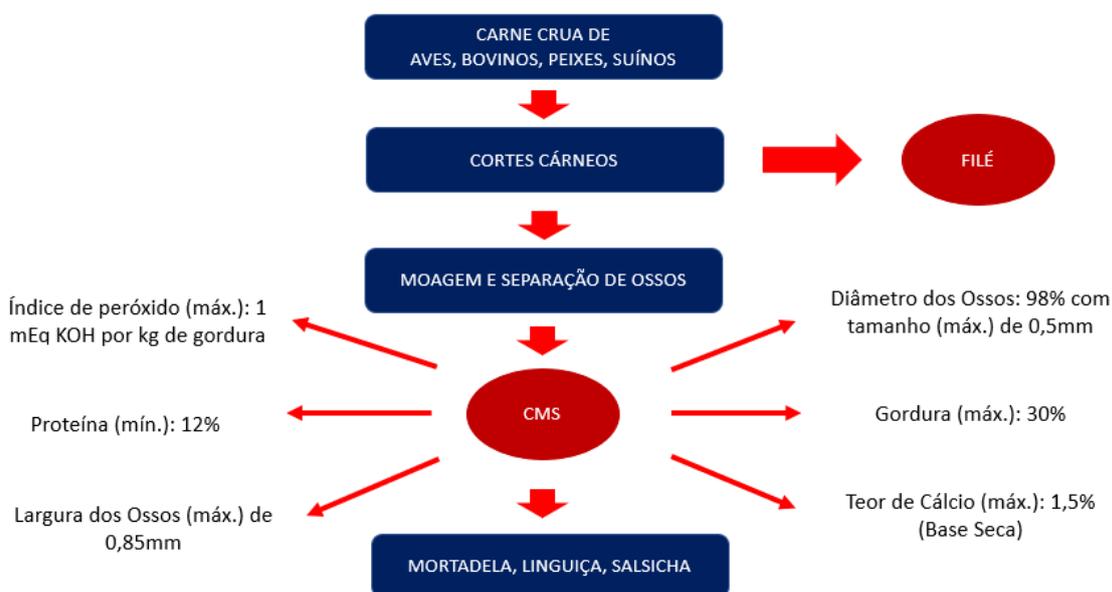
À medida que a população mundial continua crescendo, mais esforços e inovações serão necessários para aumentar, de forma sustentável, a produção agrícola, melhorar a cadeia de abastecimento global, diminuir as perdas e o desperdício de alimentos. Assim, a comunidade científica é chamada para desenvolver tecnologias para melhorar a sustentabilidade dos sistemas alimentares. A construção da resiliência dos sistemas alimentares locais será fundamental para evitar a escassez futura em grande escala e para garantir a segurança alimentar e uma boa nutrição para todos (UNITED NATIONS, 2020). De tal modo, a carne mecanicamente separada se mostra como uma alternativa em relação as perdas de alimentos cárneos.

2. ALIMENTOS CÁRNEOS

Os alimentos cárneos necessitam de um controle rigoroso de conservação pois constituem substratos para o crescimento de agentes biológicos patogênicos e deteriorantes. Desse modo, as carnes são produtos perecíveis, que podem ser rapidamente deterioradas se não forem adotadas boas práticas de manipulação e fabricação, que vão desde o manejo, abate, evisceração, manipulação e armazenamento. Este conjunto de normas de produção são utilizadas para verificar se os produtos estão sendo manipulados segundo o controle sanitário específico para cada grupo de alimentos (SHINOHARA ET AL, 2019). É indispensável cuidados em todas as fases de produção de produtos cárneos, para que não ocorra disseminação de Doenças Transmitidas por Alimentos (DTA) (CARVALHO ET AL, 2018).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define carne mecanicamente separada como a carne obtida por processo mecânico de moagem e separação de ossos de animais de açougue, destinada a elaboração de produtos cárneos específicos. Trata-se de um produto resfriado ou congelado. O produto final será designado de carne mecanicamente separada, seguido do nome da espécie animal que o caracterize. São utilizados unicamente ossos, carcaças ou partes de carcaças de animais de açougue (Aves, Bovinos e Suínos), que tenham sido aprovados para consumo humano pelo SIF (Serviço de Inspeção Federal). Não poderão ser utilizadas cabeças, pés e patas. A sua composição físico-química deve respeitar os seguintes padrões: teor mínimo de proteína de 12%, teor máximo de gordura de 30%, teor máximo de cálcio de 1,5% em base seca, o diâmetro dos ossos (98%) deverão apresentar tamanho máximo de 0,5mm, a largura máxima dos ossos de 0,85mm e o índice máximo de peróxido de 1 mEq KOH por kg de gordura (BRASIL, 2000). O aproveitamento desses subprodutos diminui os custos e é uma maneira de evitar contaminação ao meio ambiente pelo descarte inadequada de lixo orgânico industrial (LUSTOSA-NETO ET AL, 2018). O fluxograma da produção de CMS baseado na IN Nº 4, de 31 de março de 2000, está representado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma da produção de CMS baseado na IN Nº 4, de 31 de março de 2000 (BRASIL, 2000).



Fonte: Autoria própria.

3. PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DA CARNE MECANICAMENTE SEPARADA (CMS)

Produção de CMS de peixes teve início no final dos anos 1940. Já no final dos anos de 1950 ocorreu a produção de CMS de frango, seguida pela CMS de bovinos no início dos anos de 1970 (JAY, 2005).

A CMS pode ser obtida através da separação mecânica que envolve triturar carne e ossos, além de passar a mistura por micro peneiras ou fendas para remover as partículas ósseas. Esse processo permite o uso da maior parte da carne restante nos ossos, o que, de outra forma, seria difícil ou não rentável (TASIĆ ET AL, 2017). Normalmente a separação mecânica é feita em ossos de formato irregulares, mais difíceis de serem totalmente desossados de forma manual, como aqueles da coluna vertebral e do pescoço. Porém outros ossos com carne aderida ou mesmo carcaças inteiras também podem ser submetidos à separação mecânica (FIELD, 1988). A CMS também pode ser adquirida por meio da tecnologia de alta pressão (AP) ou baixa pressão (BP). Na tecnologia de alta pressão, a CMS possui maior grau de destruição das fibras musculares, quando comparado com a tecnologia de baixa pressão (IAMMARINO ET AL, 2020).

Outra diferença entre as tecnologias de alta e baixa pressão, se refere ao conteúdo de cálcio. De acordo com o Regulamento CE 853/2004, o limite máximo de Ca na CMS de baixa pressão é definido como 100mg / 100g (1000ppm), acima desse limite, a CMS é obtida com alta pressão (DALIPI ET AL, 2018). A CMS de diferentes animais seria uma alternativa na oferta de cálcio dietético para populações de menor poder aquisitivo.

Segundo a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA), o risco de crescimento microbiano aumenta com o grau de degradação das fibras musculares e, portanto, CMS de alta pressão pode fornecer um substrato mais favorável em comparação com CMS de baixa pressão. Portanto, a CMS de alta pressão (teor de Ca > 1000ppm) só pode ser usada em produtos tratados termicamente, enquanto que a CMS de baixa pressão, que é o tipo de CMS menos reduzida, pode ser usada em preparações gastronômicas quando está em conformidade com os critérios microbiológicos para carne moída (EFSA, 2013).

A composição química da CMS é variável dentro e entre espécies animais, regime alimentar, idade dos animais abatidos, pedaços de carne, ossos, pré-tratamento ósseo (congelamento) e tipo de máquina no processo de produção (SOZEN & HECER, 2013). As CMS são consideradas mais perecíveis que a carne picada tradicional, pois podem estar contaminados por microrganismos deteriorantes ou patogênicos, especialmente quando as condições higiênicas de processamento (ambiente, manipuladores, carcaça etc.) são pobres. Além disso, a liberação de fluidos celulares ricos em nutrientes, a contaminação cruzada e temperaturas inadequadas de armazenamento, podem causar o aumento do crescimento bacteriano (IAMMARINO ET AL, 2020).

3.1. Carne Mecanicamente Separada de Frango

A carne de frango é considerada um alimento altamente nutritivo por conter alta porcentagem de proteína e baixo teor de gordura, além de vitaminas e minerais. Além disso, tem menos restrições religiosas em comparação com a carne suína e bovina. O consumo de carne de frango e suas respectivas carnes processadas vem aumentando globalmente (JO ET AL, 2018). Além de ser uma opção saudável, apresenta custo mais acessível que as demais fontes de proteínas animais, constituindo uma opção atraente

para o consumidor (SHINOHARA ET AL, 2019). O setor avícola é líder no crescimento da produção global de carne (SKUNCA ET AL, 2018).

O Brasil se destaca mundialmente na produção e exportação de frangos, sendo o maior exportador e segundo maior produtor de carne de frango, de acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department of Agriculture - USDA). Em 2018, o total estimado de frango produzidos foi de 246,9 milhões, aumento de 2,5% em relação a 2017 (IBGE, 2018). Em média, cada brasileiro consome 43 kg de carne frango *in natura* por ano, e nas mais variadas formas de processamento: inteiro, em pedaços, alimentos prontos, etc. (EMBRAPA, 2020). O aumento do consumo do frango, gerou também preocupações quanto aos impactos ambientais decorrentes desta atividade econômica e a correta destinação dos resíduos orgânicos (SHINOHARA ET AL, 2019).

O manejo da produção é também parte essencial para garantir a qualidade da carne e integrar os esforços da cadeia avícola. Esse conceito compreende a incorporação de metodologias, processos produtivos, produtos e tecnologias ao processo produtivo (EMBRAPA, 2020). No Brasil, a CMS de aves é a mais utilizada para a fabricação de produtos cárneos emulsionados, representando até 60% da composição do produto final. Sua grande disponibilidade gerou o aumento do consumo dessa matéria-prima que está relacionado ao aumento significativo na produção de aves (NASCIMENTO, 2017). Foi na década de 60, nos Estados Unidos, que se deu início a produção de carne mecanicamente separada de frango (CMSF). O objetivo principal, era o aproveitamento do dorso, pescoço e ossos, já que o consumidor deu preferência aos cortes e ao peito, e não mais ao frango inteiro como era de costume nas décadas anteriores. Dessa forma, a CMSF começou a ser incorporada em produtos cárneos emulsionados cozidos como substituto da carne vermelha, devido ao baixo custo em comparação às demais fontes de proteínas cárneas (MAGALHÃES, 2017).

Existem várias possibilidades de aproveitamento para utilização dos resíduos de frango. Essa utilização depende do produto final desejado, custo e tecnologia de produção. As pontas de asa, ossos da coxa e cartilagem do peito são matérias primas com menor quantidade de carne aderida, assim, são processadas separadamente já que podem resultar em CMS de baixa qualidade. Essas são processadas com o dorso e

misturadas em proporções variadas, dependendo do nível de qualidade desejada (BARRETO ET AL, 2019).

Na indústria avícola europeia, as técnicas de alta pressão são mais frequentemente usadas para obter CMS em frangos. A matéria-prima é caracterizada por um alto grau de desintegração, uma alta proporção de gordura, uma consistência pastosa e quantidades significativas de medula óssea de ossos esmagados. A técnica de baixa pressão envolve o uso de dispositivos que separam os restos de tecido muscular do tecido conjuntivo e dos tendões, sem danificar a estrutura óssea. Uma característica da CMS de baixa pressão é, portanto, a preservação da estrutura das fibras musculares e o conteúdo significativamente menor de fragmentos ósseos, em comparação com o produto obtido com o CMS de alta pressão (HAC-SZYMAŃCZUK ET AL, 2019).

A CMSF pode servir de fonte proteica para a obtenção de hidrolisados. Estes podem ser utilizados em formulações específicas tais como produtos geriátricos, suplementos energéticos, dietas para controle de peso ou terapêuticas (recém-nascidos prematuros, crianças com diarreia, gastroenterite, má-absorção, fenilcetonúria e pessoas com alergia a proteínas) ou ainda dietas entéricas. Os hidrolisados proteicos podem ser obtidos basicamente por três métodos: a hidrólise alcalina, a hidrólise enzimática e a hidrólise ácida ou a combinação de dois ou mais destes métodos para melhorar a eficiência (BENÍTEZ ET AL, 2008).

Oliveira e colaboradores (2014), observaram que a utilização da carne mecanicamente separada de frango, para a produção de hidrolisados proteicos a partir de diferentes enzimas proteolíticas, resultou em percentual considerável de hidrolisados proteicos, caracterizando-se como uma matéria prima promissora na formulação para dietas especiais.

3.2. Carne Mecanicamente Separada de Peixes

A produção mundial de pescado tem crescido progressivamente nas últimas décadas (ROSA ET AL, 2020). Em termos per capita, projeta-se que o consumo mundial de pescado atinja 21,5 kg em 2030, contra 20,5 kg em 2018. A expansão do consumo de pescado tem sido impulsionada não apenas pelos aumentos na produção, mas também por uma combinação de muitos outros fatores, tais como: desenvolvimento tecnológico; aumento da renda global; reduções em perdas e desperdícios; e aumento

da conscientização sobre os benefícios para a manutenção e promoção da saúde decorrente do consumo de peixes e frutos do mar (FAO,2020).

Os peixes e os produtos pesqueiros representam uma fonte muito valiosa de proteínas e micronutrientes essenciais para uma nutrição equilibrada e boa saúde. Em relação à fração lipídica, representa uma fonte significativa de ácidos graxos poli-insaturados, sobretudo os ácidos eicosapentaenoico e docosaexaenoico. Esses dois ácidos graxos são fornecidos apenas pela dieta, e reduzem os fatores de risco associados a doenças cardiovasculares, hipertensão, inflamação geral, asma, artrite, psoríase e vários tipos de câncer (PALMEIRA ET AL, 2016).

Os subprodutos da indústria pesqueira têm sido aproveitados por plantas processadoras com o objetivo de reduzir custos e agregar valor aos produtos gerados. Ainda assim, o aproveitamento do pescado de forma integral e, em especial, de resíduos no ciclo da cadeia produtiva do pescado, permanece apresentando pouco significado para a indústria brasileira. Plantas processadoras de pescado desperdiçam entre 62,5% e 66,5%. Em relação ao camarão, esse índice cai para aproximadamente 50% da matéria-prima (LUSTOSA-NETO ET AL, 2018). E são representados por carne escura, peixes com baixo peso, resíduos provenientes da filetagem (COSTA, 2017), cabeça, vísceras, ossos, pele, nadadeiras, estrutura e carne aderida aos ossos e pele (ARVANITOYANNIS & TSERKEZOU, 2014).

O resíduo de carne presente na coluna vertebral dos peixes possui atributos nutricionais importantes como ácidos graxos poli-insaturados e cálcio que podem ser aproveitados através da separação mecânica (SIGNOR ET AL, 2019). Estratégias distintas vêm sendo empregadas como forma de empregar os resíduos do processamento pesqueiro. Uma das possibilidades é a produção de carne mecanicamente separada de pescado (CMSP) (SÁ JÚNIOR ET AL, 2020). Segundo o Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal, decreto nº 9.013, a CMSP é o produto congelado obtido de pescado, envolvendo a decapitação, evisceração, limpeza destes e a separação mecânica da carne das demais estruturas inerentes à espécie, como espinhas, ossos e pele (BRASIL, 2017). A CMSP é um produto obtido a partir de uma única ou de uma mistura de espécies de peixes com características sensoriais semelhantes, através de um processo de separação mecânica das partes comestíveis, gerando partículas musculares. Esse processo leva ao desenvolvimento de um produto versátil, capaz de

ser processado em embutidos, empanados e enlatados, com qualidade nutricional adequada e boa aceitabilidade no mercado consumidor (GUIMARÃES ET AL, 2018).

A CMS é bastante susceptível à ação de microrganismos. Isto ocorre devido se justifica pela sua composição rica em nutrientes, aumento da superfície de contato, oxigenação e pH próximo a neutralidade. Se faz necessário cuidados desde a sua obtenção até o armazenamento. Dessa forma, o produto congelado é apresentado como a forma mais adequada de conservação, uma vez que, ao decorrer do tempo há uma tendência de inviabilização das células microbianas (ROSSI, 1989).

O processo de separação mecânica envolve relativo aumento de contaminação microbiológica se comparado ao peixe inteiro ou filetado fresco ou congelado. Sucede um aumento no aparecimento dos possíveis pontos de contaminação durante o processo. Na desossa mecânica o tecido do peixe é macerado, aumentando não só a área de exposição, como também a liberação de fluídos intercelulares, ricos em aminoácidos livres entre outros substratos ideais para crescimento microbiano. É indispensável que o equipamento esteja absolutamente limpo e que a carne de pescado moída seja mantida o mais resfriada possível durante todo o processamento. Devem-se adotar os Procedimentos Padrões de Higiene Operacional durante todo o processamento (CRIBB ET AL 2018).

A obtenção da CMS de pescado realizada de forma manual é um procedimento de difícil execução e envolve alto custo, dessa maneira, é fundamental o emprego de equipamentos exclusivos para esta finalidade. A escolha do tipo de separador vai depender do volume de produção e do tipo de matéria-prima, de acordo com a espécie de peixe utilizada, quando as espinhas forem mais finas, usam-se crivos com menor diâmetro. No mercado, existem equipamentos com cilindros de perfurações de diversos diâmetros, sendo os mais usados de 3,5 mm a 4 mm. O rendimento e a qualidade da CMS podem ser controlados mediante o ajuste da correia, uma pressão mais forte, aumenta o rendimento, mas em contrapartida, a qualidade da CMS é inferior, no que se refere à coloração, presença de pele e espinha e alto teor de lipídios (ALCÂNTARA, 1997).

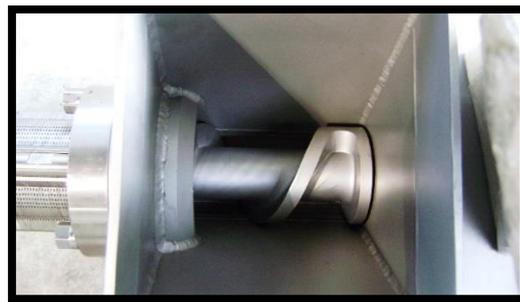
A CMSP pode ser obtida por meio de um equipamento que consiste em um parafuso transportador que pressiona gradativamente a carcaça contra um sistema de facas equipado com um conjunto de lâminas com dentes milimetrados. Estas lâminas

têm um formato que permite separar a carne dos ossos à medida que são expulsos da máquina. Os ossos são transportados pelo parafuso e recolhidos ao final. Este equipamento não requer quebra ou resfriamento prévio da matéria-prima. A alimentação rápida e contínua evita o aumento da temperatura e conseqüentemente possível contaminação biológica. O equipamento também permite o máximo rendimento de extração. A figura 2 demonstra uma máquina de obtenção de CMS.

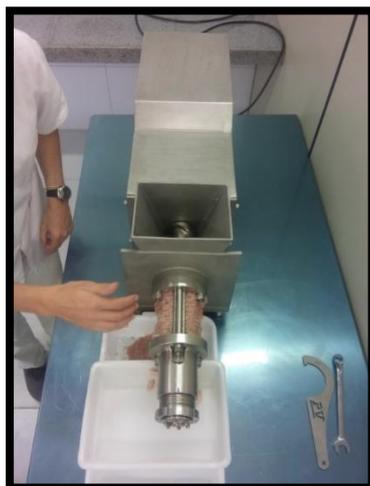
Figura 2 – Detalhes de uma máquina de obtenção da carne mecanicamente separada modelo rosca sem fim e lâminas perfuradas (Marca PV® máquinas, modelo PV 100). A) Detalhe da parte frontal do equipamento, com vista para as lâminas, B) Detalhe da rosca sem fim, C) Detalhe superior do equipamento em funcionamento, D) Detalhe da separação da carne e dos resíduos do pescado.



(A)



(B)



(C)



(D)

Fonte: Prof. Paulo Roberto C. Oliveira Filho.

Geralmente, a CMS de peixe é lavada com água após sua extração. Os produtos derivados de peixe, quando adicionados de quantidades elevadas de CMS, podem ter suas propriedades físicas, microbiológicas e sensoriais alteradas e, por isso, a CMS passa por um processo de lavagem para diminuir a pigmentação e o sabor. A lavagem também retirar sangue, proteínas sarcoplasmáticas, gorduras, cinzas e outros compostos nitrogenados; dessa forma, os atributos sensoriais de textura, cor e odor apresentam melhoria devido à remoção destes compostos. A lavagem é seguida por centrifugação ou prensagem para remoção da água residual e assim melhorar a preservação dos nutrientes de sua composição (COSTA, 2017). A lavagem é realizada em sistema contínuo por meio da utilização de um tanque de lixiviação com tela rotativa. Esse equipamento possui pás que são ativadas automaticamente quando o tanque é preenchido até um nível predeterminado. A carne de pescado lavada é drenada através da tela rotativa antes do próximo ciclo. Esse passo é repetido de acordo com o número de ciclos de lavagem necessário (OKASAKI & KIMURA, 2014).

Sá Júnior e colaboradores (2020), avaliaram o rendimento e composição centesimal de filés e carne mecanicamente separada de saramunetes (*Pseudupeneus maculatus* BLOCH, 1793) sem lavar, com uma e duas lavagens com água. Os autores observaram que a CMS de saramunete sem lavar, apresenta boa composição química, sendo próxima do filé, recomendando a não lavagem da CMS de saramunetes para evitar perdas de compostos nutricionais (proteína, lipídeos e cinzas) e a formação de resíduos líquidos.

Diversos estudos têm sido direcionados para a fabricação de alimentos nutritivos e saudáveis a partir de CMS de peixes. Oliveira Filho et al. (2010), avaliaram a qualidade de salsichas elaboradas com 0, 20, 40, 60, 80 e 100% de inclusão de CMS de resíduos de filetagem de tilápias do Nilo e armazenadas a $0 \pm 0,3$ °C. Observou-se que a adição de CMS em salsichas causou aumento nos valores de oxidação lipídica e diminuição nos valores de bases nitrogenadas voláteis totais e cor instrumental. A aceitação do atributo cor diminuiu com o incremento de CMS, sendo que as salsichas apresentaram vida de prateleira de 40 dias.

Martins e colaboradores (2016), realizaram a produção de hambúrguer com CMS de resíduos utilizados de filetagem (aparas provenientes de porção ventral, dorsal e em

“v” de tilápia, concluindo que a produção de hambúrguer de peixe a partir dos resíduos gerados durante o processo de filetagem da tilápia é economicamente viável.

3.3. Carne Mecanicamente Separada de Suínos e Bovinos

Apesar do uso da CMS de suínos e bovinos não ser tão comum quando comparado a utilização de aves e de pescado, também é produzido comercialmente. Os ossos de bovinos e suínos são grandes e assim o rendimento se torna baixo, sendo geralmente realizada a retirada manual das carnes aderidas aos ossos (LIMA, 2014). A CMS de suínos e bovinos é utilizada na fabricação de produtos como mortadelas, salsichas, salames, almôndegas, hambúrgueres e linguiças (GONÇALVES, 2007). Na fabricação de produtos derivados da carne, alguns limites devem ser respeitados quanto aos níveis de CMS incorporados aos produtos (BRASIL, 2000). Na Tabela 1 estão as quantidades de inclusão de CMS em alguns produtos produzidos pelas indústrias e/ou frigoríficos.

Tabela 1 – Derivados cárneos e as respectivas quantidades permitidas de carne mecanicamente separada (CMS) na sua produção.

Produtos	Quantidade de CMS
Mortadela (geral)	Máximo 60%
Mortadela Tipo Bologna	Máximo 20%
Mortadela de Carne de Ave	Máximo 40%
Mortadela Italiana	0% (Não é permitida adição)
Linguiça (geral)	Máximo 20%
Linguiça Calabresa	Máximo 20%
Linguiça Portuguesa	Máximo 20%
Linguiça Toscana	0% (Não é permitida adição)
Paio	Máximo 20%
Salsicha (geral)	Máximo 60%
Salsicha Tipo Viena	Máximo 40%
Salsicha Tipo Frankfurt	Máximo 40%
Salsicha de Carne de Ave	Máximo 40%
Salsicha Viena	0% (Não é permitida adição)
Salsicha Frankfurt	0% (Não é permitida adição)

Fonte: BRASIL (2000), modificado.

Nos alimentos considerados atrativos para as pessoas, em especial junto às crianças, a linguiça, salsicha e hambúrguer são os preferenciais; a CMS participa fortemente na mesa de muitos consumidores de alimentos industrializados (GONÇALVES, 2007). A CMS participa como ingrediente na formulação desses produtos, que muitas vezes passa despercebido pela população em geral, apesar de estar descrita no rótulo dos alimentos, conforme obrigatoriedade de legislação em vigor (BRASIL, 2000).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido ao aumento progressivo da população mundial, cresce também a necessidade e demanda por alimentos de qualidade e seguros, bem como a perspectiva de aproveitamento de resíduos alimentares, proporcionando uma ampliação de produtos cárneos ofertados ao consumidor. Para atingir este desafio, a indústria necessita de um constante desenvolvimento tecnológico e científico, alinhado a produção sustentável. A carne mecanicamente separada se mostra como alternativa eficiente na indústria de produtos cárneos, pois dispõe de uma diversidade de produtos, de diferentes espécies animais, tornando uma alternativa nutritiva e sensorialmente aceitável e atendendo a demanda de consumidores cada vez mais exigentes.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, W. O. Teoria de Procesamiento de Pasta de Pescado “surimi”. In: Curso internacional de tecnologia de procesamiento de productos pesqueros, 13., 1997, Callao. Anais, Perú: Instituto Tecnológico pesquero del Perú, 1997.
- ARVANITOYANNIS, I. S., & TSERKEZOU, P. (2014). Fish waste management. In I. S. Bozariis (Ed.), *Seafood processing – Technology, quality and safety* (pp. 263–309). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Ltd.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa Nº 4, De 31 de Março de 2000. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF. 05/04/2000 (Nº 66, Seção 1, Pág. 6)
- BRASIL. Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal. Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. Regulamenta a lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Aprova o Regulamento da

Inspeção Industrial e Sanitário de Produtos de Origem Animal. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 mar. 2017, n. 62, Seção 1, p. 03.

BARRETO, M. E. Z.; BARRETO, M. Z.; ANDRADE, M. A. R. GESTÃO DAS INOVAÇÕES NA FORMULAÇÃO DE PRODUTOS DERIVADOS DA CARNE DE AVES. Revista Eletrônica de Administração da Universidade Santa Úrsula. v. 4, n. 1 (2019).

BENÍTEZ, R.; IBARZ, A.; PAGAN, J. Hidrolizados de proteína: procesos y aplicaciones. Acta Bioquím Clín Latinoam. Argentina, v. 42, n. 2, p. 227-36, 2008.

CARDOSO, P. S.; FAGUNDES, J. M.; COUTO, D. S.; PIRES, E. M.; GUIMARÃES, C. E. D.; RIBEIRO, C. D. F.; OTERO, D. M. 2020. From curing to smoking: processes and techniques for the production of pastrami. Brazilian Journal of Development. Curitiba, v.6, n.8, p. 61511-61520. DOI:10.34117/bjdv6n8-538

CARVALHO, P. R.; QUEIROZ, L. L.; ALMEIDA, B. L. F.; SILVA, A. H.; MACHADO, C. A. Avaliação da qualidade microbiológica de quibes crus comercializados na cidade de Uberlândia/MG. Revista Brasileira Multidisciplinar, v. 21, n. 1, p. 65-71, 2018. <https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2018.v21i1.578>

COSTA, D. P. S. 2017. Desenvolvimento de hambúrguer com carne mecanicamente separada de carcaça e de refil de tilápia: caracterização, microbiológica, físico-química e sensorial. Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de São José do Rio Preto.

CRIBB, A. Y.; SEIXAS FILHO, J. T.; MELLO, S. C. R. P.; Manual técnico de manipulação e conservação de pescado. (2018). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Agroindústria de Alimentos Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. p. 111 - 115.

DALIPI R., BERNERI R., CURATOLO M., BORGES L., DEPERO L.E., SANGIORGI E. (2018). Total reflection X-ray fluorescence used to distinguish mechanically separated from non-mechanically separated meat. Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy, 148, pp. 16-22.

DREYER H.C., DUKOVSKA-POPOVSKA I., YU Q., HEDENSTIERNA C.P. A ranking method for prioritizing retail store food waste based on monetary and environmental impacts. (2019). Journal of Cleaner Production, 210, pp. 505-517.

EFSA Scientific opinion on the public health risks related to mechanically separated meat (MSM) derived from poultry and swine EFSA J., 11 (2013), pp. 1-78, 10.2903/j.efsa.2013.3137.

EMBRAPA. Qualidade da carne de aves. Disponível em: <https://www.embrapa.br/qualidade-da-carne/carne-de-aves>. Acesso em: 19 de agosto de 2020.

- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2020. The state of world fisheries and aquaculture 2020: Sustainability in Action.
- FIELD, R. A. Mechanical separated meat of poultry and fish. Edible meat by products: advances in meat research. Elsevier applied science, v. 5. p. 83-126, 1988.
- GHOSH S., GILLIS A., SHEVIRYOV J., LEVKOV K., GOLBERG A. Towards waste meat biorefinery: Extraction of proteins from waste chicken meat with non-thermal pulsed electric fields and mechanical pressing. (2019) Journal of Cleaner Production, 208, pp. 220-231.
- GONÇALVES, R. M. Avaliação físico-química e conteúdo de metais pesados em cms (carne mecanicamente separada) de frango e de bovino produzidas no estado de goiás. 2007. Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Ciência Animal junto à Escola de Veterinária da Universidade Federal de Goiás.
- GUIMARÃES, J. L. B.; CALIXTO, F. A. A.; KELLER, L. A. M.; TORREZAN, R.; FURTADO, A. A. L.; MESQUITA, E. F. M. Quality of Mechanically Separated Meat (MSM) and Surimi Obtained from Low Commercial Value Fish. Boletim do Instituto de Pesca. 2018, 44(2): e243. DOI: 10.20950/1678-2305.2018.243
- HAC-SZYMAŃCZUK, E., CEGIEŁKA, A., KARKOS, M., GNIEWOSZ, M., PIWOWAREK, K. Evaluation of antioxidant and antimicrobial activity of oregano (*Origanum vulgare* L.) preparations during storage of low-pressure mechanically separated meat (BAADER meat) from chickens. Food Sci Biotechnol 28, 449–457 (2019). <https://doi-org.ez19.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10068-018-0491-1>IAMMARINO, M.,
- IAMMARINO, M., MIEDICO, O., PETRELLA, A. MANGIACOTTI, M., CHIARAVALLE, A. E. Innovative approaches for identifying a mechanically separated meat: evaluation of radiostrontium levels and development of a new tool of investigation. Journal of Food Science and Technology 57, 484–494 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04076-y>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Pesquisa da Pecuária Municipal 2018. v. 46, p. 8, 2018. https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2018_v46_br_informativo.pdf
- JAY, JAMES M. Microbiologia de Alimentos. 6ª Ed. Porto Alegre : Artimed, 2005.
- JO, K.; LEE, J.; JUNG, S. Quality characteristics of low-salt chicken sausage supplemented with a winter mushroom powder. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, August 2018, Vol.38(4), pp.768-779
- LIMA, S. N. Utilização de extrato de marcela (*Achyrocline satureioides*) como antioxidante natural em salsichas de carne mecanicamente separada de tilápia (*Oreochromis niloticus*). 2014. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-

graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, como requisito para conclusão e obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

- LUSTOSA-NETO, A. D.; NUNES, M. L.; MAIA, L. P.; BARBOSA, J. M.; LIRA, P. P.; FURTADO-NETO, M. A. A. Almôndegas de Pirarucu e Tilápia Nilótica: Caracterização e Aplicação na Merenda Escolar. *Acta of Fisheries and Aquatic Resources*, 2018, 6(2): 1-12
- MAGALHÃES, I. M. C. 2017. Efeito Da Adição de Extensores À Base de Fibras sobre as Propriedades Físico-Químicas e Sensoriais de Mortadelas Reduzidas de Cloreto de Sódio e Livres de Tripolifosfato de Sódio. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Tecnologia de Alimentos.
- MARTINS, M. I. E. G.; COSTA, J. I.; GONÇALVES, G. S.; VIDOTTI, R. M. (2016) Feasibility Study of a Fish By-Product Recovery Plant with a Processing Capacity of 1,000 kg/Day, *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 25:8, 1202-1212, DOI: 10.1080/10498850.2015.1046098
- NASCIMENTO, R. 2017. Avaliação de Processos Físicos Sobre as Propriedades Físico-químicas e Estabilidade Funcional de Mortadelas com Redução de Sódio Contendo Alto Teor de Carne Mecanicamente Separada de Frango. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutora em Tecnologia de Alimentos.
- OKASAKI, E. & KIMURA, I. Frozen surimi and surimi-based products, p. 209-235, in Bozariar, I.S. (ed.), *Seafood processing: technology, quality and safety*. Hoboken: John Wiley & Sons, 488 p., 2014.
- OLIVEIRA FILHO, P. R. C.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; TRINDADE, M. A.; BALIEIRO, J. C. C.; VIEGAS, E. M. M. Quality of sausage elaborated using minced Nile Tilapia submitted to cold storage. *Scientia Agricola*, 01 April 2010, Vol.67(2), pp.183-190.
- OLIVEIRA, M. S. R.; FRANZEN, F. L.; TERRA, N. N. Uses of mechanically separated chicken meat for production from protein hydrolysates different proteolytic enzymes. *Semina Ciências agrárias: revista cultural e científica da Universidade Estadual de Londrina*, 01 February 2014, Vol.35(1), pp.291-302.
- PALMEIRA, K. R.; MÁRSICO, E. T.; MONTEIRO, M. L. G.; LEMOS, M.; CONTE JUNIOR, C A. (2016). Ready-to-eat products elaborated with mechanically separated fish meat from waste processing: challenges and chemical quality, *CyTA - Journal of Food*, 14:2, 227-238, DOI: 10.1080/19476337.2015.1087050.
- PFEILER T.M. & EGLOFF B. Personality and meat consumption: The importance of differentiating between type of meat. (2018). *Appetite*, 130, pp. 11-19.

- POSPIECH, M; ZIKMUND, T.; JAVŮRKOVÁ, Z.; KAISER, J. TREMLOVÁ, B. An Innovative Detection of Mechanically Separated Meat in Meat Products. *Food Analytical Methods* (2019) 12:652–657 <https://doi.org/10.1007/s12161-018-1394-8>.
- REGULATION (CE) No 853/2004 of the European Parliament and of the council of 29 April 2004 laying down specific hygiene rules for on the hygiene of foodstuffs *Off. J. Eur. Union.*, 47 (2004), pp. 55-205
- ROSA J., LEMOS M.F.L., CRESPO D., NUNES M., FREITAS A., RAMOS F., PARDAL M.A., LESTON S. Integrated multitrophic aquaculture systems – Potential risks for food safety. (2020). *Trends in Food Science and Technology*, 96, pp. 79-90.
- ROSSI, O. D. Aspectos microbiológicos e pH de carnes mecanicamente separadas de origem bovina, influência do período de armazenamento sob congelação e comparação de dois sistemas de desossa manual. 1989. 84 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade Federal de São Paulo.
- SÁ JÚNIOR, P. L. S.; SILVA, L. J.; ANDRADE, H. A.; OLIVEIRA FILHO, P. R. C. Rendimento e Composição Centesimal de Filés e Carne Mecanicamente Separada de Saramunetes (*Pseudupeneus maculatus* BLOCH, 1793). *Arquivos de Ciências do Mar, Fortaleza*, 2020, 53(1): 52 - 62.
- SHINOHARA, N. K. S.; MACEDO, I. M. E.; BAZANTE, D. M. A.; MATSUMOTO, M.; PADILHA, M. R. F.; XAVIER, V. L. Qualidade bacteriológica de frango do comércio informal. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial, Francisco Beltrão*, v. 13, n. 2: p. 2947-2961. 2019.
- SIGNOR, F. R. P.; SIMÕES, G. S.; COLDEBELLA, P. F.; SIGNOR, A. A.; BOSCOLO, W. R. Effect of The Addition of Pregelatinized Starch and Dextrin in the Formulation of Tilapia Mechanically Separated Meat Patties. *Boletim do Instituto De Pesca*. 2019, 45(4): e512. DOI: 10.20950/1678-2305.2019.45.4.512.
- SKUNCA D., TOMASEVIC I., NASTASIJEVIC I., TOMOVIC V., DJEKIC I. Life cycle assessment of the chicken meat chain. (2018). *Journal of Cleaner Production*, 184, pp. 440-450.
- SOZEN, U. & HECER, C. 2013. Potential risks of mechanically separated poultry meat technology *Akademik Gıda*. v. 11 (1) p.59-63
- TASIĆ, A.; KURELJUŠIĆ, J.; NEŠIĆ, K.; ROKVIĆ, N.; VIĆENTIJEVIĆ, M.; RADOVIĆ, M.; PISINOV, B. Determination of calcium content in mechanically separated meat. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Volume 85, 59th International Meat Industry Conference MEATCON2017 1–4 October 2017, Zlatibor, Serbia
- UNITED NATIONS (2020). Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development. Food security and nutrition and sustainable agriculture.

<https://sdgs.un.org/topics/food-security-and-nutrition-and-sustainable-agriculture>. Acesso em: 19 de agosto de 2020.

CAPÍTULO IX

CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO NO ENSAIO DE FLEXÃO DE UMA BLENDA POLIMÉRICA DE POLIESTIRENO

Fabiano dos Santos¹
Romeu Rony Cavalcante da Costa²
Rogério Akihide Ikegami³

*Primeira versão publicada em Brazilian Journal of Development Curitiba, v.6, n.10, p. 78504-78513, oct. 2020. ISSN 2525-8761 - DOI:10.34117/bjdv6n10-327.

¹ Mestre em Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR

² Doutor em Engenharia Mecânica. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC

³ Doutor em Engenharia Mecânica. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC

RESUMO

O Poliestireno (PS) é um material homopolímero, no qual é formado por apenas um monômero, este monômero é resultante da polimerização de estireno. Neste contexto, o principal foco deste trabalho é estudar o comportamento mecânico e físico de um polímero misturado com outros polímeros da mesma classe. A presença de outro tipo de polímero como agregador na formação de uma blenda polimérica, pode influenciar na orientação das cadeias moleculares e com isso alterar as propriedades. A blenda é uma terminologia adotada na literatura técnica sobre polímeros, para representar as misturas de dois ou mais polímeros, de forma que entre as cadeias moleculares dos polímeros diferentes só exista interação intermolecular secundária ou que não haja um elevado grau de reação química entre as cadeias moleculares dos polímeros. Uma blenda pode alterar as propriedades do material com relação aos polímeros puros e para essa verificação foram realizadas misturas entre três tipos de PS (500, 525 e 535) para avaliar as propriedades mecânicas das blendas.

Palavras-chave: Blenda Polimérica. Poliestireno. Polímero. Propriedades Mecânicas.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente os polímeros estão sendo amplamente utilizados em vários produtos, por consequência do desenvolvimento de novos polímeros. Nas últimas duas décadas, a evolução da ciência e a tecnologia aumentou a quantidade de Polímeros sintéticos produzidos em todo o mundo. Os polímeros têm relevantes benefícios como, resistência mecânica com baixo volume de massa, menor custo no processamento, se comparado com outros tipos de materiais (Reis et al., 2013). Grande parte dos polímeros sintéticos são compostos produzidos pelo homem através da

polimerização de moléculas simples, ou seja, formadas por apenas uma espécie de moléculas. Os polímeros sintéticos estão divididos em dois grupos diferentes: polímeros de adição e polímeros de condensação. Os polímeros de adição, formados por monômeros iguais que apresentam pelo menos uma ligação dupla, a qual é quebrada quando ocorre a reação de adição. Os polímeros de condensação formados geralmente pela reação entre dois monômeros iguais ou diferentes, havendo a eliminação de moléculas pequenas na reação. Com polímeros sintéticos podem-se extrair vários produtos, entre os quais os plásticos, colas e segundo Mano e Mendes (2004), as reações de polimerização de monômeros insaturados são reações em cadeia, isto é, as moléculas de monômero necessitam de um agente iniciador para que surja um centro ativo, que pode ser um radical livre ou íon. Esse centro ativo vai adicionando, rápida e sucessivamente, outras moléculas de monômero, surgindo uma cadeia em crescimento, com um centro ativo em uma de suas extremidades. Durante a polimerização podem surgir três casos durante as reações:

1. Todos os átomos de carbono assimétrico gerados distribuem-se ao longo da cadeia e tendo a mesma configuração molecular. Neste caso o polímero é chamado isotático;
2. Todos os átomos de um lado da cadeia, têm alternância de configuração e o polímero é designado sindiotático;
3. Não têm qualquer ordem, dispondo-se as configurações ao acaso, tratando-se então de um polímero atático ou heterotático. Nesse último caso, formam-se estereoblocos, isto é, segmentos de unidades repetidas de mesma configuração, formando blocos, que se sucedem sem obediência a leis de repetição reconhecida. Com isto o objetivo deste será em caracterizar blendas poliméricas de PS, quanto a característica mecânica no ensaio de flexão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A confecção dos corpos de prova foi realizada através de moldagem por injeção, utilizando uma injetora marca Haitian modelo HTF 58X com faixa de temperatura de 210 °C a 260 °C, com pressão de injeção de 60 bar. Outras condições utilizadas foram velocidade da rosca de 50 m/min, temperatura do molde a 70 °C e tempo de resfriamento de 20 segundos. Este processo envolve o enchimento rápido sob forma de

pressão de uma cavidade de um molde com um polímero, seguido da solidificação do material para formar um produto, este processo é utilizado em termoplásticos, elastômeros e termofixos (Bretas, 2000). A moldagem por injeção é utilizada para a produção em massa de peças idênticas ao molde, obtidas introduzindo um polímero fundido em uma cavidade do molde. Uma grande vantagem deste processo é a sua adequação a produção em injetar peças de considerável complexidade geométrica, tanto em formas pequenas tanto como engrenagens de relógios quanto a peças maiores como barcos ou peças automotivas. A moldagem por injeção é considerada uma das técnicas mais complexas no tratamento com materiais poliméricos (Dupret, 1999). Para os testes de flexão, realizados por correlação de imagens, os corpos de prova foram pintados pulverizando gotículas de tinta em uma face, como demonstrado na Figura 1. Esta pintura é importante, pois a partir dela determina-se o alongamento final e a carga de flexão do corpo de prova, através da correlação de imagens, com isso pode-se afirmar que as deformações promovidas no material são uniformemente distribuídas em todo o seu corpo e permite medir satisfatoriamente a resistência do material.

Figura 1 – Corpo de prova com pintura.



Fonte: Autoria própria (2018)

Para a realização dos ensaios de flexão utilizou-se uma máquina da Time Group INC modelo WDW –100 de 10 toneladas, Figura 2.

Figura 2 – Máquina de flexão.



Fonte: Autoria própria (2018)

Dos materiais quando puros possuem características descritas na ficha técnica do produto, os polímeros utilizados foram:

PS 500 – Poliestireno Cristal direcionado para injeção plástica de produtos de utilidades domésticas, embalagens descartáveis para indústria alimentícia e artigos escolares.

PS 525 – Poliestireno Cristal direcionado para injeção plástica de produtos de utilidades domésticas, embalagens descartáveis e artigos escolares.

PS 535 – Poliestireno Cristal direcionado para a injeção plástica de produtos como partes internas de geladeiras, copos descartáveis, capa de CD e box para banheiros. O poliestireno é um material sólido, formado pela polimerização do benzeno e o etileno do petróleo em muitas moléculas de estireno (Schmidt et al., 2011).

A blenda polimérica que representa a mistura física de dois ou mais polímeros, segundo boletim técnico da Braskem nº08 de 2002, o que difere essas misturas é que, entre as cadeias moleculares dos diferentes polímeros, só existe interação intermolecular secundária. Como base comparativa ao material puro, foram utilizados neste estudo, 3 tipos de poliestireno (PS) recuperado, da marca Innova, gerando 4 tipos de combinações, conforme as amostras da Figura 3.

Figura 3 – Configuração das amostras.



Fonte: Autoria própria (2017).

A distribuição dos 3 tipos de poliestireno nas quantidades de PS para a formação das blendas está disposta na Tabela 1.

Tabela 1. Distribuição das Blendas

Combinações		Quantidades
PS 500	Amostra 1	900 g
PS 525		900 g
PS 535		900 g
PS 525	Amostra 2	900 g
PS 535		900 g
PS 500	Amostra 3	900 g
PS 535		900 g
PS 500	Amostra 4	900 g
PS 525		900 g

Fonte: Autoria própria (2018).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho estão agrupados por itens de acordo com cada procedimento utilizado, pois as caracterizações dos materiais foram realizadas através do uso de técnicas normatizadas. Os resultados de flexão obtidos tiveram como referência os dados dos materiais de acordo com o fabricante. Conforme normatizado

pela ASTM D790, a velocidade do ensaio de flexão para termoplásticos conforme o corpo de prova e é calculada pela equação:

$$R = \frac{ZL^2}{6d} \quad (1)$$

Sendo:

R – Velocidade (mm/min)

Z – Taxa de esforço do material = 0,01

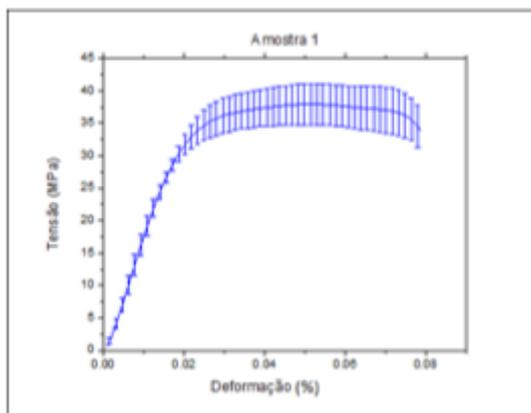
L – Distância entre os apoios (mm)

L – Distância entre os apoios (mm)

D – Espessura do corpo de prova (mm)

Neste caso a velocidade do ensaio para termoplásticos é de 1,36mm/min e pode-se observar a variação dos resultados nas diferentes tensões desenvolvidas. Na Figura 4 são demonstradas as diferentes tensões e deformações conforme a evolução do ensaio.

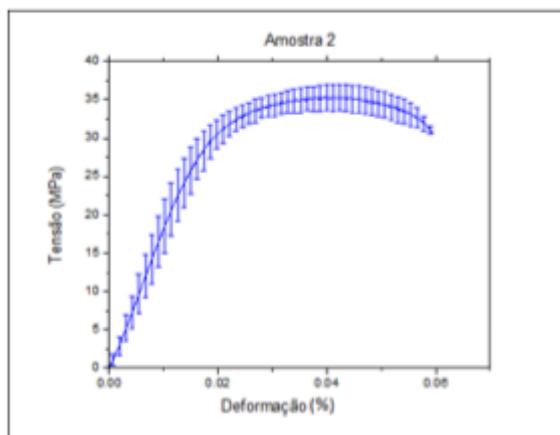
Figura 4 – Flexão amostra 1



Fonte: Autoria própria (2018)

Conforme disposto na Figura 4, a carga aplicada no teste de flexão, permitiu revelar tensão máxima (σ_m) 37,9 MPa e a deformação em 7,87 % suportada na carga, com módulo de elasticidade de 965 MPa que foi calculado do valor médio da inclinação da reta nas fase linear(elástica).Na Figura 5 a blenda da amostra 2 do ensaio de flexão, atingiu a tensão máxima ($\sigma_{m\acute{a}x.}$) suportada pelo material de 35,2 MPa.

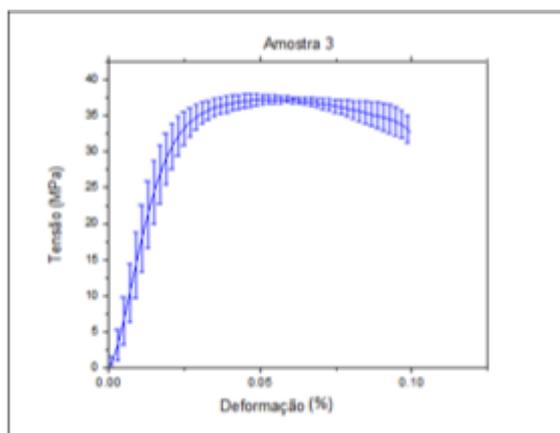
Figura 5 – Flexão amostra 2



Fonte: Autoria própria (2018)

Se comparado com a amostra 1, a tensão máxima (σ_m) e a deformação suportada pelo material da amostra 2 foi menor, provavelmente pela combinação dos materiais, porém com a deformação em 5,95% suportada na carga, o módulo de elasticidade encontrado foi calculado do valor médio da inclinação da reta nas fase linear (elástica) de 1509 MPa mais superior que a amostra1. Na Figura 6 a blenda da amostra 3 do ensaio de flexão, atingiu a tensão máxima ($\sigma_{m\acute{a}x.}$) suportada pelo material de 37,2 MPa.

Figura 6 – Flexão amostra 3

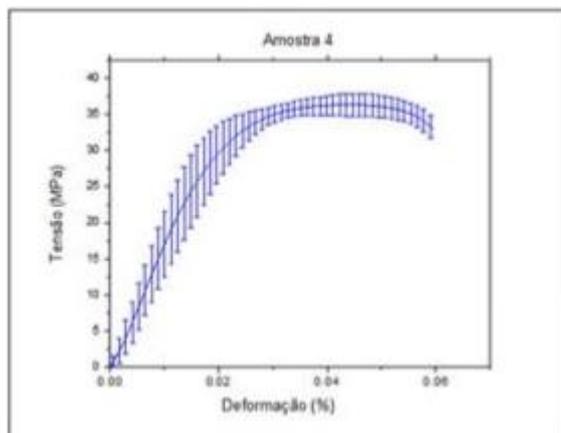


Fonte: Autoria própria (2018)

Ocorreu uma diminuição da tensão máxima (σ_m) suportada pelo material, em relação à amostra 1, com módulo de elasticidade de 810 MPa que foi calculado do valor médio da inclinação da reta nas fase linear (elástica), sendo o pior resultado das amostras comparadas, mas pelo contrário foi a amostra que suportou a maior

deformação de carga em 9,96%. Na Figura 7 a blenda da amostra 4, no ensaio de flexão atingiu a tensão máxima ($\sigma_{\text{máx.}}$) suportada pelo material de 36,4 MPa.

Figura 7 – Flexão amostra 4



Fonte: Autoria própria (2018)

Os valores da tensão máxima (σ) suportada pelo material foi menor que a amostra 2 e maior que a amostra 1, o módulo de elasticidade de 1582 MPa apresentou o melhor resultado entre as amostras comparadas, porém com a deformação em 5,96% suportada na carga. Analisando os resultados de flexão, houve um comparativo entre as blendas e a especificação do produto, descritos conforme Tabela 2.

Tabela 2. Resultados de Flexão.

Propriedades Mecânicas	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Un	PS 500	PS 525	PS 535
FLEXÃO	37,9	35,2	37,2	36,4	MPa	85	95	100

Fonte: Autoria própria (2018)

No caso de materiais isotrópicos, em que as propriedades não dependem da direção em que são medidas, o módulo de elasticidade é proporcional à rigidez de um material quando este é submetido a uma tensão externa, sendo assim, foram obtidos os seguintes resultados, descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados do Módulo de Elasticidade

Módulo de Elasticidade	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	PS 500	PS 525	PS 535
FLEXÃO	965	1509	810	1582	*	*	*

Fonte: Autoria própria (2018)

Na especificação do produto não há indicação do módulo de elasticidade por flexão podendo ser comparado com os resultados, por comparação entre as amostras pode-se observar que a amostra 4 apresentou um melhor comportamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ensaio realizado em corpos de prova permitiu de forma clara, identificar e conhecer as propriedades mecânicas dos materiais, além disso, o ensaio de flexão permitiu conhecer o comportamento do material, e também foi possível a aplicação de equações para realizar o cálculo das propriedades mecânicas. A partir da metodologia utilizada no ensaio de flexão, conseguiu-se obter um melhor entendimento no que diz respeito a ensaios de flexão e análise do comportamento do material por meios de gráficos, verificando a diferença nos resultados encontrados entre os corpos de prova. Verificou-se que com a realização do ensaio de flexão, é possível determinar o emprego ou a utilização de um determinado material através da sua capacidade de resistir e conhecendo as condições de trabalho. Através desse desenvolvimento, verificou-se que com o aumento da força aplicada para flexionar o corpo de prova, os valores de deslocamentos, tensão e deformação também aumentam até o surgimento da estrição e posterior ruptura do corpo de prova ensaiado. Com os valores da tensão conhecido no momento da fratura pode-se observar os valores de resistência à flexão de cada amostra. No ensaio de flexão, de todas as amostras, todos os valores apresentados para um PS recuperado como se esperado, foram abaixo se comparados com a especificação do material puro, no entanto no módulo de elasticidade permitiu conhecer o comportamento em resultados, mesmo com material recuperado onde no material puro não é especificado.

AGRADECIMENTOS

A UTFPR uma instituição que carregou por toda minha vida, minhas estimadas considerações, fico muito grato pelo aprendizado e pelas orientações de meus mestres, sem exceções.

REFERÊNCIAS

- BRASKEM; Glossário de Termos Aplicados a Polímeros-Boletim Técnico nº08 https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/Glossario_de_termos_aplicados_a_polimeros.pdf, acesso em 10 de novembro de 2016.
- BRETAS, ROSARIO E. S.; D'AVILA, MARCOS A.- Reologia de polímeros fundidos – São Carlos: EdUFSCAR, 2000.
- DUPRET F.; COUNIOT A.; MALO.; VANDERSHUREN L.; VERHOYEN O. – Modelling And Simulation Of Injection Molding - CESAME, Unitd de Mecanique Appliquee, Université catholique de Louvain, avenue G. Lemaitre 4-6, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium, 1999.
- MANO, E. B.; MENDES, L.C.; Introdução a Polímeros – 2,ed, ver e ampl. -Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 2004.
- REIS J.M.L.; PACHECO, L.J.; PACHECO, MATTOS H.S.C. - Influence of the temperature and strain rate on the tensile behavior of post-consumer recycled high-density polyethylene -Theoretical and Applied Mechanics Laboratory – LMTA, Mechanical Engineering Post-Graduate Program –PGMEC, Universidade Federal Fluminense –UFF, Rua Passo da Pátria 156, Niteroi, RJ, Brazil, 2013.
- SCHMIDT, P.N.S.; CIOFFI, M.O.H.; VOORWALD, H. J. C.; SILVEIRA, J. L. -Flexural Test On Recycled Polystyrene -Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá –UNESP, Univ. Estadual Paulista, Department of Materials and Technology, Fatigue and Aeronautic Materials Research Group –São Paulo -Brazil, 2011.
- STEVENS, M.P., Polymer Chemistry An Introduction. 3rd Edition, Oxford University Press, 1999.

CAPÍTULO X

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SISTEMAS DE FECHAMENTO PARA UMA EDIFICAÇÃO ESTRUTURADA EM AÇO

Gustavo Gomes de Oliveira ¹
Rovadavia Aline de Jesus Ribas ²
Adriano Pinto Gomes ³

¹ Mestre em Construção Metálica. Universidade Federal Ouro Preto – UFOP

² Professora Efetiva do Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP

³ Professor Colaborador Mestrado Profissional em Engenharia das Construções (MECON/UFOP). Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP

RESUMO

Em edificações, um sistema de fechamento adequado ao clima local pode reduzir o gasto com energia elétrica e contribuir positivamente para o conforto térmico dos usuários. Nesse contexto, esse artigo tem como objetivo abordar a concepção de sistemas de fechamento e suas interferências no desempenho térmico de uma edificação estruturada em aço. Avalia-se assim o desempenho térmico de sistemas de fechamentos para um edifício residencial de três pavimentos, estruturado em aço, localizado em Cachoeira do Campo, distrito de Ouro Preto, MG. Considerando-se o clima local de inverno e verão, são realizadas simulações via software *EnergyPlus*, do desempenho térmico de sistemas de fechamento externos compostos por poliestireno expandido (EPS), *Exterior Insulation Finishing System* (EIFS) e *Oriented Strand Board* (OSB), comparando-o ao desempenho da alvenaria de tijolo cerâmico. O gesso acartonado (GEA) é aplicado como fechamento interno. Como os sistemas de fechamento não foram instalados, apontam-se aqueles mais viáveis para essa edificação, em termos de desempenho térmico. Dentre os fechamentos analisados, verifica-se que alguns demonstram ser melhores no verão, outros no inverno. Porém destaca-se que eles atingem uma adequada regularidade nas duas situações, mostrando que são concorrentes com a alvenaria.

Palavras-chave: Edificação estruturada em aço. Sistemas de fechamento. Desempenho térmico. *EnergyPlus*. Simulação computacional.

1. INTRODUÇÃO

O conforto está relacionado ao desejo que o homem tem de sentir-se bem. De forma mais abrangente, o conforto ambiental se dá por questões físico-ambientais nas quais se detectam condições naturais e de salubridade, por meio de reações metabólicas associadas a: iluminação, acústica, conforto térmico e ventilação, ao dimensionamento

espacial, além do entorno, que interfere na qualidade do ambiente. Enfim, o conforto não depende somente das condições climáticas do entorno, mas também da orientação e construção dos edifícios (MONTE, 2006).

Sabe-se que baixos índices de conforto térmico podem propiciar reações adversas como desconforto muscular, dor de cabeça e cansaço, dependendo do nível de intensidade do trabalho realizado no local e da sensibilidade do usuário de uma edificação. Um ambiente bem climatizado predispõe uma pessoa a um desempenho de tarefas mais eficaz, mercê da satisfação com o ambiente. Tal satisfação é função das variáveis pessoais: metabolismo e resistência térmica; e das climáticas: temperatura de bulbo seco, umidade e velocidade do ar, além da temperatura radiante média. Por sua vez, esse conjunto de variáveis depende do sistema de fechamento, da cor, da orientação da edificação, que influencia na radiação solar recebida e no aproveitamento da ação do vento (SILVA, 2015).

Um dos grandes objetivos da Arquitetura é oferecer ambientes compatíveis ao conforto térmico humano no interior dos edifícios, sejam quais forem as condições climáticas externas. O uso inteligente de energia representa uma conexão da arquitetura ao clima, diminuindo ou evitando sistemas de condicionamento de ar, aquecendo ou resfriando. O condicionamento passivo pode propiciar, quando planejado, a redução do excesso de calor resultante no interior dos edifícios, minimizando, os efeitos de climas excessivamente quentes (FROTA, 2004).

O distrito de Cachoeira do Campo, situado em Ouro Preto, MG, apresenta um clima variado, com alternâncias de temperaturas nas estações do ano. A expansão urbana pela qual o distrito vem passando nos últimos anos contribui para a diminuição de áreas verdes e aumento de áreas pavimentadas e edificadas, que no futuro poderão contribuir para modificar o microclima, implicando em um desconforto térmico no interior de suas edificações.

Além disso, considera-se que, em virtude do clima com grandes alternâncias de temperatura, faz-se necessário o estudo do desempenho térmico de edificações locais, uma vez que elas devem garantir um ambiente agradável para os ocupantes mesmo com as condições adversas de temperatura do clima da região. Logo, a preocupação com o desempenho térmico de edificações é justificável e relevante na elaboração de projetos de edificações no distrito.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é avaliar o desempenho térmico de sistemas de fechamentos para uma edificação residencial de três pavimentos, estruturada em aço, localizada em Cachoeira do Campo, distrito de Ouro Preto, MG.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A opção por determinados materiais que integram o sistema de fechamento de uma edificação deve ser minuciosa, aliando custo/benefício ao clima local, pois um material não adequado pode ocasionar aumento no uso de ar condicionado no verão ou aquecedor no inverno e conseqüentemente aumentando o consumo de energia elétrica (FARIA, 2013).

O desempenho térmico de um ambiente depende da combinação de vários fatores, dentre os quais se destacam o posicionamento do edifício e suas dependências, a escolha e execução de paredes, pisos, tetos e esquadrias e a especificação de equipamentos e instalações, que são possíveis fontes de calor (RIBAS, 2013).

Ressalta-se também a importância da especificação dos sistemas de fechamento verticais e horizontais, cuja constituição e montagem determinam, em grande parte, os níveis de desempenho térmico no ambiente construído (SALES; NEVES; SOUZA, 2001).

Além disso, a temperatura interior de uma construção é fundamentalmente influenciada pelas variáveis climáticas externas (radiação solar e temperatura externa) e pelas cargas internas (atividade humana, dispositivos e equipamentos que emitem calor). Com um entorno e aberturas projetadas de maneira adequada, em uma edificação bem orientada geograficamente, a climatização mecânica pode ser minimizada e até mesmo eliminada (BALARAS, 1996).

Cunha (2006) aponta que só é possível o uso racional da energia a partir de uma arquitetura bioclimática (sustentável). A arquitetura bioclimática trabalha o desenho arquitetônico da edificação a partir do lugar, clima, orientações e insolação, visando, desse modo, melhorias nas condições do habitat antes de se recorrer a técnicas de climatização artificial. Sendo assim, considera-se onde o sol nasce, onde se põe e as suas inclinações incidentes em cada época do ano, e que ganhos de calor (desempenho térmico) serão incorporados nas edificações.

Mascaró e Mascaró (2009) apontam que o desempenho ambiental do recinto urbano é resultado das características da arquitetura da edificação e principalmente da

eficiência das janelas, que são uma boa alternativa para a dispersão térmica, e, também, para aproveitar a energia solar (radiação de onda curta e sua opacidade em relação à radiação de onda longa) através da transparência do vidro. Assim, o sistema de construção deve incluir/anexar o espaço interno ao externo, tendo a janela como item de ligação.

Emmanuel (2004) pesquisou o conforto e desempenho térmico bem como as variações da urbanização em uma cidade quente e úmida - o caso da região metropolitana de , no Sri Lanka. O estudo analisou as tendências históricas em conforto térmico (temperatura e umidade) e a correlação com a vegetação local. Concluiu que houve uma tendência crescente em desconforto térmico, especialmente à noite, principalmente nas áreas periféricas. O estudo também frisou a importância da cobertura do solo no centro da cidade versus áreas rurais.

A partir da breve apresentação das questões que se fazem presentes na pesquisa, infere-se que os avanços tecnológicos e as mudanças globais das relações econômicas e ambientais influenciam diretamente nos projetos dos edifícios. A complexidade do projeto e a exigência da qualidade ambiental das construções de pequeno e médio porte têm aumentado. Citam-se alguns dos motivos: o avanço tecnológico; a mudança de percepção e de necessidade dos usuários e empreendedores; a crescente importância dada ao edifício como facilitador da produtividade; a importância da crescente troca de informações e do controle humano sobre os espaços; e a necessidade de se empreender em ambientes que busquem o menor impacto ambiental, a maior eficiência energética e, portanto, as melhores condições de conforto humano (KOWALTOWSKI et al., 2006).

A seleção das condicionantes de projeto determina quais são as exigências do conforto térmico para dias típicos de verão e inverno de um determinado local. Nessa etapa deve-se verificar a quantidade de consumo de energia da edificação. Ao fazer o pré-projeto arquitetônico, deve-se basear em Normas Técnicas e Regulamentações determinando-se as características do anteprojeto. Em seguida, deve-se fazer a simulação da edificação avaliando-se as condições de conforto humano considerando-se a avaliação de desempenho térmico. A partir dos resultados obtidos, verifica-se a necessidade de refazer o anteprojeto e, posteriormente, o detalhamento do mesmo para a execução do projeto e sua avaliação final (AKUTSU, 1998).

3. ESTUDO EXPLORATÓRIO PRÁTICO – MATERIAIS E MÉTODOS

Apresentam-se nesse item as etapas de desenvolvimento do trabalho com a apresentação dos procedimentos necessários para a avaliação de desempenho térmico da edificação tendo em vista os diferentes materiais e estruturas para o fechamento interno e externo da edificação. A avaliação do desempenho térmico se baseia na verificação das condições internas de temperatura, para que seus ocupantes se sintam confortáveis do ponto de vista térmico.

3.1. A edificação analisada

A edificação analisada, situada em Cachoeira do Campo, distrito de Ouro Preto, MG, começou a ser construída em novembro de 2016 (Figura 1). Encontra-se em fase de execução do projeto, com pilares e vigas implementados. Não possui sistema de fechamento ainda, o que também levou a esse estudo.

Figura 1 - Sistema estrutural da edificação



Fonte: Oliveira (2019).

A construção é constituída por uma fundação em concreto, vigas e perfis em aço, possuindo uma área total de 360 m² com três unidades de pavimento, sendo o primeiro pavimento garagem e o restante, residenciais. Encontra-se em uma área urbanizada, de

fácil acesso a veículos e pedestres (Figura 2). As lajes são pré-moldadas treliçadas de concreto e 40 cm de espessura (Figura 3).

A edificação tem seus pilares e vigas em aço (Figura 3), e a cobertura do telhado terá uma platibanda também estruturada em aço. As telhas serão galvanizadas e termoacústicas preenchidas por poliuretano (P.U.). O perfil de aço para o telhado é o W150 x 22,5 e situa-se a 15 cm da laje.

Figura 2 - Imagem aérea do Edifício



Fonte: GOOGLE MAPS (2019).

A estrutura de aço de sustentação da cobertura é composta por perfis "C" ASTM A36; as laterais esquerda e direita são constituídas por pilares em aço W150 x 22,5. As ligações são feitas por parafusos de fixação e interligação de peças; o pé direito possui 3,52 m. O edifício possui uma área construída de aproximadamente 540 m² e área de projeção de cerca de 180 m².

Figura 3 - Desenvolvimento da construção



Fonte: Oliveira (2019).

Nos 2º e 3º pavimentos, cada um terá uma varada, três quartos, três banheiros, um escritório, duas salas de estar, uma cozinha, um hall de circulação, uma área de serviço e um jogo de escadas. Os fechamentos interno e externo são os instrumentos de pesquisa, variando-se material, espessura, composição e rugosidade. O pavimento térreo constitui-se de uma garagem e um banheiro. O piso dos pavimentos será constituído por um contrapiso revestido por porcelanato.

As portas para os quartos serão do tipo prancheta de dimensões 0,6 m x 2,10 m enquanto para os banheiros 0,7 m x 2,10 m. A maioria das janelas serão de vidro temperado 1,38 m x 1,04 m x 1,51 m. Na fachada, que recebe insolação durante a maior parte da tarde, estão previstas duas folhas de correr em vidro temperado cujas dimensões são 3,45 m x 2,55 m. O telhado será constituído de telha termoacústica de P.U. com espessura de 0,43 mm. Na Figura 4 mostra-se a planta baixa do 3º pavimento da edificação.

Como não há estudos climáticos consideráveis para o distrito de Cachoeira do Campo, utilizam-se os dados climáticos da cidade mais próxima, Belo Horizonte, que

está localizada a 19,56° de latitude e 43,56° de longitude, a uma altura média de 874 metros, e se encontra na mesma zona bioclimática, seguindo orientação da norma NBR 15575 (BNT, 2013).

Belo Horizonte apresenta temperatura máxima de bulbo seco de 32°C e mínima de 21,70°C, para o verão, e, para o inverno, máxima de 22°C e mínima de 9°C. A radiação solar incidente em superfície horizontal é 2677 W/m² e a radiação solar global incidente na direção normal é 4668 W/m². A média global de umidade relativa é de 72,2% (INMET, 2019). Médias mensais de umidade são mais altas de novembro a fevereiro enquanto que de agosto a setembro são mais baixas. A região apresenta um clima tropical de altitude, com verões quentes e úmidos e temperaturas mais baixas no inverno.

Os dias escolhidos para esse estudo são 20 de janeiro para o verão e 20 de maio para o inverno, pois são dias que apresentam faixas de temperaturas características de verão e inverno.

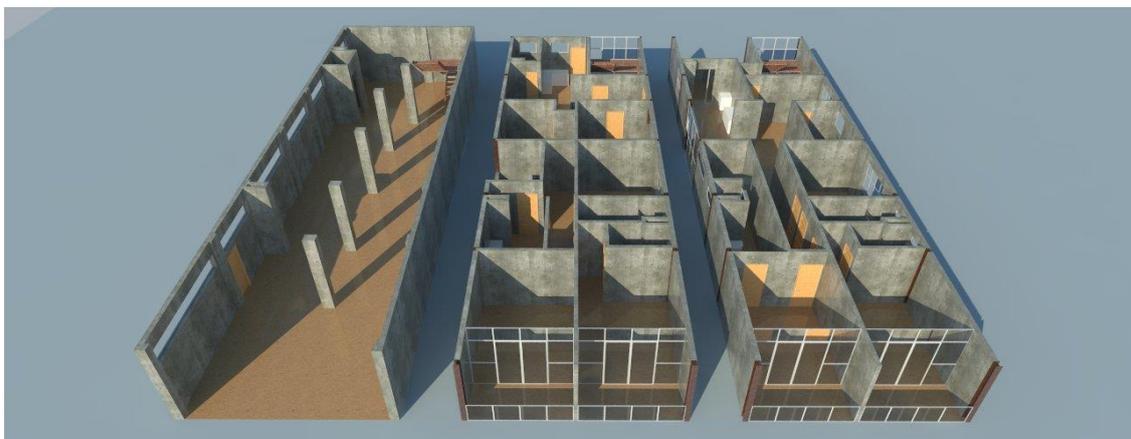
Para a análise de desempenho térmico, o perfil de temperatura interna da edificação é obtido por meio de simulações computacionais que são realizadas no *software EnergyPlus*, que englobam três etapas. Primeiramente é criado o modelo de edifício no programa, introduzindo-se os vários dados que compõem a habitação, como a geometria, dimensões e constituição. É utilizado o programa *SketchUp* 2017 para o desenho do edifício, sendo necessário utilizar o *plugin* do *OpenStudio* 2.3.0 para auxiliar na construção de ferramentas de desempenho térmico. Na Figura 5, mostram-se os três pavimentos da edificação utilizando o programa *SketchUp*.

Em seguida, por meio do *EnergyPlus* executa-se a simulação, calculando-se os parâmetros solicitados, tendo em conta um ficheiro de dados climáticos, dias propostos e demais variáveis. Por fim, analisam-se os resultados e tiram-se as conclusões, elaborando-se, várias análises de sensibilidade térmica das variáveis pertencentes ao edifício.

3.2. Materiais e composições utilizados na simulação

Diversos materiais e associações foram aplicados a esse estudo. Durante o processo de simulação utilizaram-se também fechamentos tradicionais como alvenaria e gesso acartonado, mas todos foram selecionados em função de seus potenciais

Figura 5 - Edifício projetado no SketchUP



Fonte: Oliveira (2019).

Foram utilizados os materiais: Poliestireno expandido (EPS), *Exterior Insulation Finishing System* (EIFS), *Oriented Strand Board* (OSB), Alvenaria de tijolo cerâmico (ATC), Lã de vidro (LVI) e ar. Na Tabela 1 são apresentadas, além da espessura e densidade (massa específica), as propriedades termofísicas dos materiais sugeridos para compor os sistemas de fechamento do edifício: condutividade térmica, calor específico, absorvância térmica e absorvância solar.

Tabela 1 - Propriedades termofísicas dos materiais dos sistemas de fechamento

Materia l	Espessur a (mm)	Densidad e (kg/m ³)	Condutividad e (W/m.k)	Calor (K/kg.K)	Absortânci a Térmica	Absortân -cia Solar
EPS	50	25	0,030	1000	0,9	0,3
EIFS	100	30	0,04	700	0,9	0,7
OSB	100	730	0,17	2000	0,85	0,65
ATC	150	1800	1,050	920	0,9	0,5
LVI	50	100	0,045	700	0,9	0,5
Ar	25	1,22	0,6	1000	0,95	0,7

Fonte: NBR 15220 (ABNT,2013); GOMES, 2007; RIBAS, 2013; METALICA, 2018.

Com a simulação de diversos materiais, isolados ou em multicamadas (alguns com adição de lã de vidro na cavidade de ar entre os painéis), são obtidos diversos cenários para fechamento do edifício.

Entre os painéis utilizados, aplica-se 50 mm de lã de vidro e uma cavidade de 25 mm de ar. Tanto a lã de vidro quanto o ar são isolantes térmicos, esperando-se, por isso, que esses materiais elevem o desempenho térmico dos sistemas de fechamento. Na Tabela 2, são apresentados o material, composição, espessura e tipo de sistemas de fechamento.

Tabela 2 - Composições dos painéis de fechamento

Material	Composição e espessura (mm)	Aplicação do fechamento (interno, externo ou ambos)
ATC	ATC (150)	Ambos
EPS, OSB	OSB (100)-LVI (50)-AR(25)-EPS(50)	externo
	EPS (50)-LVI (50)-AR(25)-EPS(50)	interno
OSB	OSB (100)-LVI (50)-AR(25)-OSB(100)	ambos
EIFS/GEA	EIFS (100)-LVI(50)-AR(25)-EIFS(100)	externo
	GEA (20)-LVI(50)-AR(25)-GEA (20)	interno
	OSB (100)-LVI(50)-AR(25)-OSB(100)	interno
	GEA (20)-LVI(50)-AR(25)-GEA (20)	interno
	GEA (20)-LVI(50)-AR(25)-GEA (20)	interno

Fonte: Oliveira (2019)

Para as simulações, adota-se o segundo pavimento. Utilizam-se como objetos de análise a suíte 02, que é chamada de suíte, e o quarto. A suíte possui área de base de 14,58 m², volume de 46 m³, e com instalação sanitária de área 14,72 m² e volume de 51,81 m³. O quarto possui área de 14,15 m² com volume de 49,80 m³.

Os ganhos de calor são estipulados considerando-se uma situação próxima da realidade, quando houver habitantes no edifício. Dessa forma, a iluminação utilizada é constituída por duas lâmpadas do tipo *light-emitting diode* (LED) dispostas em cada suíte. Na sala e no outro quarto, considera-se apenas uma lâmpada LED em cada cômodo. Todas juntas, funcionando de 17:00 as 00:00 horas, representam uma taxa de iluminação de 15 W/m².

Adota-se uma resistência térmica de 0,3 CLO para as vestimentas. Segundo a norma ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2004), uma taxa metabólica para uma família de 5 pessoas sentadas ou relaxando é de 60 W/m² aproximadamente. Logo, adota-se esse valor para o grau de atividades físicas dos usuários no recinto. Soma-se então, a essa

quantidade de calor, o valor resultante da iluminação, obtendo-se 75 W/m^2 de ganhos de calor. A ventilação é do tipo natural e são consideradas renovações horárias iguais a cinco ren/h.

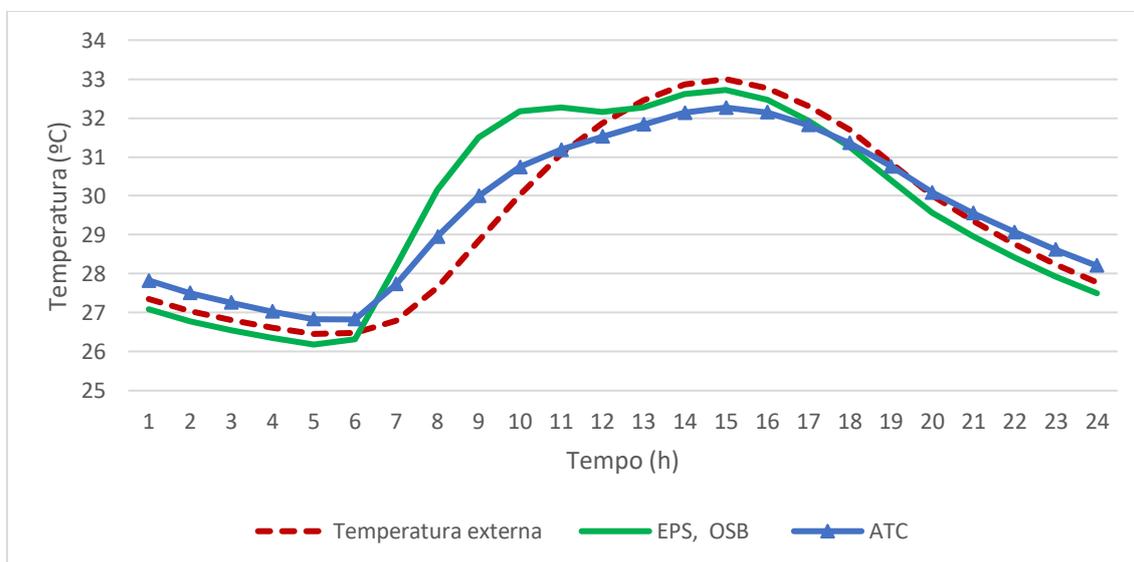
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Avaliam-se as temperaturas internas obtidas para o quarto e a suíte, que são recintos de permanência prolongada (ABNT, 2013), para as condições de verão e de inverno. Os resultados são mostrados em forma de gráficos.

4.1. Análise de desempenho térmico da suíte para a condição de verão

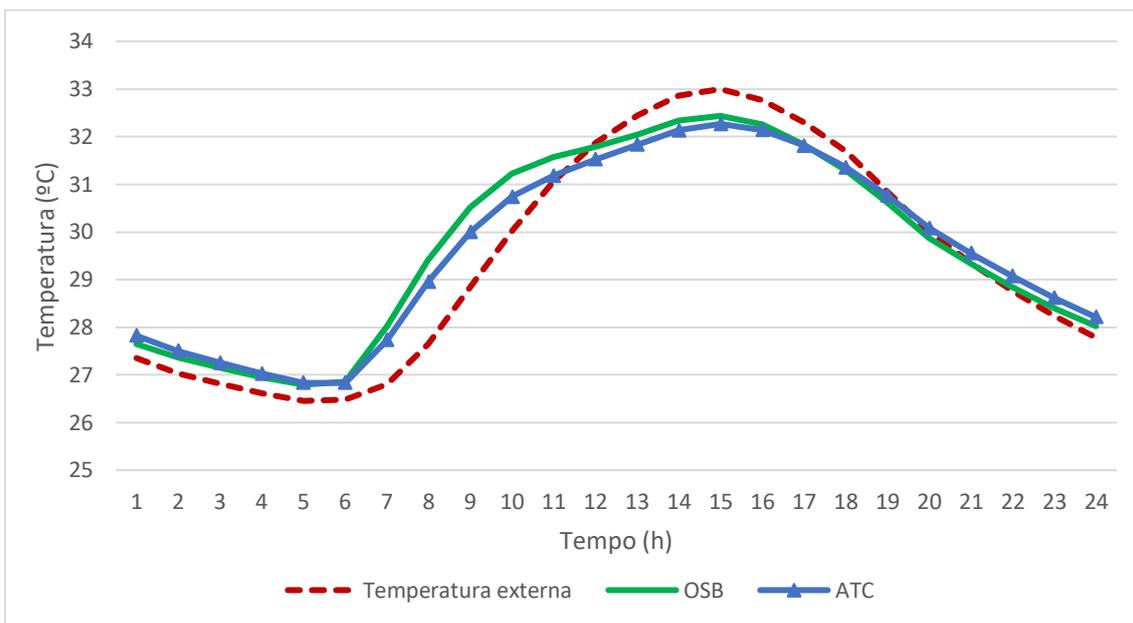
Analisa-se o desempenho térmico dos fechamentos verticais para a suíte, para um dia típico de verão. A suíte está com a fachada voltada para leste e sul e, por isso, recebe boa parte da incidência solar, além de ter parte da sacada envidraçada. Nas Figuras de 6 a 8 mostra-se a variação de temperatura interna comparando-se os fechamentos, temperatura externa e alvenaria para a condição de verão.

Figura 6 - Temperatura interna EPS, OSB X ATC



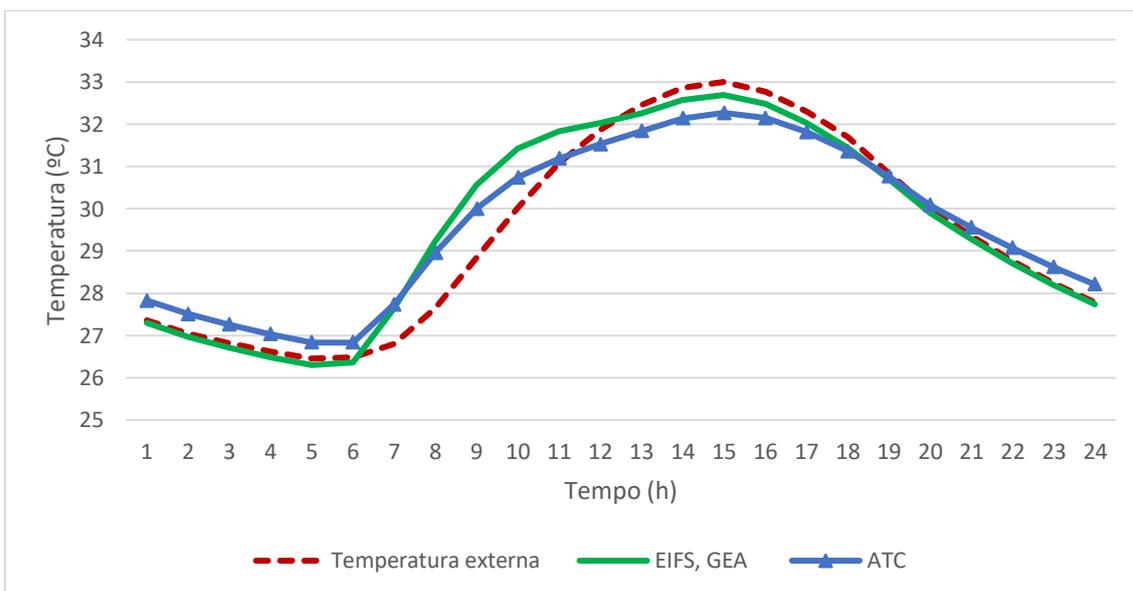
Fonte: Oliveira (2019).

Figura 7 - Temperatura interna OSB X ATC



Fonte: Oliveira (2019)

Figura 8 - Temperatura interna EIFS, GEA X ATC



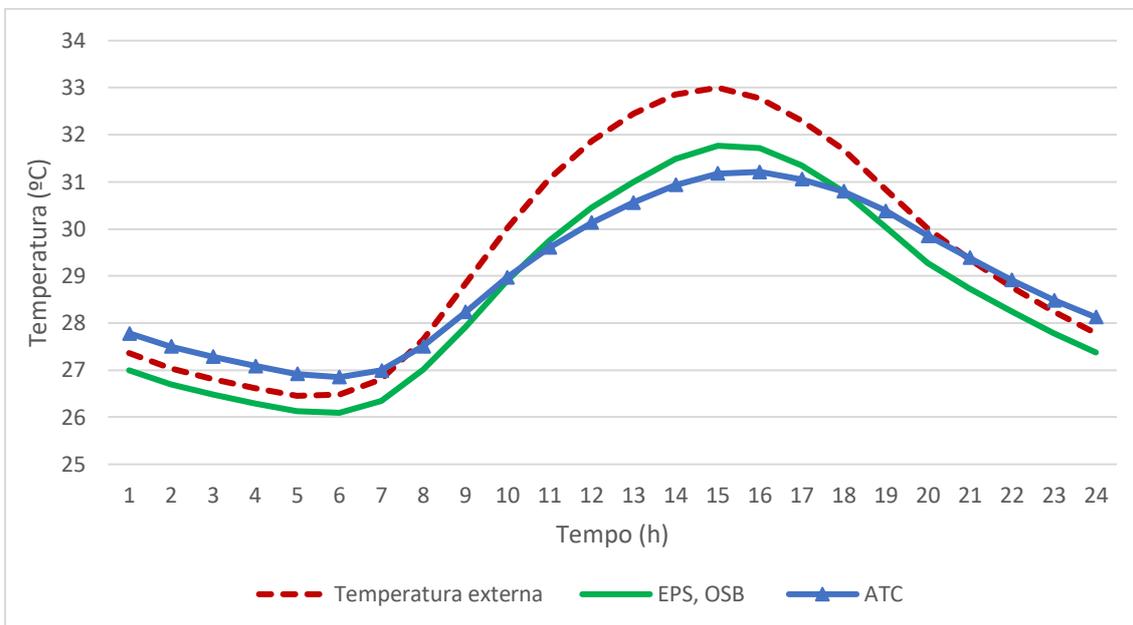
Fonte: Oliveira (2019)

4.2. Análise de desempenho térmico do quarto para a condição de verão

Analisa-se o desempenho térmico dos fechamentos verticais para o quarto, para um dia típico de verão. O quarto está com a fachada voltada para oeste e sul e, por isso, recebe boa parte da incidência solar. Nas Figuras de 9 a 11 mostra-se a variação de

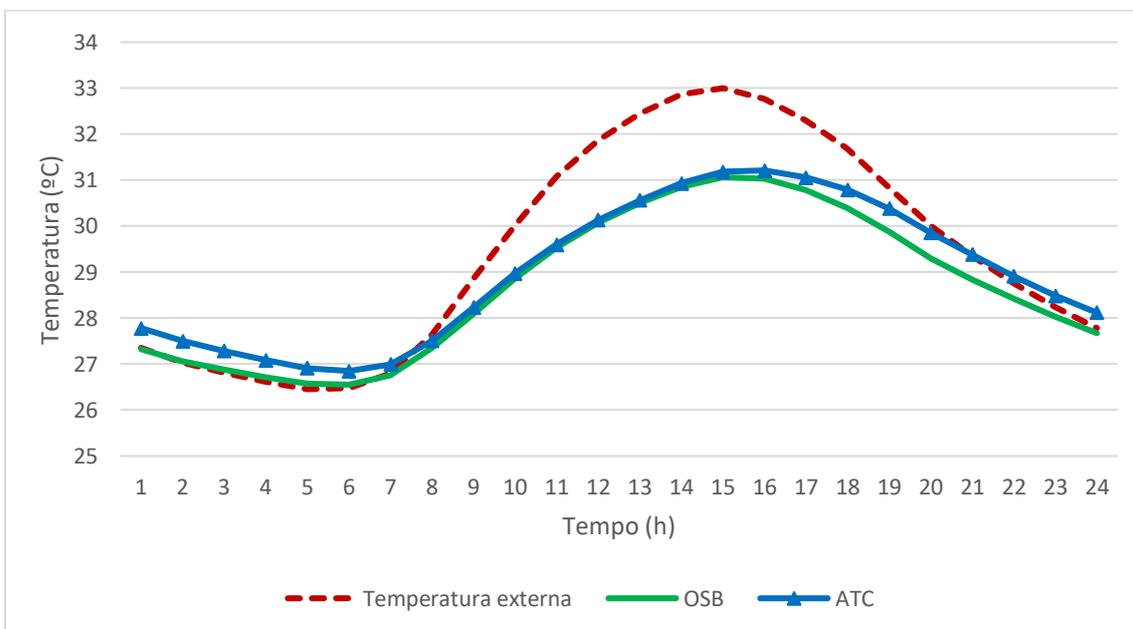
temperatura interna comparando-se os fechamentos, temperatura externa e alvenaria para a condição de verão.

Figura 9 - Temperatura interna EPS, OSB X ATC



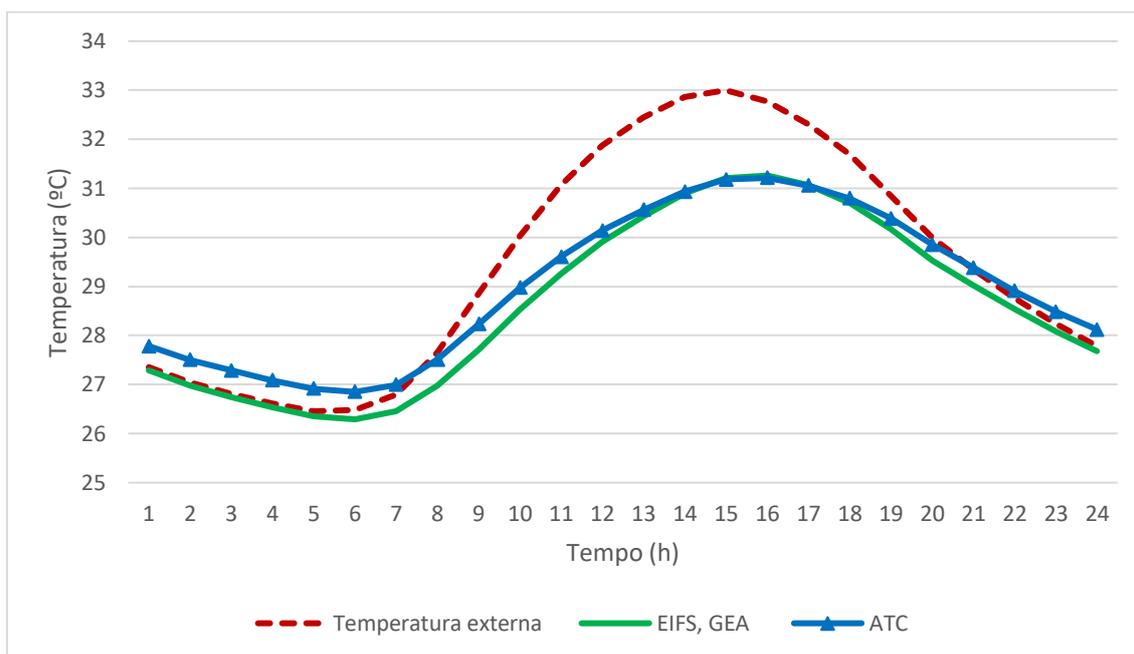
Fonte: Oliveira (2019)

Figura 10 - Temperatura interna OSB X ATC



Fonte: Oliveira (2019)

Figura 11 - Temperatura interna EIFS, GEA X ATC

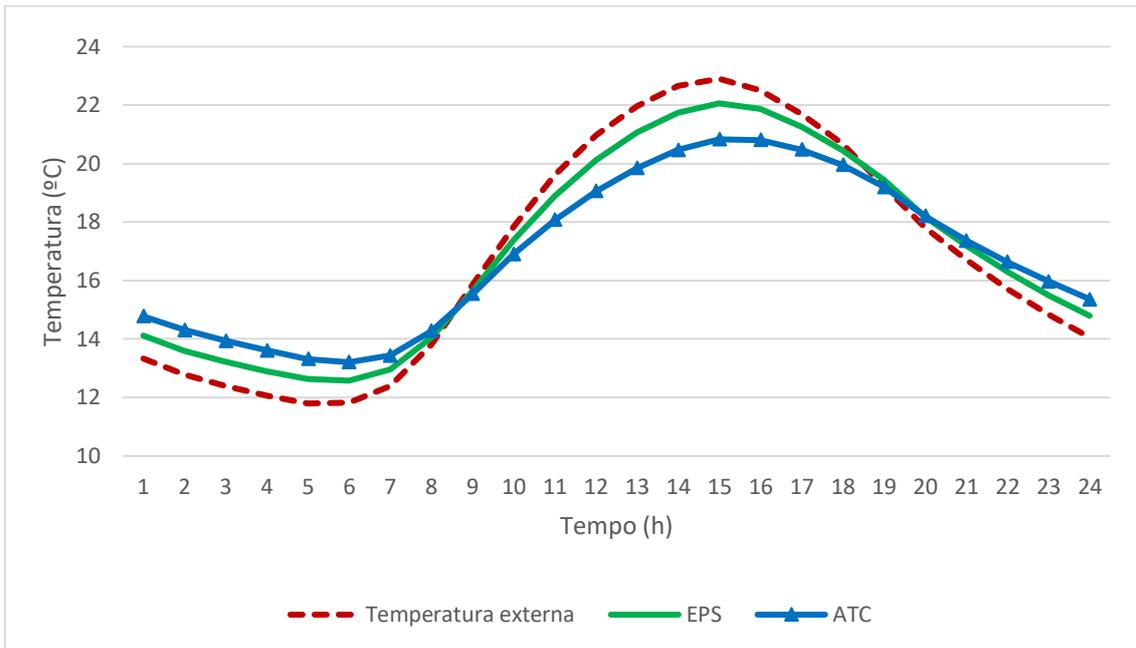


Fonte: Oliveira (2019)

4.3. Análise de desempenho térmico da suíte para a condição de inverno

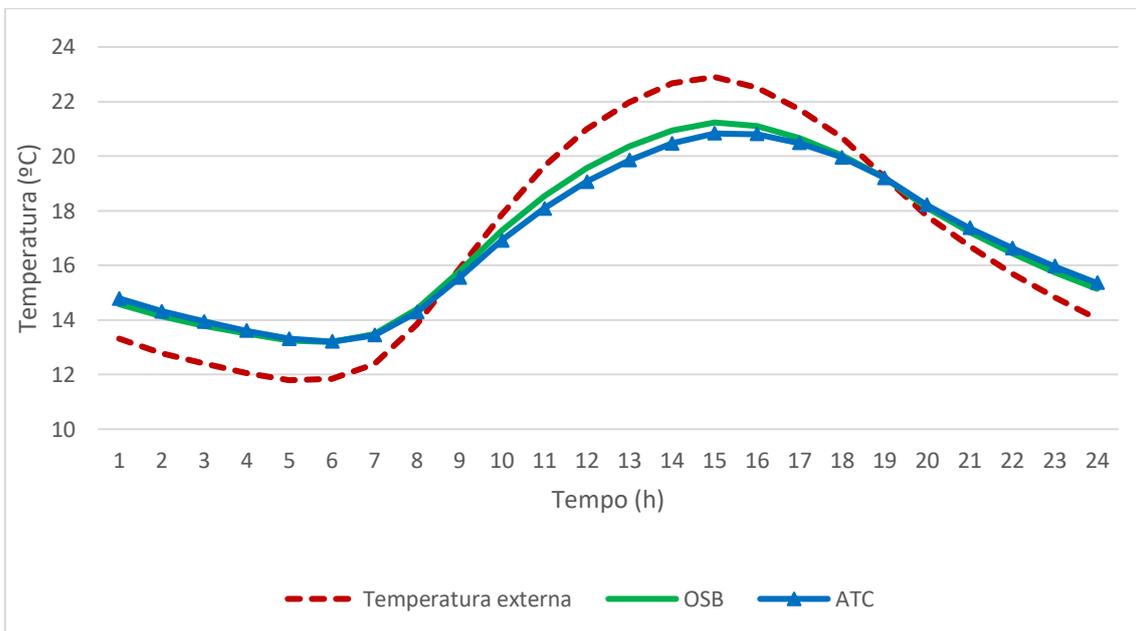
Analisa-se também o desempenho térmico dos fechamentos verticais para a suíte, para um dia típico de inverno. Reforça-se que a fachada desse recinto está voltada para oeste e sul e por isso recebe boa parte da incidência solar, além de ter parte da sacada envidraçada. Nas Figuras de 12 a 14 mostra-se a variação de temperatura interna comparando-se os fechamentos, temperatura externa e alvenaria para a condição de inverno.

Figura 12 - Temperatura interna EPS X ATC



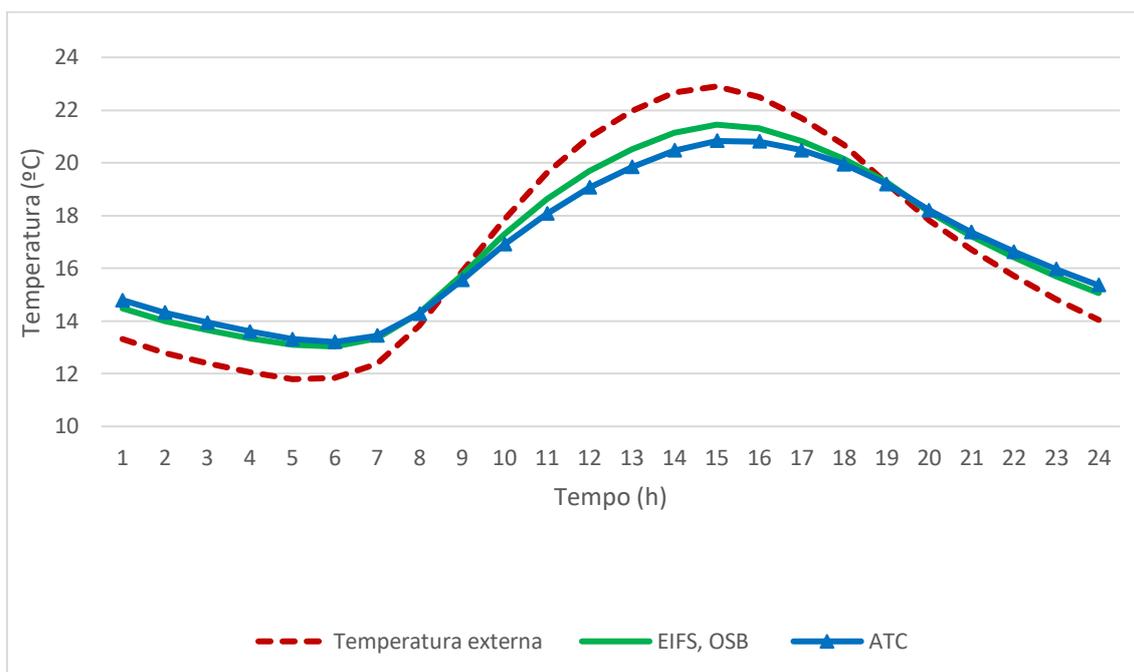
Fonte: Oliveira (2019)

Figura 13 - Temperatura interna OSB X ATC



Fonte: Oliveira (2019)

Figura 14 - Temperatura interna EIFS, OSB X ATC

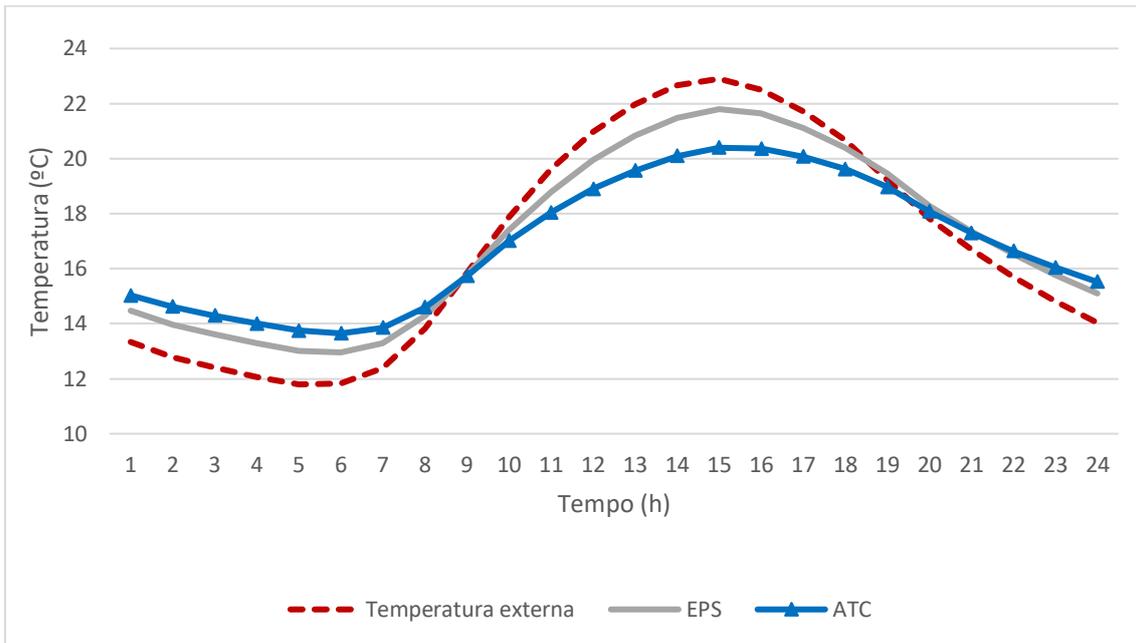


Fonte: Oliveira (2019)

4.4. Análise de desempenho térmico do quarto para a condição de inverno

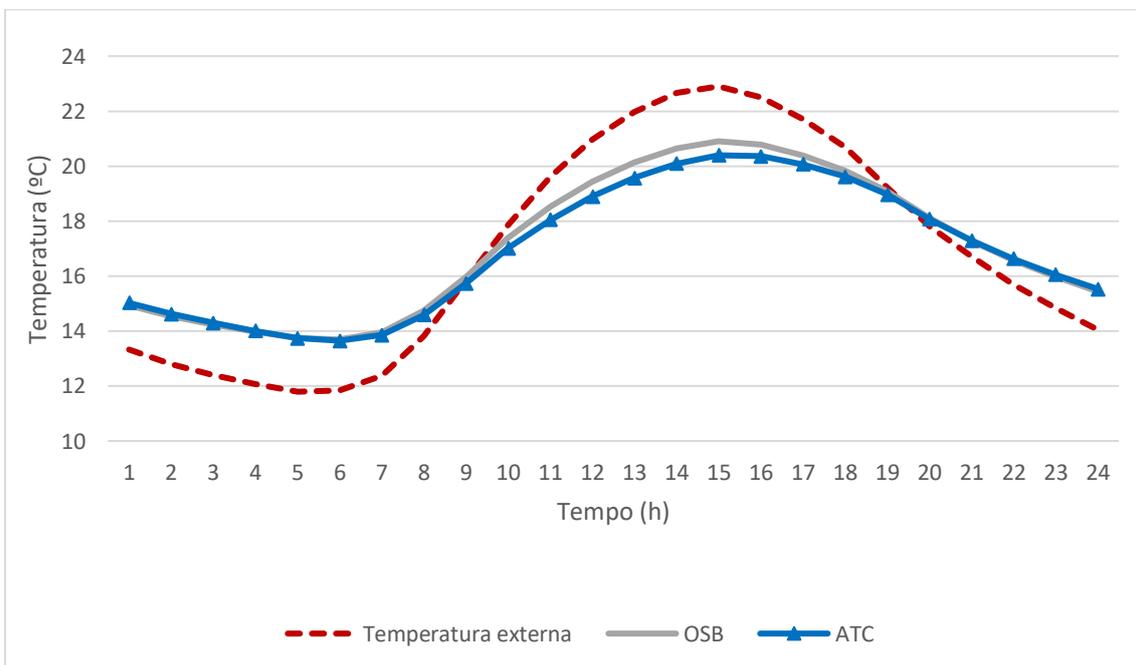
Analisa-se ainda o desempenho térmico dos fechamentos verticais para o quarto, para um dia típico de inverno. A fachada desse recinto está voltada para leste e sul e, por isso, recebe boa parte da incidência solar. Nas Figuras de 15 a 17 mostra-se a variação de temperatura interna comparando-se os fechamentos, temperatura externa e alvenaria para a condição de inverno.

Figura 15 - Temperatura interna EPS X ATC



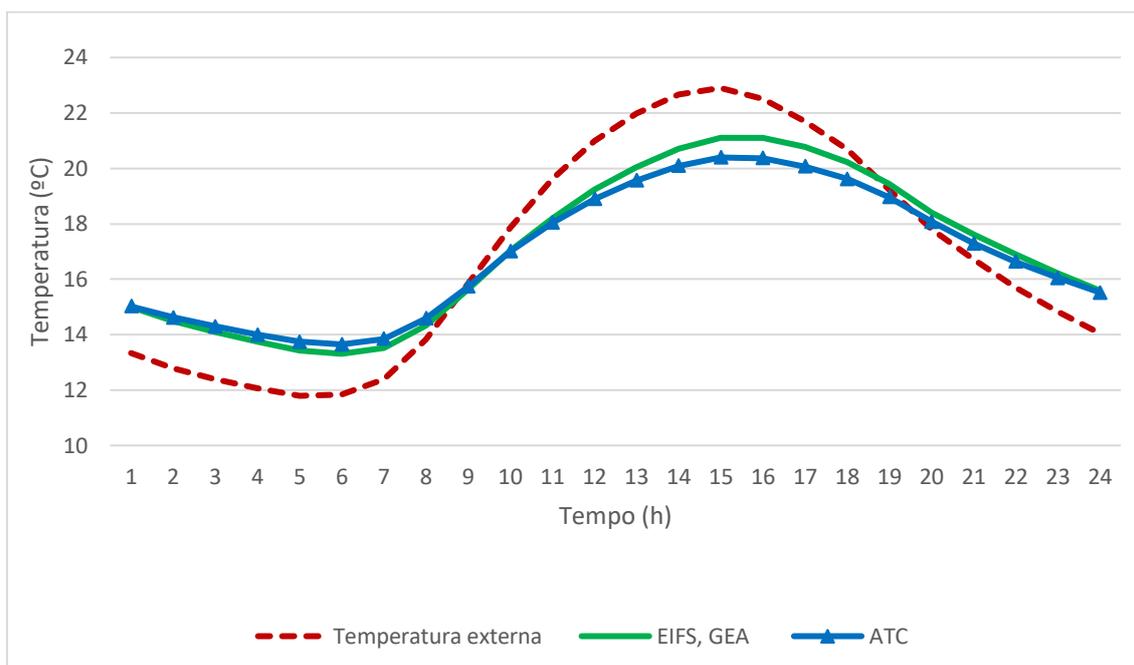
Fonte: Oliveira (2019).

Figura 16 - Temperatura interna OSB X ATC



Fonte: Oliveira (2019)

Figura 17 - Temperatura interna EIFS, GEA X ATC



Fonte: Oliveira (2019)

Para a condição de verão, caso mais crítico no país, as temperaturas máximas internas não ultrapassam a temperatura máxima externa que é de 32°C, mostrando que os sistemas de fechamento analisados promovem um desempenho térmico adequado, segundo o critério da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), que considera que a temperatura máxima interna seja menor ou igual à temperatura máxima externa, no verão, para haver conforto no interior da edificação.

Comparando as temperaturas mínimas proporcionadas pelos sistemas de fechamento, para a suíte, na condição de verão, há uma diferença máxima de 0,6°C, e, na condição de inverno, há uma diferença máxima de 0,8°C. Para o quarto e condição de verão, tem-se uma diferença máxima de 0,7°C, e, na condição de inverno, há uma diferença máxima de 1,1°C. Para o quarto e condição de verão, tem-se uma diferença máxima de 1,0°C.

Comparando as temperaturas máximas proporcionadas pelos sistemas de fechamento, para a suíte, na condição de verão, há uma diferença máxima de 1,0°C, e, na condição de inverno, há uma diferença máxima de 1,3°C. Para o quarto e condição de verão, tem-se uma diferença máxima de 1,1°C, e, na condição de inverno, há uma

diferença máxima de 1,1°C. Para o quarto e condição de verão, tem-se uma diferença máxima de 1,2°C.

Para melhor visualização de resultados, estão mostradas na Tabela 3 as temperaturas internas mínimas e máximas proporcionadas pelos sistemas de fechamentos analisados, para os dias típicos de verão e inverno.

Tabela 3 - Temperaturas internas mínimas e máximas dos sistemas de fechamentos (°C)

Sistemas de fechamentos	Suíte/verã		Quarto/verã		Suíte/invern		Quarto/invern	
	T _{min}	T _{max}						
ATC	6,8	2,3	6,8	1,2	3,2	0,8	13,6	20,4
PLC, GEA	6,4	2,7	6,4	1,4	2,8	1,4	13,3	20,9
CCA	6,2	2,8	6,2	1,8	2,6	1,7	13,0	21,3
EPS	6,2	2,7	6,1	1,8	2,6	2,1	12,9	21,8
OSB	6,8	2,4	6,5	1,1	3,2	1,2	13,9	20,9
PMC, GEA	6,4	3,1	6,5	2,2	2,6	1,5	13,0	21,0
VDO, ATC	6,5	2,1	6,5	1,2	2,9	1,2	13,3	20,7
EIFS, OSB	6,3	2,7	6,3	1,7	3,0	1,4	13,8	21,0
PLC	6,4	2,8	6,4	1,3	12,8	1,4	13,3	20,9
EIFS, GEA	6,6	2,5	6,5	1,2	2,9	1,6	13,3	21,1
OSB, GEA	6,5	2,3	6,4	1,2	2,9	1,3	13,5	20,9
VDO, GEA	6,3	2,6	6,3	1,7	2,4	1,9	12,8	21,5

Fonte: Oliveira, 2019.

Os sistemas de fechamento mostram desempenho térmico semelhantes entre si, observando-se que, na condição de verão, a temperatura máxima é proporcionada pelo PMC, GEA, e a temperatura mínima é proporcionada pelos CCA e EPS, nos dois ambientes analisados. Para a condição de inverno, a temperatura máxima é proporcionada pelo EPS, e a temperatura mínima é proporcionada pelo VDO, GEA, nos dois ambientes analisados.

Para a condição de verão, que é o caso mais crítico no país, as temperaturas máximas não ultrapassam a máxima externa que é de 33°C, mostrando que os sistemas de fechamento analisados promovem um desempenho térmico adequado seguindo o critério da norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

Comparando as temperaturas mínimas proporcionadas pelos sistemas de fechamento, para a suíte, na condição de verão, há uma diferença máxima de 0,6°C, e,

na condição de inverno, há uma diferença máxima de 0,8°C. Para o quarto e condição de verão, tem-se uma diferença máxima de 0,7 °C, e, na condição de inverno, há uma diferença máxima de 1,1°C. Para o quarto e condição de verão, tem-se uma diferença máxima de 1,0°C.

Comparando as temperaturas máximas proporcionadas pelos sistemas de fechamento, para a suíte, na condição de verão, há uma diferença máxima de 1,0°C, e, na condição de inverno, há uma diferença máxima de 1,3°C. Para o quarto e condição de verão, tem-se uma diferença máxima de 1,1 °C, e, na condição de inverno, há uma diferença máxima de 1,1°C. Para o quarto e condição de verão, tem-se uma diferença máxima de 1,2°C.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos objetivos deste estudo é comparar o desempenho térmico dos vários sistemas de fechamento com a da alvenaria, pois não é razoável utilizá-la em uma edificação estruturada em aço, visto que um dos pontos positivos desse tipo de sistema é a velocidade construtiva, e o uso alvenaria em geral reduz essa velocidade de execução. Alguns sistemas de fechamento verticais demonstram um desempenho térmico muito próximo ao da alvenaria de tijolo cerâmico, tais como EPS, EIFS, OSB, podendo, portanto, serem mais indicados em edifícios na região.

Destaca-se, no entanto, que, para um ambiente ser considerado confortável, devem-se considerar outros fatores tais como acústica da edificação, boa iluminação e umidade do local. O ideal é que a escolha final dos sistemas de fechamento considere todos esses fatores, simultaneamente. E a escolha de qualquer um desses sistemas depende, além do desempenho térmico e acústico dos sistemas de fechamento, do custo do material e montagem, facilidade construtiva, estética, entre outros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFOP e a Capes.

REFERÊNCIAS

AKUTSU, M. Método para a avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil. Tese (Doutorado em Arquitetura). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15575: Edifícios habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- BALARAS, C. A. The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods, Energy and Buildings v. 24, p.1-10, 1996.
- CUNHA, E. G. (org). Elementos de Arquitetura e de Climatização Natural: método projetual buscando eficiência nas edificações. Porto Alegre: Masquatro, 2006.
- EMMANUEL, R. Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR). Building and Environment. N°40 p.1591–1601, Sri Lanka. 2004. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/buildingenv>>. Acesso em abril de 2018.
- FARIA, M. A. Avaliação das Condições de Conforto Térmico nas Salas de Aula do Campus Morro do Cruzeiro da UFOP. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2013.
- FROTA, A. B. Geometria da insolação. São Paulo: Geros, 2004.
- GOMES, A. P. Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em light steel framing. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2007.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. Normais Climatológicas. Brasília - DF, 2019.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; MOREIRA, D. C.; PETRECHE, J. R. D.; FABRÍCIO, M. Reflexão sobre Metodologias de Projeto Arquitetônico. Ambiente Construído, Porto Alegre, v, 6, n. 2, p. 07-19, Abr/Jun. 2006.
- MASCARÓ, L; MASCARÓ, J. J. Ambiência urbana. 3ªedição, Porto Alegre: Masquatro Editora, 2009.
- METALICA. Placas cimentícias. Disponível em: https://metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=436. Acesso em: 23 de junho de 2018.
- MONTE, R. G. Uma Análise comparativa dos aspectos dimensionais de códigos de obras e edificações sob o enfoque da ergonomia. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Pernambuco. Recife: 2006.
- OLIVEIRA, G. G. Avaliação do Desempenho Térmico de Sistemas de Fechamento Interno e Externo em uma Edificação Estruturada em Aço. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2019.
- RIBAS, R. A. J. Método para Avaliação do Desempenho Térmico e Acústico de Edificações Aplicado em Painéis de Fechamento Industrializados. Tese (Doutorado em

Ciências da Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto 2013.

SALES, U. C.; NEVES, F. A.; SOUZA, H. A. Avaliação comparativa do desempenho acústico de painéis de vedação pré-fabricados. In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 4, e Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 3, 2001, São Pedro-SP. Anais eletrônicos: Encac 2001, v.1, p. 1-7, 2001.

SILVA, N. L. Análise dos Parâmetros de Conforto Térmico em Habitações Populares de um Conjunto em João Pessoa/PB. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa: 2015.

CAPÍTULO XI

ESTUDO DE TESTE DA RESISTÊNCIA DO PAVIMENTO ASFÁLTICO EMPREGANDO LIGANTE TIPO ASFALTO-BORRACHA PELO PROCESSO ÚMIDO

DOI: 10.51859/ampla.rsd191.1120-11

Jéssica Wanderley Souza do Nascimento¹
Allefy Teles Sampaio²

¹ Mestranda em Biotecnologia. Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia – UFAM

² Graduando em Engenharia Civil. Universidade de Fortaleza – UNIFOR

RESUMO

A vantagem ecológica de promover um destino conveniente para pneus descartados e o aprimoramento técnico que o ligante de asfalto acrescenta, com sua modificação proporcionada pela extração da borracha, são os principais motivadores para seu uso. Sabe-se que uma fusão de asfalto não deve ter uma fração inadequada de aglutinante, pois a falta ou excesso é geralmente a causa dos defeitos que aparecem na superfície do pavimento. Com base nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo contribuir para uma melhor compreensão do uso de resíduos da borracha de pneu como insumo de pavimento na engenharia civil, ajudando a melhorar o desempenho dos revestimentos de asfalto, além de proporcionar um destino ambientalmente apropriado para os pneus em desuso. No laboratório, foram produzidos testes de granulometria e Marshall, que compararam amostras de CAP modificado com borracha e CAP convencional nas porcentagens de 4; 4,5 e 5% e, em seguida, foram analisados os resultados concluindo que a incorporação da borracha traz resultados positivos, como maior flexibilidade e durabilidade.

Palavras-chave: Vantagem ecológica. Aprimoramento técnico. Pneus em desuso.

1. INTRODUÇÃO

Com a predominância do modal de transporte rodoviário no Brasil, aliado a uma manutenção, na maioria das vezes, insuficiente, os pavimentos estão em um estado de condição funcional abaixo do ideal para o tráfego. O Concreto Asfáltico (CA) é uma mistura executada a quente obtida em torres de destilação à vácuo e atmosférica, impermeável à água, viscoso, elástico e pouco reativo. Se adicionarmos borracha moída de pneus, teremos Asfalto Modificado com Borracha (AMB). O CA é constituído por agregado graduado, material de enchimento, fíler, e, se necessário, melhorador de adesividade. Se adicionarmos Borracha Moída de Pneus, teremos CAUQ, com adição de borracha. O concreto asfáltico com adição de borracha de pneus, também conhecido

como asfalto ecológico, pode ser produzido por Via Úmida ou Via Seca (SENÇO, 2007 p. 18).

O pneu não se decompõe naturalmente, quando são abandonados de forma inadequada servem de local para a procriação de mosquitos e outros vetores de doenças e, representam um risco constante de incêndio que pode proporcionar a contaminação do solo, do lençol freático e do ar com um tipo de fumaça altamente tóxica. Além disso, a disposição em aterros sanitários de forma inapropriada dificulta a sua compactação, o que reduz substancialmente a vida útil desses aterros. E a extração de tal agregado provoca um grande impacto ambiental, além de acarretar uma diminuição da resistência ao cisalhamento interno da mistura asfáltica pela sua forma arredondada (BALBO, 2008 p. 87).

Considerando-se a importância das soluções sustentáveis para a construção civil com a escolha de materiais mais corretos, este trabalho objetiva apontar as particularidades dos ligantes asfálticos alcançados por meio de experimento no Estado do Amazonas que integram a possibilidade do uso de modificadores como soluções alternativas para melhoria do seu desempenho, pela qual são inseridas à mistura do revestimento propícios de não gerar patologias que acabam promovendo uma ação de baixo desempenho do pavimento, onde o mesmo deve sempre propiciar conforto, segurança e economia para os usuários.

2. FUNDAMENTOS DA PAVIMENTAÇÃO

O pavimento de um trecho em circulação está diretamente relacionado com o progresso operacional do tráfego. Entre os principais objetivos ao se revestir um trecho, está o de criar um pavimento mais equilibrado ocasionando maior benefício na comodidade do trajeto de veículo, tornar o pavimento mais aderente para garantir proteção em circunstâncias de via úmida, e fazer com que a superfície fique de preferência com menor ruído perante o efeito dos pneumáticos para garantir maior benefício ambiental (BALBO, 2008 p. 15).

A Confederação Nacional do Transporte (2014, p. 34), salienta deficiências no modelo de pavimentação brasileiro é um dos problemas encontrados no Brasil, relacionado à estrutura dos pavimentos flexíveis, é o não atendimento às exigências técnicas, tanto na capacidade de suporte das camadas do pavimento, como da

qualidade dos materiais empregados no revestimento. Falhas construtivas têm como consequência um procedimento de deformação mais acelerado.

A melhor condição do rolamento de um trecho em movimento traz aos usuários uma expressiva diminuição nos gastos operacionais, isto porque o estado da superfície dos pavimentos está associado aos gastos tanto de operação como preservação dos veículos. Além, disso a regularidade permite o desenvolvimento de maiores velocidades gerando economia de combustível e economia nos tempos de viagem (BALBO, 2008 p. 18).

Segundo Balbo (2008, p. 35), a infraestrutura do trecho é concebida, em seu sentido puramente estrutural, para receber e transmitir esforços de maneira a aliviar pressões sobre as camadas inferiores, que geralmente são menos resistentes, embora isso não seja tomado como regra geral.

3. LIGANTES ASFÁLTICOS

Os ligantes asfálticos podem ser encontrados em estado natural ou obtidos por meio da refinação, são naturais quando o petróleo surge a superfície da terra, sofrendo ação do vento, que retiram os gases e óleos leves, em uma espécie de destilação natural, deixando o material asfáltico como resíduo. As obras de manutenção do pavimento são obras em que o pavimento do local apresenta pequenos problemas na sua superfície de rolagem que esteja de alguma maneira infringindo a regra de que o pavimento precisa gerar um conforto para a sociedade. No Brasil, cerca de 95% das estradas pavimentadas são de revestimento asfáltico, além de ser, também, utilizado em grande parte das vias urbanas (BERNUCCI, 2008 p. 22).

Segundo Ferreira (2011, p. 63), há várias razões para o uso intensivo do asfalto em pavimentação, sendo as principais:

- Proporcionar forte união dos agregados, agindo como um ligante que permite flexibilidade controlável;
- É impermeabilizante, durável e resistente à ação da maioria dos ácidos, dos álcalis e dos sais, podendo ser utilizado aquecido ou emulsionado, em amplas combinações de esqueleto mineral, com ou sem aditivos.

De acordo com Bernucci (2008, p. 33), outras definições e conceitos de largo emprego em concreto asfáltico são difundidas. As seguintes definições e conceituações mais empregadas com referência ao material são:

- Betume: comumente é definido como uma mistura de hidrocarbonetos solúvel no bissulfeto de carbono;
- Asfalto: mistura de hidrocarbonetos derivados do petróleo de forma natural ou por destilação, cujo principal componente é o betume, podendo, ainda, conter outros materiais como oxigênio, nitrogênio e enxofre em pequena proporção;
- Alcatrão: designação genérica de um produto que contém hidrocarbonetos, o qual é obtido por meio da queima ou destilação destrutiva do carvão, madeira.

Como se pode observar nessas definições, o asfalto e alcatrão são materiais betuminosos, porque contêm betume, mas não podem ser confundidos porque suas propriedades são bastante diferentes (FERREIRA, 2011 p. 12).

4. ASFALTO-BORRACHA

Para Wickboldt (2005, p. 27), a inserção da borracha de pneus em desuso nos revestimentos asfálticos tanto de pavimentos rodoviários como urbanos ocorre há décadas no exterior. Pesquisas e utilizações de extensas técnicas empregando asfalto-borracha são cenários desarmônico em poucos estados da América do Norte.

Baseado na nova proposta mundial de sustentabilidade através da reutilização e reaproveitamento de materiais descartados descobriu-se, através de diversas pesquisas e experimentos, as qualidades da utilização de agregados da borracha em ligantes asfálticos.

Oda (2000, p. 87), descreve que a utilização do ligante asfalto-borracha tem sido feita em diversos serviços de pavimentação, como selagem de trincas, tratamentos superficiais, camadas intermediárias entre pavimento existente e a camada de reforço e em concreto asfáltico usinado à quente. Apesar da ocorrência de defeitos na superfície de rolamento, de uma maneira geral os resultados são positivos. A borracha sintética é feita em laboratório por meio de compostos químicos idênticos ao da borracha natural.

O pneu apresenta é formado por diversas camadas de materiais, tais como: borracha, aço, tecidos de nylon ou poliéster, para garantir características necessárias que proporcionem bom desempenho e segurança aos usuários.

Historicamente o asfalto-borracha iniciou na década de 40, no momento em que a Companhia de Reciclagem de Borracha, U.S. Ruber Reclaiming Company, inseriu no comércio uma mercadoria constituído de material asfáltico e borracha desvulcanizada reciclada denominada *RamflexTM* (WICKBOLDT, 2005 p. 17).

Charles H. MacDonald, considerado o pai do Asfalto-borracha nos Estados Unidos, em 1963 desenvolveu um material altamente elástico para ser utilizado na manutenção de pavimentos asfálticos. O produto era composto de ligante asfáltico e 25% de borracha moída de pneu (de 0,6 a 1,2 mm), misturados à 190 °C durante 20 minutos, para ser utilizado em remendos conhecidos como “band-aid” (WICKBOLDT, 2005 p. 20).

Charles H. MacDonald atravessava os Estados Unidos em um trailer para inspecionar rodovias quando utilizou uma mistura de pó de pneu com asfalto para selar trincas no teto do seu veículo. Ele observou que, com o passar do tempo, a mistura emborrachada não oxidava, ao contrário daquelas com asfalto convencional. O engenheiro, então, experimentou a mistura de pó de pneu e asfalto quente para os usuais serviços de tapa-buracos. Em 1963, começaram a ser publicados os primeiros artigos científicos apontando para os benefícios do novo material que surgia (SPECHT, 2004 p. 20).

Segundo a *Rubber Pavement Associaton-RPA* (2001, p. 1), a utilização de misturas com asfalto emborrachado tem demonstrado que estas apresentam uma performance muito superior às das misturas convencionais. Deste modo, as especificações da Califórnia chegam a permitir uma diminuição de 50% na espessura das camadas betuminosas quando este produto é utilizado.

Na Flórida, desde a implantação, em 1994, até 1999, mais de 2,7 milhões de toneladas de misturas asfálticas alteradas com borracha foram empregados na execução de pavimentos (CHOUBANE, 2009 p. 15).

No Estado do Arizona, em torno de 90% dos serviços de pavimentação é feita com asfalto-borracha. Na Califórnia, o asfalto-borracha é aplicado em capas selantes, em membranas absorvedoras de tensão e como selante de trincas e juntas. Devido à

importância ambiental em se encontrar alternativas para o consumo dos pneus usados, em 1991 o ISTEA (*Intermodal Surface Transportation Efficiency Act - EUA*) determinou a utilização de borracha de pneus em pavimentos asfálticos (SHATNAWI, 2000 p. 55).

A partir do ano de 1999 iniciou-se as pesquisas e conteúdos voltados para o asfalto modificado por borracha (AMB) no Brasil. Os primeiros ensaios continham como o intuito a utilização da borracha como meio de aperfeiçoar e desenvolver as características do asfalto convencional. Em 2001, após estudos, ocorreu o primeiro uso do AMB no Brasil. O estudo inicial da sua aplicação aconteceu em 17 de agosto, no quilômetro 319 da BR 116, rodovia sob concessão da Univias. O trecho selecionado localiza-se entre Guaíba e Camaquã, no Rio Grande do Sul (INFORMATIVO QUADRIMENSTRAL GRECA ASFALTOS, 2011 p. 7).

Conforme Di Giulio (2007, p. 21), no Brasil, a aplicação da borracha em pavimento asfáltico foi sancionada em 1999, por Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama nº 258, de agosto de 1999). Contudo, a Resolução é mais forte no que se refere à instituição da responsabilidade, ao produtor e importador, pelo ciclo total dos pneus, proibindo a sua destinação inadequada e obrigando os fabricantes e importadores a coletarem e darem destino final de forma ambientalmente correta aos produtos que colocam no mercado. Este papel é cumprido, basicamente, pela Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos (ANIP) que, desde 2000, tomou para si a responsabilidade pela coleta dos pneus inservíveis (sem condições de rodagem ou de reforma) e criou os chamados eco pontos, são 220 postos para coletas de pneus espalhados em várias cidades por todo o país.

Formada pela dezena das maiores empresas fabricantes de pneus novos instaladas no Brasil, a ANIP, além de recolher e destinar os pneus à reciclagem, também acompanha com interesse as pesquisas e projetos voltados à utilização de borracha em pavimentos asfálticos (DI GIULIO, 2007 p. 23).

Hoje, os custos de investimento para esse tipo de asfalto ainda são altos. Mas considerando a técnica promissora, já que deve proporcionar maior durabilidade, menor ruído e menor manutenção (WICKBOLDT, 2005 p. 33).

4.1. Matéria-prima

As misturas asfálticas com borracha são, normalmente, produzidas com restos ou resíduos de borracha e são obtidas por meio de várias técnicas, incluindo o processo seco e úmido. Essas misturas podem conter aditivos ou modificadores como diluentes e óleos, entre outros. No dia 24/12/2008 a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, regulamentou a utilização dos cimentos asfálticos de petróleo modificados por borracha moídas de pneu, Asfaltos Borracha.

O desmonte dos pneus, segundo Specht (2004, p. 51), pode ser feito de várias maneiras, incluindo o cisalhamento (corte em pequenos fragmentos) mecânico da borracha à temperatura ambiente, o congelamento do material e posterior cisalhamento e o processo de extrusão com o uso de aditivos. Outra maneira de se obter borracha granulada é o reaproveitamento da raspa proveniente da preparação dos pneumáticos para recauchutagem.

A modificação dos ligantes asfálticos utilizados em pavimentação, com adição de borracha de pneus é considerada uma alternativa atraente para o melhoramento das propriedades dos materiais betuminosos, já que o resultado final é um revestimento com características técnicas superiores às verificadas em misturas asfálticas convencionais (NEVES FILHO, 2004 p. 36).

Ainda de acordo com o pesquisador, além dos processos seco e úmido, existe um terceiro, denominado processo misto, no qual a mistura é feita de forma semelhante ao da via seca, porém com o uso do ligante modificado com borracha. A melhor interação entre os ligantes modificados e os grânulos de borracha leva a concretos asfálticos de boa qualidade e com um grande consumo de borracha, o que torna o processo misto bastante atrativo do ponto de vista ambiental.

Segundo Wickboldt (2005, p. 45), a borracha constituinte do pneu possui excelentes propriedades físico-químicas para ser incorporada ao ligante convencional, trazendo uma série de melhorias que se refletem diretamente na durabilidade do pavimento, a saber: a incorporação de agentes antioxidantes e inibidores da ação de raios ultravioletas que diminuem, sensivelmente o envelhecimento do Cimento Asfáltico de Petróleo, o aumento da resistência à ação química de óleos e combustíveis, a diminuição da suscetibilidade térmica, o aumento da deformação da tração admissível

(melhorando o comportamento à fadiga), aumento da deformação elástica instantânea e a diminuição da deformação permanente (ângulo de defasagem). O problema de compatibilidade entre o tipo de polímero modificador, inclusive a borracha moída de pneu e o ligante tradicional, deve ser mencionado.

4.2. Tipo de impregnação

De acordo com Wickboldt (2005, p. 12), as formas mais comuns para adição de borracha de pneus às misturas asfálticas se dão através das seguintes maneiras:

- Via seca: a borracha é introduzida diretamente no misturador da usina de asfalto. Neste caso a borracha entra como um agregado na mistura. A transferência de propriedades importantes da borracha ao ligante é prejudicada, embora seja possível agregar melhorias à mistura asfáltica, desde que na sua fabricação seja possível obter uma mistura homogênea. No processo seco, os grânulos da borracha representam de 0,5 a 3,0% da massa do agregado.
- Via úmida: a borracha é previamente misturada ao ligante, modificando-o permanentemente. Nesta modalidade ocorre a transferência mais efetiva das características de elasticidade e resistência ao envelhecimento para o ligante asfáltico original. No processo úmido o pó de pneu representa aproximadamente 15% da massa do ligante ou menos que 1,5% da massa da mistura.

Segundo Wickboldt (2005, p. 50), normalmente em nosso país, o ligante tradicional precisa ser compatibilizado para receber a borracha moída de pneu. A característica ou estabilidade de um ligante modificado requer que, o asfalto base utilizado como matéria-prima possua uma relação asfaltenos/aromáticos dentro de uma determinada faixa. O espalhamento será realizado pelo equipamento adequado de modo a assegurar uma boa junção entre duas aplicações. Se o ligante base não possuir esta compatibilidade com a borracha moída de pneu, ele deve ser preparado por meio de adição de insumos especiais, para somente depois receber a borracha moída de pneu.

4.3. Parâmetros de desempenho

Specht (2004, p. 37), cita fatores que influenciam no desempenho de cada camada asfáltica:

- Características dos materiais utilizados;
- Dosagem;
- Condições de compactação;
- Processo construtivo;
- Plano de manutenção e restauração.

Segundo Rodrigues (2005, p. 32), o ligante modificado por borracha granulada de pneus ou simplesmente asfalto-borracha, apresenta as seguintes características:

- Redução da suscetibilidade térmica: misturas com ligantes AB são mais resistentes às variações de temperatura, ou seja, o seu desempenho tanto a altas como a baixas temperaturas é melhor quando comparado com pavimentos construídos com ligante convencional;
- Aumento de flexibilidade, devido a maior concentração de elastômeros na borracha de pneus;
- Melhor adesividade aos agregados;
- Aumento da vida útil do pavimento;
- Maior resistência ao envelhecimento: a presença de antioxidantes e carbono na borracha de pneus auxiliam na redução do envelhecimento por oxidação;
- Maior resistência à propagação de trincas e a formação de trilhas de roda;
- Permite a redução de espessura do pavimento;
- Proporciona melhor aderência pneu-pavimento;
- Redução do ruído provocado pelo tráfego entre 65 e 85%.

O processo úmido é o que dá origem ao ligante denominado asfalto borracha, definido pela Norma Americana American Society for Testing and Materials - ASTM D 6114-97 como uma mistura de cimento asfáltico, borracha de pneu reciclada e certos aditivos, dos quais o percentual de borracha deve ser pelo menos 15% em peso do total

da mistura e sofrer reação com ligante asfáltico aquecido da forma a causar um inchamento das partículas de borracha.

Segundo Oda (2000, p. 45), quando comparado com ligante convencional, pode verificar-se que a quantidade de AB necessária para uma determinada mistura é maior, o que justifica o problema de exsudação, mas ao mesmo tempo proporciona uma maior durabilidade à mistura asfáltica. Sem dúvida esta é uma excelente alternativa para a redução do grave problema ambiental, mas ainda existem obstáculos ao emprego dessa tecnologia, principalmente de origem econômica, pois a trituração de pneus representa um custo relativamente alto.

4.4. Propriedades da mistura

Epps (2004, p. 161), revisou o estado-da-prática da utilização de resíduos de pneus na engenharia rodoviária e da aplicação do pó (Figura 6) em misturas asfálticas traçando as seguintes considerações a respeito das propriedades da mistura:

- Estabilidade e fluência: com relação ao projeto da mistura seguindo a metodologia Marshall, os valores de estabilidade podem ser reduzidos e de fluência aumentados;
- Módulo de resiliência e resistência à tração: os valores de módulo de resiliência e a resistência à tração podem aumentar ou diminuir, dependendo das condições particulares da mistura (granulometria dos agregados, % borracha, entre outros);
- Deformação permanente: não há consenso a respeito do efeito da borracha na deformação permanente, há experiência positivas;
- Fadiga: a vida de fadiga é melhorada quando o farelo de borracha é adicionado às misturas asfálticas;
- Trincamento térmico: há um aumento na resistência ao trincamento térmico. As características da mistura têm papel importante neste aspecto do comportamento em serviço;
- Abrasão superficial: no estado da Califórnia é reportado melhoramento nas características de resistência à abrasão superficial;
- Susceptibilidade à água: a susceptibilidade à água pode ser um problema quando a borracha é adicionada à mistura;

- Atrito: em geral a presença de borracha reduz o atrito. Um exemplo de ilustração pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 – Vantagem do uso do asfalto-borracha com aproveitamento de pneus usados



Fonte: GRECA ASFALTOS (2011).

Nela, o asfalto-borracha é utilizado com uma faixa de agregados diferenciados (técnica baseada em normas vigentes no estado da Califórnia), que tornam o pavimento mais rugoso. A rugosidade melhora a estabilidade da pista em situações de velocidade e também impede a hidroplanagem causada por excesso de água na pista. A borracha constituinte dos de pneus é uma mistura de borracha natural com borracha sintética e, ocasionalmente, com borracha reciclada juntamente com vários aditivos químicos.

Para ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, embora o valor seja mais elevado que o convencional, a tecnologia para se conseguir o asfalto-borracha, é de 20 a 25% do valor de produto, quando se trata da sua manutenção esse valor é bem mais em conta, por conta da sua durabilidade e resistência.

Para Specht (2004, p. 24), a adição de 12 a 18% de borracha no ligante, leva a produção de misturas com maior resistência a fratura, as deformações permanentes e maior durabilidade.

4.5. Reaproveitamento de pneus inseríveis para pavimentação asfáltica

Quando se trata de pneus em desuso, além de evitar a degradação ambiental do mesmo como fonte de poluição, sua reciclagem é a forma ambientalmente exata de se aplicar ao extremo um recurso natural (derivado de petróleo), vale ressaltar que a extração da borracha quando empregada ao asfalto convencional ocasiona em um insumo com propriedades táticas elevadas.

A sua aplicação como matéria-prima de insumos que de outra forma, seriam classificados somente como rejeitos, caracteriza o necessário estímulo às experiências de inclusão dos resíduos de borracha oriundo de pneus.

ODA (2000, p. 32), retrata por meio de um fluxograma o reaproveitamento de pneus em desuso, seus resultados perante o meio ambiente e prováveis formas de reutilização.

O asfalto-borracha é desenvolvido com a exploração da mistura asfáltica usando resíduos sólidos, derivados do descarte de pneus, para aperfeiçoar propriedades como resistência, permeabilidade e aderência das pistas de rolamento.

Os asfaltos são matérias-primas aglutinantes de cor escura, oriundos do petróleo, que são capazes de ser empregados em várias funções, como por exemplo, em impermeabilizações de construções civis e, principalmente, em obras de pavimentação.

O impacto principal do asfalto-borracha é o de ampliar a resistência à deformação e ao aparecimento de trincas por fadiga do pavimento (ODA, 2001 p. 14).

4.6. Vantagens do asfalto-borracha em obras de pavimentação

A tecnologia da reciclagem de extração da borracha por meio de pavimentação asfáltica é muito favorável, pois os procedimentos que consomem borracha no pavimento asfáltico estão em pleno crescimento e evolução, visto que de acordo com estudos da Greca Asfaltos, cerca 1.000 a 1.200 pneus são utilizados para a produção de um quilômetro de asfalto-borracha.

Segundo Greca (2003, p. 65), o ligante alterado por borracha granulada de pneus ou meramente asfalto-borracha, aponta determinados benefícios fundamentais com a sua aplicação, como:

- Diminuição da suscetibilidade térmica quando verificado com pavimentos produzidos com ligante convencional;
- Crescimento da flexibilidade por causa do total acúmulo de elastômeros na borracha de pneus e o bom desempenho da adesividade do ligante aos agregados;
- Resistência elevada quando se trata do envelhecimento em razão à existência de antioxidantes e carbono na borracha de pneus que contribuem na diminuição do envelhecimento por oxidação;
- Melhoramento no ponto de amolecimento, visto que o ligante asfalto-borracha contém um ponto de amolecimento superior ao ligante convencional, ocasionando aumento na resistência da construção de trilhas de roda.

Verificando o site da Greca, empresa pioneira na utilização do asfalto-borracha, o ECOFLEX tem apontado efeito contínuo no recolhimento de pneus em desuso do meio ambiente. São mais de 10 anos de êxito desde a aplicação inicial, efetuada em 2001.

A concessionária CCR Rodo Norte desde 2002, faz uso do asfalto ecológico elaborado através de pneus em desuso. No entanto, a reutilização desse tipo de material onde anteriormente era classificado como passivo ambiental, o revestimento executado com a extração da borracha tem melhor durabilidade e maior segurança nas viagens, visto que ocasiona a redução de ruído produzido pelo atrito do pneu com o asfalto, causando diminuição na dispersão de água da chuva. Esses benefícios anulam o gasto em até 50% maior em relação ao pavimento convencional. Levando em conta que em cada tonelada de asfalto, são empregados 150 quilos de borracha extraídas dos pneus em desuso, um reaproveitamento de cerca de mil pneus a cada quilômetro de rodovia repavimentada.

De acordo com a Greca, em sua fabricação, o ECOFLEX aplica extração da borracha moída de pneus inservíveis, atendendo a uma pista com pouco mais de 7m de largura, obtemos um custo de 1.000 pneus para cada quilômetro. Um exemplo de ilustração pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2 – Total de pneus usados de 2001 a 2013



Fonte: GRECA ASFALTOS (2013).

Exclusivamente em 2012 passaram a ser corroidos mais de 1.000.000 toneladas em pneus. Onde além da sustentabilidade, o ECOFLEX assegura durabilidade e segurança ao pavimento. Para ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, por mais cara, a tecnologia para se obter o asfalto-borracha, de 20 a 25% do valor de produto, o gasto em manutenção é reduzido, tanto por conta da sua durabilidade quanto resistência. As matérias-primas aplicadas nas misturas para a produção do asfalto-borracha são: borracha de pneus em desuso moídos e cimento asfáltico de petróleo, onde a borracha empregada ao ligante é oriunda principalmente de pneus dos automóveis. (ODA, 2001 p. 36).

Segundo Kraemer (2004, p. 22), a ideia de meio ambiente para as organizações é simplesmente o suporte físico que fornece a empresa os recursos necessários para desenvolver sua atividade produtiva e o receptor de resíduos que se geram. A política nacional do meio ambiente, Lei 6.938, de 31.08.81 – art. 3º, I, expressa: “meio ambiente, o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais que foram utilizados nas misturas são: Cimento asfáltico de petróleo (CAP), Pó de borracha de pneus, Concreto asfáltico (CA), Brita e etc (ANP, 2005). Para a preparação do ligante é utilizado equipamentos como: peneiras, panela, balança, fogareiro, termômetro, repartidor e aparelhagem.

O estudo baseia-se em ensaios laboratoriais normatizados com agregados e misturas asfálticas realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Paulista – UNIP, localizado na Avenida Mário Ipiranga Nº 4390 – Parque 10 de novembro, Manaus-AM.

Para a execução do ensaio foram necessárias algumas etapas, como: Coleta e peneiramento da borracha; Determinação e granulometria dos agregados; Incorporação do pó de borracha ao CAP 50/70; Confecção dos corpos de prova e Dosagem de Marshall (ABNT, 2004b).

O primeiro procedimento do estudo, consistiu na utilização da borracha fornecida em lascas onde foi pesada e peneirada. Vale salientar, que foi aproveitado para a incorporação apenas a parte que ficou retida na peneira 10 e na peneira 40, pois quanto menos espessas mais facilmente se incorporam ao CAP. Após o peneiramento foi passado um ímã para retirar as limalhas de ferro que podem estar presentes na borracha, feito isso a borracha estava pronta para ser adicionada ao ligante.

Posteriormente, utilizou-se o peneiramento para a determinação da análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos. Inicialmente preparou-se as amostras através do uso de repartidores, até atingir as quantidades indicadas na tabela de massa mínima, por amostra de ensaio. Essas amostras são pesadas e denominadas de massa úmida, em seguida ficam na estufa a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Após esse tempo, as amostras são retiradas da estufa e esfriadas à temperatura ambiente e, novamente, pesadas, obtendo-se a massa seca. Para o ensaio utilizou-se as peneiras nº 3/4" (19,1 mm), nº 1/2" (12,5 mm), nº 3/8" (9,52 mm), nº 4 (4,76 mm), nº 10 (2,00 mm), nº 40 (0,42 mm), nº 80 (0,177 mm) e nº 200 (0,075 mm). As peneiras foram então encaixadas da maior abertura para a menor formando um único conjunto de peneiras, e agitadas manualmente. Foram anotadas as massas de material retido em cada peneira e

realizados os cálculos necessários, assim como a construção do gráfico da curva granulométrica.

A partir desses dados, foi feita a composição dos agregados de forma a se enquadrarem na faixa C do DNIT 031/2006, que é a utilizada atualmente para camada de rolamento, sendo está o objeto principal deste estudo.

Sendo satisfatórios os resultados tanto para o asfalto borracha quanto para o asfalto convencional, é definido então o traço a ser utilizado para a fabricação dos corpos de prova. O CAP utilizado foi o 50/70, o mesmo foi recolhido diretamente na usina de asfalto para serem realizados os ensaios. O CAP e o pó de borracha foram pesados em uma balança de precisão, em seguida o ligante foi aquecido até atingir a temperatura de 170 Cº, e então foi incluído o pó de borracha na porcentagem de 15% em relação ao ligante e misturado manualmente em torno de 30 minutos. Verificou-se grande dificuldade em manter a temperatura constante, houve variação entre 160 e 180ºC, o processo foi acompanhado por um termômetro de mercúrio, e ao final dos 30 minutos, observou uma mistura homogênea e viscosa. Um exemplo de ilustração pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3 – Ligante tipo asfalto-borracha sendo misturado ao agregado



Fonte: Autoria própria.

Foram necessários a confecção de dezoito corpos de prova no total, sendo nove para o asfalto convencional, e nove do asfalto borracha com a porcentagens de CAP de 4; 4,5 e 5%, para cada porcentagem foram feitos três corpos de prova, para se obter uma média dos resultados. Cada corpo de prova continha 1250g da mistura composta por

brita 0, brita 1, pó de pedra e CAP, que foram calculados, conforme a porcentagem, pesados em uma balança de precisão, e em seguida encaminhados para o fogão industrial, onde foram aquecidos a temperaturas de 160°C para o convencional e 180°C para o asfalto modificado com pó de borracha, os componentes foram misturados até atingirem uma mistura homogênea.

Após atingir a temperatura ideal e estar homogênea, a mistura é encaminhada para o molde de compactação, onde serão aplicados 75 golpes de cada lado. Após um período de no mínimo 12 horas é feita a desforma dos corpos de prova, e o primeiro procedimento a ser realizado é a pesagem ao ar, em seguida os corpos de prova são pesados submersos.

O próximo procedimento é deixar os corpos de prova em banho-maria por 30 minutos a 60° C, assim que foram retirados do banho-maria os corpos de prova foram imediatamente para a prensa Marshall, onde ocorreu o rompimento e foram anotadas a carga em kgf até o rompimento, obteve-se então a estabilidade lida.

O procedimento Marshall foi desenvolvido por Bruce Marshall (1930, p. 14), e tem como principal objetivo determinar o teor ótimo de asfalto. Para esse procedimento a compactação é realizada por impacto. Apesar de ter sido bastante utilizado, alguns pesquisadores consideram que esse método está um pouco ultrapassado, porém no Brasil é bastante utilizado por apresentar um menor custo do equipamento para execução. As diretrizes e o procedimento para obtenção de resultados do ensaio Marshall estão contidos na norma DNER-ME 043/95.

A deformação total do corpo de prova expressa em milímetros, define a fluência Marshall. As misturas asfálticas foram confeccionadas com os agregados e com os ligantes asfálticos CAP 50/70, conforme as instruções da dosagem Marshall. Nos ensaios foram definidas características volumétricas dos corpos de prova, estabilidade e fluência pelo ensaio Marshall e resistência à tração. Os resultados estão apresentados a seguir, onde após a leitura dos dados, obtiveram-se os resultados desejados para a comparação entre os dois tipos de asfaltos.

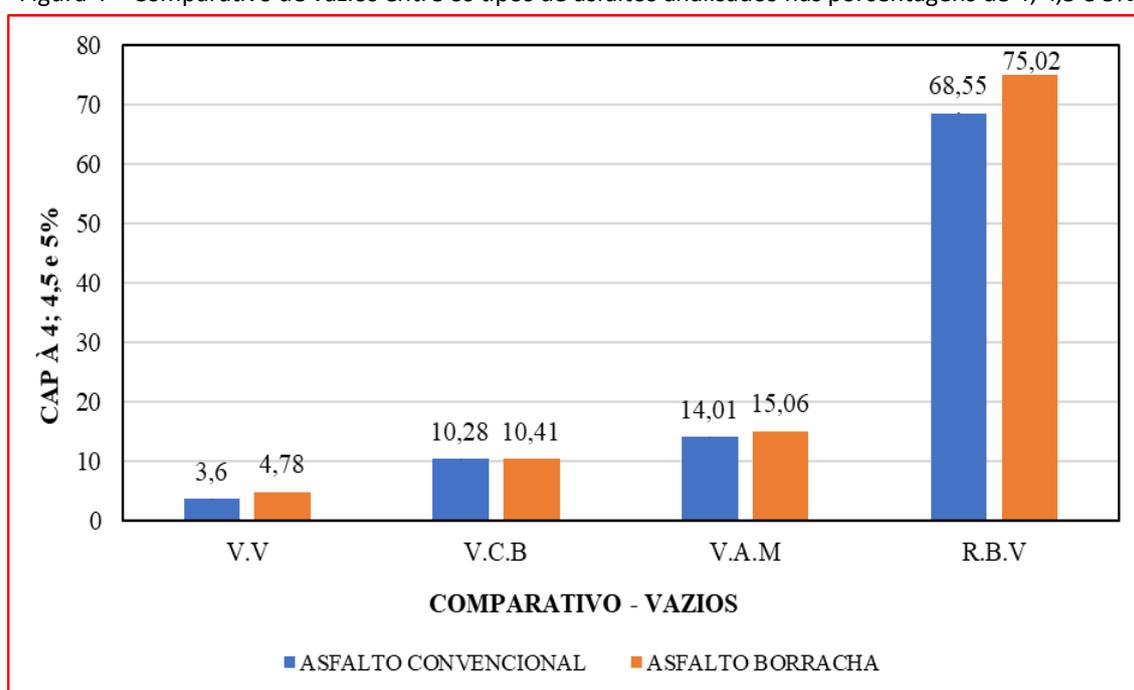
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comparativo de vazios entre o asfalto convencional e o asfalto borracha demonstra que o volume de vazios do asfalto borracha nos três casos é superior ao asfalto

convencional, isso ocorre pelo motivo da borracha utilizada expandir-se, formando uma mistura porosa, mas que não perde a resistência, trazendo benefícios para os carros que trafegam em dias de chuva. Um exemplo de ilustração pode ser visualizado na Figura 4.

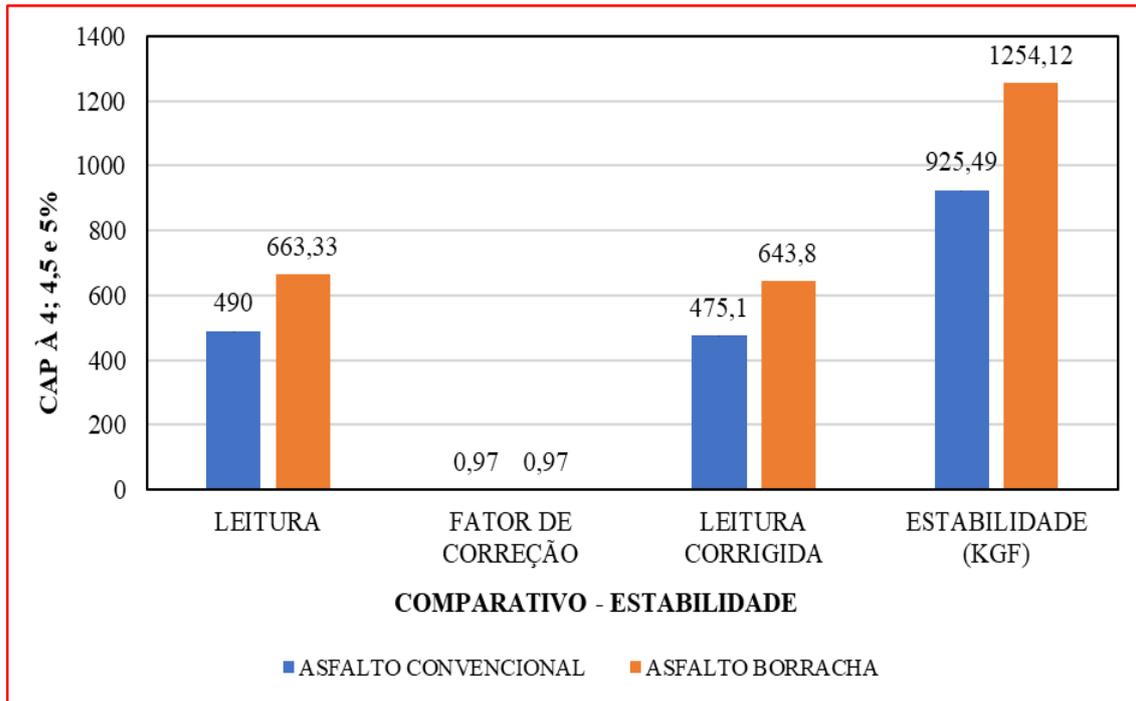
No quesito estabilidade, verificou-se no asfalto borracha uma resistência significativamente superior à do asfalto convencional, isso se deve ao fato da borracha possuir características elásticas. Essa característica é importante para aumentar a durabilidade dos pavimentos. Um exemplo de ilustração pode ser visualizado na Figura 5.

Figura 4 – Comparativo de vazios entre os tipos de asfaltos analisados nas porcentagens de 4; 4,5 e 5%



Fonte: Autoria própria.

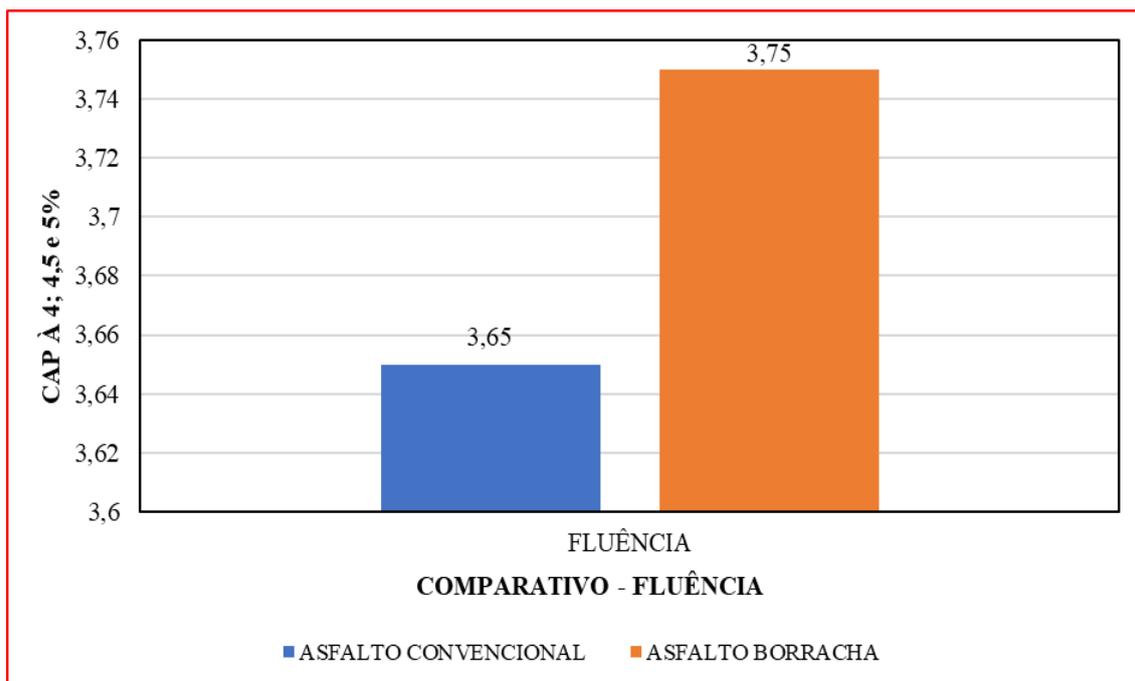
Figura 5 – Comparativo de estabilidade entre os asfaltos analisados nas porcentagens de 4; 4,5 e 5%



Fonte: Autoria própria.

A deformação do asfalto borracha foi maior até seu rompimento, resultado da característica elástica da borracha que gera uma recuperação elástica, fato esse que interfere na diminuição de trincas e trilhos de roda das rodovias. Um exemplo de ilustração pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 6 – Comparativo de fluência entre os asfaltos analisados nas porcentagens de 4; 4,5 e 5%



Fonte: Autoria própria.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluiu-se que os experimentos realizados têm fundamento, e são essenciais para acabar com vários problemas técnicos, econômicos e ambientais. Contextualizou-se além disso, que nos ensaios ficou comprovado uma resistência superior do asfalto borracha, logo que sua resistência à carga até o rompimento foi maior se comparada ao asfalto convencional, outro ponto positivo é seu maior índice de deformação, que contribui para que haja menos trilhas de roda e trincas no asfalto, aumentando a durabilidade e a qualidade das vias rodoviárias brasileiras, onde a cada ano recebe maior número de veículos. Analisados todos os aspectos, pode-se observar que a incorporação da borracha nos asfaltos é uma alternativa viável, que pode trazer muitos benefícios para governos e população em geral.

REFERÊNCIAS

- ANP – **Agência Nacional de Petróleo**, 2013. Disponível em: <<http://nxt.anp.gov.br>> Acesso em: 10 de setembro de 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11341**: Produtos de petróleo – determinação do ponto de fulgor e combustão. Rio de Janeiro, 2004.
- BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica; matérias, projetos e restauração**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2008 p. 15-87.
- BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS – ABEDA, 2006.
- _____. **Pavimentação asfáltica Petrobrás**. Rio de Janeiro, 2007.
- _____. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS – ABEDA, 2008 p. 22-33.
- CNT – Confederação Nacional dos Transportes. **Pesquisa Rodoviária**, p. 34, 2014.
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 258, de 26 de agosto de 1999**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25899.html>>. Acesso em: 26 de setembro de 2019.
- CHOUBANE, B.; SHOZAR, G. A.; MUSSELMAN, J. A.; PAGE, G. C. – **Tenyear performance evolution of asphalt-rubber surfaces mixes – Transportation Research Record**, nº 0177, 2009 p. 15.

- DI GIULIO, G. **Vantagens ambientais e econômicas no uso da borracha em asfalto** – Inovação uniemp v. 3 n. 3. Campinas, 2007 p. 21-23.
- EPPS, J. A. **Uses of recycled rubber tires in highways. National cooperative highway research program.** Synthesis of highway practice, Transportation Research Board. Washington, 161 p. 2004.
- FERREIRA, D. H. **Análise da resistência de misturas de CA pelo método Marshall com utilização de agregados de nobres/MT.** Trabalho de graduação FAET/UFMT. Cuiabá, 2011 p. 12-63.
- GRECA ASFALTOS 2011 p. 7-65 – **ECOFLEX.** Disponível em: <<https://asfaltoborracha.com.br/vantagens-pavimentos-asfalto-borrachaecologico>>. Acesso em: 22 de março de 2020.
- KRAEMER, J.; DEL, M. A.; VAL, E. R. TOMÁS (2000) A Spanish experience with asphalt pavements modified with tire rubber. **Asphalt rubber.** Vliamora – Portugal, 2004 p. 22.
- NEVES FILHO, C. L. D. **Avaliação laboratorial das misturas asfálticas SMA produzidas com ligante asfalto-borracha.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004 p. 36.
- ODA, Jr.; EDEL, G. Primeiro trecho experimental urbano de SMA com asfalto-borracha sem fibras: projeto, construção e avaliação. **Revista Minerva** – pesquisa e tecnologia. São Carlos – SP, 2001 p. 14-36.
- ODA, S. **Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto-borracha em obras pavimentação.** Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000 p. 32-87.
- RODRIGUES, R. M. **Estudo do trincamento dos pavimentos.** Tese de Doutorado em Engenharia – COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005 p. 32.
- RUBBER PAVEMENT ASSOCIATION – **RPA.** Asphalt-rubber/rubberized asphalt – there is the difference, 2001 p. 1.
- SENÇO, W. de. **Manual de Técnicas de Projetos Rodoviários.** 1ª ed. São Paulo: Pini, 2007 p. 18.
- SHATNAMI, S.; LONG, B. **Performance of asphalt rubber as thin overlays.** Proceeding of the asphalt rubber. Portugal, 2000 p. 55.
- SPECHT, L. P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus.** Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004 p. 20-51.

WICKBOLDT, V. S. **Ensaio acelerados de pavimentos para avaliação de desempenho de recapeamentos asfálticos.** Dissertação de Mestrado – PPGEC/UFRGS, 2005 p. 17-50.



RESILIÊNCIA, SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO SOCIAL SOB A ÓTICA DA ENGENHARIA E AGRONOMIA

ORGANIZADORES

Tayron Juliano Souza

Bárbara Barbosa Tsuyuguchi

Wanessa Dunga de Assis

Higor Costa de Brito

RESILIÊNCIA, SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO SOCIAL SOB A ÓTICA DA ENGENHARIA E AGRONOMIA

EDITORA
LAMPLLA

