

**ESTUDOS CIENTÍFICOS
COM ENFOQUE NO
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL
VOLUME III**



Organizadores:

Fladimir Fernandes dos Santos

Nirlene Fernandes Cechin

**Estudos Científicos com Enfoque no
Desenvolvimento Sustentável - volume III**

1a. Edição

**BAGÉ
EDITORA FAITH
2020**

Título: Estudos Científicos com Enfoque no Desenvolvimento Sustentável - volume III

Organizadores: Fladimir Fernandes dos Santos, Nirlene Fernandes Cechin

Imagem da capa: Ana Paula Culau

Diagramação: Editora Faith

Copyright: ©2020 todos os direitos reservados aos organizadores e autores, sob encomenda à Editora Faith.

ISBN: 978-65-990264-9-2

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E82 Estudos científicos com enfoque no desenvolvimento sustentável / Fladimir Fernandes dos Santos, Nirlene Fernandes Cechin; (organizadores) .-- Bagé, RS:Faith, 2020.
133p.;v.3

ISBN: 978-65-990264-9-2

1. Meio ambiente 2.Sustentabilidade
3.Estudos científicos 4.Proteção ambiental
I.Santos, Fladimir Fernandes dos
II.Cechin, Nirlene Fernandes
III.t.

CDU504.06

Direção Geral

Caroline Powarczuk Haubert

Revisão

Editora Faith

Corpo Editorial

Prof. Dr. Alfredo Alejandro Gugliano - UFRGS

Prof. Dr. Dejalma Cremonese - UFRGS

Profa. Dra. Elisângela Maia Pessôa - UNIPAMPA

Prof. Dr. Fernando da Silva Camargo - UFPEL

Prof. Dr. Gabriel Sausen Feil - UNIPAMPA

Profa. Dra. Patrícia Krieger Grossi - PUC-RS

Prof. Dr. Ronaldo B. Colvero - UNIPAMPA

Profa. Dra. Simone Barros Oliveira - UNIPAMPA

Profa. Dra. Sheila Kocourek - UFSM

Prof. Dr. Edson Paniagua - UNIPAMPA

Profa. Dra. Maria de Fátima Bento Ribeiro – UFPEL

Profa. Dra. Danusa de Lara Bonoto – UFFS

Profa. Dra. Érica do Espírito Santo Hermel – UFFS

Prof. Dr. João Carlos Krause – URI

Prof. Dr. Márcio Marques Martins -UNIPAMPA

Prof. Dr. Marcos BARros - UFPE

Profa. Dra. Paula Vanessa Bervian – UFFS

Profa. Dra. Sandra Nonenmacher – IFFAR

Sumário

Apresentação	6
Capítulo 1 - Projeto de Sanitários Ecológicos Secos no México: um vínculo entre comunidade, instituição e meio ambiente (<i>Bárbara Pretto Biasi, José Dolores Beltrán Ramírez, Simone Dornelles Venquiaruto</i>)	8
Capítulo 2 - Gestão de Resíduos Oriundos da Cadeia Produtiva da Madeira: estudo multicaseos na construção civil (<i>Thaís Fantinel Malta, Nirlene Fernandes Cechin, Fladimir Fernandes dos Santos, Luciana Borba Benetti</i>).....	39
Capítulo 3 - Caracterização das Serrarias do Polo Madeireiro da Região da Zona da Mata de Rondônia (<i>Sylviane Beck Ribeiro, Vark Marcio dos Santos Ferreira, José Antônio Canizares Barnabé</i>)	60
Capítulo 4 - Estudo Geotécnico de Solos Eólicos para Aplicação em Estradas Rurais Não Pavimentadas e Confecção de Tijolos Artesanais (<i>Luciële Bilhalva Campagnolo, Wilber Feliciano Chambi Tapahuasco, Filipe Ribeiro de Almeida, Guilherme Castro da Costa</i>)	76
Capítulo 5 - Avaliação do Comportamento de Concretos com Politereftalato de Etileno Submetidos a Elevadas Temperaturas (<i>Maria Eduarda Fantin Dacheri, Marcelo de Jesus Dias de Oliveira, Simone Dornelles Venquiaruto</i>)	94
Capítulo 6 - Viabilidade Econômica de um Sistema de Geração Distribuída de Energia Elétrica Produzida por Painéis Fotovoltaicos: estudo de caso de uma autarquia municipal de água e esgoto (<i>Luis Pedro Froz Gonçalves, Fladimir Fernandes dos Santos</i>)	114

Apresentação

Reconhecer que a questão ambiental dever estar entre as principais discussões contemporâneas e que isso é uma questão-chave para o desenvolvimento sustentável, se revela entre as principais prioridades a serem buscadas pelas Nações.

Nesse contexto, a questão ambiental pode ser pautada em diversos estudos, revelando a sua atualidade. As abordagens são diversas, com enfoque nas construções ecológicas, na sustentabilidade florestal, no gerenciamento de resíduos e energias renováveis, no desenvolvimento de novos materiais, produtos e serviços ambientalmente adequados, nos planos preventivos e planos de emergência para remediação de impactos ambientais negativos, enfim, na condução de pesquisas que abordem os impactos ambientais das atividades humanas, visando à minimização de seus efeitos ao meio ambiente.

Mediante o exposto, esse livro possui importância para o cenário atual, pois permitirá mostrar algumas das produções acadêmicas que visam contribuir para com o tema desenvolvimento sustentável.

No estudo do capítulo 1 foi dado destaque ao processo de execução de um Sanitário Ecológico Seco (SES), na comunidade de Masiaca, localizada no estado de Sonora, México.

O capítulo 2 enfocou um estudo de caso com a análise da gestão de resíduos de madeira provenientes da construção civil, no município de Saporanga, Estado do Rio Grande do Sul.

A caracterização das serrarias do Polo Madeireiro da Região da Zona da Mata, no Estado de Rondônia é apresentada no capítulo 3.

O capítulo 4 trata do melhoramento geotécnico sustentável dos solos eólicos, visando sua utilização na construção e na manutenção de estradas rurais não pavimentadas e na confecção de tijolos artesanais.

No capítulo 5 tem-se uma avaliação das propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com substituição de areia natural por politereftalato de etileno (PET) em pó (areia de PET), após

serem expostos a diferentes temperaturas.

O capítulo 6 traz o estudo da viabilidade econômica de um sistema de geração distribuída de energia elétrica, produzida por painéis fotovoltaicos, para um Departamento de uma Autarquia Municipal responsável pelo abastecimento de água e esgoto.

Aos autores dos capítulos, publicados nesse livro, dedicamos nossos agradecimentos, por todo empenho e contribuição para que esta publicação pudesse ser realizada, desejando-lhes, ainda, sucesso sempre.

Fladimir Fernandes dos Santos
Nirlene Fernandes Cechin
Organizadores

Capítulo 1 - Projeto de Sanitários Ecológicos Secos no México: um vínculo entre comunidade, instituição e meio ambiente

Bárbara Pretto Biasi¹

José Dolores Beltrán Ramírez²

Simone Dornelles Venquiaruto³

Resumo

Nas últimas décadas, a problemática ambiental tem sido motivo de preocupação mundial, com as mudanças climáticas, a poluição do solo e a contaminação da água, que causam impactos, não só ao meio ambiente, mas também ao presente e futuro da humanidade. Entre as principais ideologias remediáveis, está o desenvolvimento sustentável, que busca a harmonia da relação homem *versus* natureza em termos ambiental, econômico e social. Na área da construção, surgem alternativas ecológicas com a otimização de projetos, o aproveitamento de recursos e o gerenciamento de resíduos, como é o caso do Sanitário Ecológico Seco (SES). O SES consiste em um sistema de saneamento com rentabilidade biodegradável, tratamento de resíduos e economia de água, como supressão para a crise hídrica, a falta de infraestrutura hidrossanitária e a disseminação de contaminantes. O projeto de SES está sendo implementado em regiões carentes do norte mexicano pelo Instituto

¹ Acadêmica do curso de Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: barbarapbiasi@gmail.com

² Professor do curso de Graduação em Engenharia Civil no Instituto Tecnológico de Sonora - ITSON, Campus Nainari, Ciudad Obregón, estado de Sonora/México. E-mail: jose.beltran@itson.edu.mx

³ Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Professora do curso de Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: simonevenquiaruto@unipampa.edu.br

Tecnológico de Sonora (ITSON), objetivando melhorar as condições de vida das comunidades, financiar novas técnicas construtivas e aprimorar os aprendizados dos estudantes participantes. Essa pesquisa apresenta o processo de execução de um SES na comunidade de Masiaca, localizada no estado de Sonora, México.

Palavras-chave: Sanitários ecológicos. Construção. Sustentabilidade.

1. Introdução

O artigo foi desenvolvido durante o intercâmbio acadêmico internacional, ofertado pelas universidades federais brasileiras. O país escolhido foi o México, no Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), o qual gere o Projeto “Banheiros Ecológicos Secos” – originalmente *Proyecto Baños Ecológicos Secos* – em parceria com o Centro Universitario de Enlace Constructivo (CUEC) que estabelece um vínculo entre comunidade, instituição e meio ambiente com programas de gestão, pesquisa e aplicação em prol do desenvolvimento sustentável da região sul do estado de Sonora.

Ao longo do século XXI, o desenvolvimento sustentável tem promovido equilíbrio e proteção ambiental, inclusive na área da construção civil – responsável pela evolução e adaptação da humanidade, tendo uma relação intrínseca com a sustentabilidade, as condições de vida e o progresso das comunidades (LUCAS; AGUIAR; FERREIRA, 2010, p. 209-216).

Assim, surgem as construções ecológicas, com alternativas substitutivas aos métodos antigos que mantêm a funcionalidade e a qualidade para aproveitamento de tempo, custo e matérias-primas. Ou seja, visam minimizar o impacto negativo e devastador das construções, alcançar a harmonia entre o homem e a natureza, além de encaminhar iniciativas conscientes ao uso de energia, água e demais recursos (REVOLLO, 2015, tradução nossa).

No México, regiões norte e centro, o crescimento desordenado urbano e a aparição de assentamentos irregulares são um grande proble-

ma para os habitantes e o equilíbrio ecológico (GRANADOS, 2009, tradução nossa). A escassez de água, os sistemas inapropriados e a falta de infraestrutura hidrossanitária geram transtornos futuros, como a crise hídrica e a disseminação de doenças. Nesse âmbito, uma das soluções encontradas é a engenharia do Sanitário Ecológico Seco (SES), que possibilita a economia de água, a rentabilidade biodegradável, o custo orçamentário acessível, a redução de poluentes e o tratamento de resíduos.

Atualmente, várias organizações civis mexicanas estão incluindo os SES em seus programas ecológicos, como: Guanajuato, Chiapas, Yucatán, Hidalgo e Morelos (GRANADOS, 2009, tradução nossa). O ITSON junto ao CUEC, adota o SES há cinco anos em comunidades necessitadas do norte e centro do México, caso de Álamos, Obregón, Huatabampo, BÁCUM e Navjoa, construindo um sanitário local.

A pesquisa em questão trata sobre a implementação de um SES na comunidade de Masiaca, estado de Sonora, norte do México – e aborda sobre as etapas do projeto, método construtivo e execução, além das expectativas e dos desafios encontrados durante o processo, que contou com o envolvimento de professores, estudantes e pessoas da comunidade. Por fim, dispõe os resultados e as vantagens desse tipo de empreendimento nas esferas social, econômica e ambiental, o qual pretende beneficiar 15 a 20 pessoas e servir de modelo sanitário para construções futuras.

2. Revisão da Literatura

2.1 Problemática ambiental

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), existem diversos desafios ambientais em nível mundial a serem superados por meio do desenvolvimento sustentável, dentre os principais estão: as mudanças climáticas, a poluição do solo e a contaminação da água, que causam impacto, não só ao ambiente, mas também à saúde das populações afetadas (LLOBELL, 2015). Tais problemas podem ser justificados pela deficiência no controle de contaminantes.

Contaminante: toda matéria ou energia, em qualquer estado físico, que quando incorporar/agir sobre a atmosfera, a água, o solo, a flora, a fauna ou outro elemento natural, modifica a sua composição e condição natural;

Contaminação: a presença no ambiente de um ou mais contaminantes que causa desequilíbrio ecológico (LGEEPA, 2018, p. 3, tradução nossa).

As mudanças climáticas aceleram com o aquecimento global, induzido pelas emissões de CO₂ que aumentaram em 50% desde 1990 (ONU, 2020). A liberação de gases na atmosfera ocorre inclusive em processos naturais, como na decomposição da matéria orgânica que produz metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂).

A poluição do solo deriva da gestão inadequada de resíduos sólidos, como a eliminação em locais descontrolados, que geram contaminantes migratórios causadores da deterioração do ar, das águas superficiais e das subterrâneas (GRANADOS, 2009, tradução nossa).

A contaminação da água ocorre quando a concentração de contaminantes, que varia em função do ambiente, da localização e da proximidade de fontes de água, reduz seus benefícios. Quanto à atividade humana, a contaminação ocorre ao despejar substâncias nocivas em aterros sanitários inadequados, lixões à céu aberto e descargas de esgoto sem tratamento, os quais são levados pelas correntes de água e/ou infiltrados para o subsolo (ZAZUETA, 2019, tradução nossa). Estima-se em cinco milhões de mortes anuais decorrentes de problemas de saúde ocasionados pela água contaminada, falta de tratamento e descarga imprópria de resíduos (OMS, 2018). Mortes que poderiam ser evitadas com ações em prol da água – tratamento, distribuição, drenagem, saneamento e aterros sanitários.

Muitos fatores, a saber a escassez de água, o crescimento demográfico, a exploração excessiva dos recursos hídricos e, principalmente, o uso irracional do líquido como meio de transporte de excrementos – em fluxo linear de acumulação e mistura do ciclo da água

com o de alimentos – afetam zonas urbanas e rurais, ocasionando o aumento da magnitude dos problemas ambientais da água. Nas regiões do norte e do centro do México, objetos de estudo deste trabalho, o crescimento desordenado de centros urbanos e a aparição de assentamentos irregulares são um grande problema, o qual enaltece a crise hídrica e gera diversas discussões sobre estratégias plausíveis para um desenvolvimento sustentável.

2.2 Desenvolvimento sustentável

O termo desenvolvimento sustentável é definido como o processo avaliado por meio de critérios e indicadores de caráter ambiental, econômico e social, que tendem a melhorar a qualidade de vida e a produtividade das pessoas, aliados à preservação ecológica, à proteção do ambiente e ao aproveitamento dos recursos naturais, de modo a não afetar as gerações futuras (LGEEPA, 2018, tradução nossa). Busca uma visão inovadora como modelo econômico global compatível com a conservação ambiental, os direitos humanos e a equidade social, de forma gradual e organizada, modificando a relação das pessoas com o meio ambiente, onde o compromisso e a responsabilidade alcançam as empresas, governos, organizações e toda a humanidade (ESCOBEDO; ANDRADE, 2017, tradução nossa). Oferece um ponto de consenso, julgando que os recursos naturais não são renováveis e, portanto, estão se esgotando a cada dia (ZAZUETA, 2019, tradução nossa).

2.3 Construção ecológica

A construção ecológica e/ou verde é uma das alternativas ao desenvolvimento sustentável, demanda a otimização no uso de materiais e o gerenciamento dos próprios resíduos, mantendo a funcionalidade, o conforto e a segurança para seus ocupantes. Assim, busca aproveitar os recursos eficientemente durante toda a vida da construção (REVOLLO, 2015, tradução nossa).

Nas últimas décadas, houve um processo de conscientização da importância da sustentabilidade dentro da construção civil, surgindo tecnologias não convencionais, naturais e/ou recicláveis (GHAVAMI, 2014, p. 61-70), com o objetivo de proporcionar um ambiente saudável, tanto no interior como no entorno das construções, reduzindo o impacto negativo – o esgotamento, a degradação e a poluição (KIBERT, 1994, tradução nossa). A aplicação de conceitos como bioconstrução, tecnologia verde, ecológicos, geotérmicos, renováveis, reutilizáveis e naturalmente aproveitáveis transformam a realidade da área mais sana e efetiva em todos os âmbitos. O Sanitário Ecológico Seco (SES) também apresenta essa proposta: a aplicação de conceitos sustentáveis para a transformação da realidade.

2.4 Sanitário Ecológico Seco (SES)

O SES ou banheiro ecológico é um sistema de saneamento que converte os excrementos humanos potencialmente nocivos em matéria orgânica inofensiva por meio dos ciclos biológicos naturais, como tecnologia sustentável.

Sanitário: relativo à higiene e à conservação da saúde, quanto ao manuseio e destino das necessidades fisiológicas humanas;

Ecológico: referente à ecologia e ao equilíbrio entre homem e meio; quanto à transformar resíduos em compostos limpos e inofensivos;

Seco: não utiliza água (GRANADOS, 2009, tradução nossa).

Os primeiros SES datam do século XX, foram criados pelo americano Joseph Jenkins e pelo mexicano César Añorve, e aplicados na Europa e EUA (AÑORVE *et al.*, 2000, tradução nossa). A tecnologia tem sido empregada, desde então, em zonas urbanas e rurais como alternativa para a construção ecológica e sustentável.

Os sanitários secos se dividem em dois tipos: com e sem separação de excrementos. O primeiro tipo – SES com separação – consiste no uso de peça sanitária especial, com entradas diferentes para os excrementos;

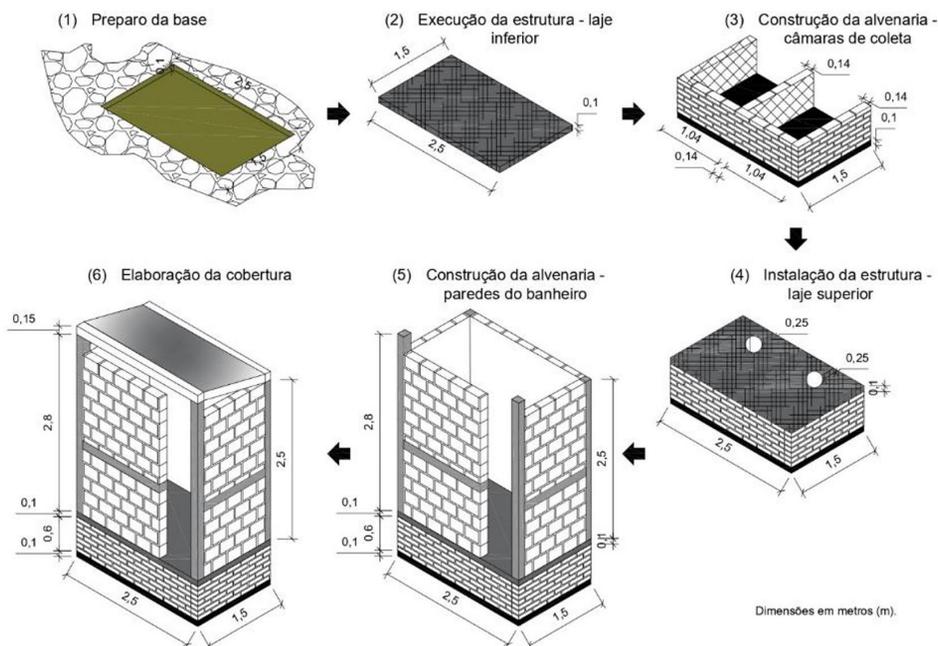
enquanto as fezes são depositadas dentro da câmara de coleta, a urina é dirigida a um coletor externo à câmara. Já no segundo tipo – SES sem separação ou de compostagem – não ocorre a separação com uso de peça sanitária tradicional; as fezes e a urina são depositadas nas câmaras para a decomposição até a conversão em fertilizante (CONANT & FADDEM, 2011, p. 102-139, tradução nossa). Além disso, os SES podem possuir uma ou duas câmaras de coleta, conforme o espaço físico disponível e o número de usuários; o uso de dupla câmara facilita o processo de manutenção do sanitário, sendo a matéria depositada na mesma câmara durante a decomposição.

2.4.1 Processo construtivo do SES: materiais, etapas e métodos

Os materiais utilizados na construção do SES foram: cimento, água, areia, brita, tijolos, madeira e metálicos. O cimento e os materiais metálicos foram comprados, os demais foram fornecidos pela comunidade e/ou pelo ITSON. Os tijolos foram desenvolvidos pela comunidade e as peças em madeira, recicladas de construções. Os agregados (brita e areia natural) para a produção do concreto foram doados.

O projeto do SES de compostagem com dupla câmara foi o modelo escolhido pelo fato do desenho arquitetônico permitir a adaptação a diferentes grupos culturais e a instalação em ambientes internos e/ou externos. Apresentam facilidade de funcionamento e manutenção, necessária a cada 6 ou 12 meses, sendo que os excrementos permanecem na mesma câmara durante todo o processo. A Figura 1 apresenta um passo a passo com as etapas de construção de um SES (página seguinte).

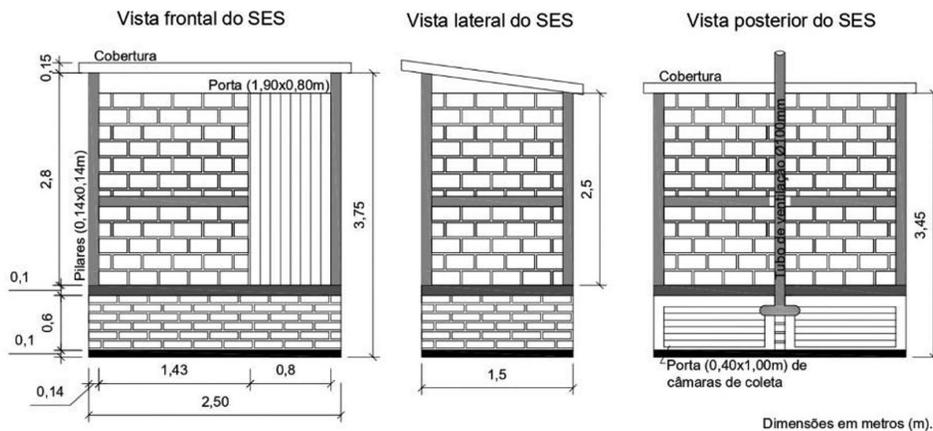
Figura 1 – Etapas de construção do SES de compostagem com dupla câmara



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

O processo construtivo do SES (Figura 1) foi dividido em seis etapas. A etapa (1) de locação da obra e preparo da base. As etapas (2) e (4) de execução das lajes de concreto armado. As etapas (3) e (5) de construção da alvenaria, seguida da instalação da laje superior, da execução das paredes, dos quatro pilares extremos e da viga de amarração central. A etapa (6) de elaboração e instalação da cobertura. A finalização (Ilustração 2) com os acabamentos: portas de madeira reciclada, da entrada e das câmaras de coleta; tubo de ventilação com cotovelos ligados às câmaras; vasos sanitários; janela de garrafas *PET* e rampa de acesso.

Figura 2 – Projeto final de SES



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

2.4.2 Viabilidade construtiva

A viabilidade construtiva de um projeto é fundamental para garantir que o investimento de tempo, de dinheiro e de mão de obra tragam os resultados esperados. Consiste na análise feita a fim de verificar a disponibilidade de recursos financeiros, físicos e oportunidade de ganhos positivos com o projeto (RIBEIRO, 2017).

No projeto de SES destacaram-se quatro fatores positivos, sendo eles: econômico, ambiental, social e educacional. No fator econômico salientam-se os gastos reduzidos na construção, devido ao uso de materiais locais, à reutilização de componentes e ao emprego de mão de obra voluntária. No ambiental, por não estar ligado à rede hídrica nem à drenagem sanitária, o projeto colaborou com a economia e preservação da água. Quanto ao fator social, viabilizou o auxílio aos necessitados, buscando melhoria na qualidade de vida, proteção à contaminação por doenças e uso diário mais confortável. Já no fator educacional, tanto para os alunos participantes na prática da construção civil, quanto para as comunidades envolvidas, serviu como forma de sensibilização para a importância de cuidar do ambiente, sendo que todos esses fatores mantêm a segurança e a durabilidade de um sanitário convencional.

2.4.3 Uso e funcionamento

Os SES funcionam através de ciclos biológicos naturais (reação), onde as fezes e a urina (reagentes) são transformadas em condicionador de solo (produto).

Urina: líquido transparente, amarelado e aquoso. Constituída por 95% de água e o restante dos 5% de compostos dissolvidos, como: cloro, magnésio, potássio, sulfatos, sódio e cálcio.

Fezes: excremento ou dejetos. Constituída por 75% de água e 25% de componentes sólidos, como: fibras, sal, celulose, secreções; além de micro-organismos, bactérias e fungos fundamentais (JONSSON *et al.*, 2004).

O volume e a quantidade de nutrientes dos excrementos variam conforme características regionais e culturais, considera-se o valor referencial anual de 500L de urina e 50L de fezes para um humano adulto (NOUR *et al.*, 2006). Já no que se refere a carga de nutrientes da urina humana, os dados constam na Tabela 1.

Tabela 1– Carga de nutrientes da urina humana produzida por uma pessoa por ano

Nutrientes (Kg)	Urina	Fezes	Total
Nitrogênio	5,60	0,09	5,70
Fósforo	0,40	0,19	0,60
Potássio	1,00	0,17	1,20

Fonte: NOUR *et al.* (2006, p. 233)

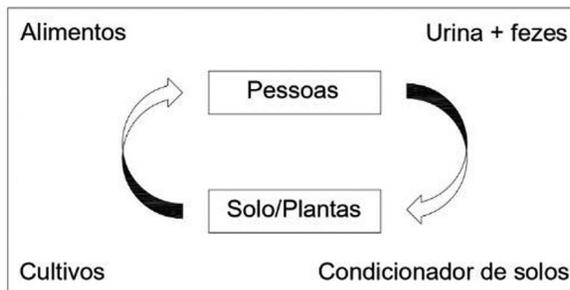
Além dos nutrientes presentes nos resíduos humanos, também há baixas concentrações de metais pesados e contaminantes. De qualquer forma, as substâncias encontradas em fertilizante químico (por exemplo, cádmio) e estrume curral (crômio e chumbo) são muito mais relevantes (JONSSON *et al.*, 2004).

Como visto (Tabela 1), a urina contém mais nutrientes por estarem solúveis em água, facilitando a obtenção e uso como fertilizante. Podendo ser aplicada de duas formas: (1^a) separar a urina e diluir em água; ou (2^a) biodegradar junto das fezes e da mistura adicionada – que

é o método de funcionamento de um SES de compostagem.

O processo faz parte do ciclo biológico e orgânico (Figura 3) entre pessoas e solo/plantas, onde ocorre a reação de compostagem/reciclagem com fermentação aeróbica, em que a matéria orgânica transforma-se em composto de solo, por meio da ação de microrganismos, da degradação da matéria e da destruição de patógenos.

Figura 3 – Ciclo biológico excrementos *versus* alimentos



Fonte: Adaptado de NOUR *et al.* (2006, p. 224)

Conforme Granados (2009), existem parâmetros de operação ótima de decomposição que devem ser cumpridos para evitar os maus odores, a flora e a fauna nocivas, como moscas, insetos e roedores. São eles, em tradução livre:

- **Umidade:** não desejável, sendo que a reação ocorre por desidratação. A umidade ideal está entre 50 e 60%, agregando um pouco de água por vez, dependendo dos materiais e demais fatores externos;

- **Aeração:** manter a circulação suficiente de oxigênio no material acumulado, para evitar bactérias anaeróbicas e maus odores; o uso de material agregado seco de granulométrica de 2,5 a 5cm – como serragem, cal, cinzas de queima orgânica, terra, folhas, ervas e palhas secas, entre outros – aumenta a porosidade e os espaços internos de passagem do ar; além da instalação de tubo de ventilação nas câmaras de coleta, para auxiliar a desidratação e a circulação de ar, com malha na extremidade para impedir a entrada de insetos;

- **Temperatura:** varia conforme a fase de decomposição, sendo: 15 a 45°C na fase mesófila, para crescimento dos microrganismos; 45 a 70°C

na fase termófila, para eliminação de patógenos; seguida de esfriamento, para degradação da celulose; e temperatura ambiente para a fase de maturação;

•**Balance C/N:** proporção de carbono e nitrogênio que compõem a mistura, deve estar em relações de 15/1 a 301/1 para a transformá-la em um produto estável, inofensivo e rico em nutrientes. O carbono é a base da vida e o recurso de energia para os microrganismos, já o nitrogênio é necessário para o crescimento das plantas. As excretas humanas têm balance de C/N de 8/1 em média, assim, para alcançar o valor recomendado, devem ser adicionados elementos ricos em carbono, como o material agregado seco e alcalino (citado anteriormente), para a redução da acidez e a desidratação da mistura.

•**Presença de organismos decompositores:** responsáveis por mesclar, aerar e decompor o material, como vírus, bactérias, fungos, minhocas e insetos.

Ademais, dos fatores listados, a localização e a construção do sanitário podem auxiliar neste processo biológico, como: lugares expostos ao calor do sol, câmaras de coleta com portas pretas, posição para o aumento do fluxo de ar e emprego de câmaras duplas alternativas (CONANT; FADEM, 2011, p. 102-139, tradução nossa).

A Figura 4 apresenta o esquema de funcionamento do SES de compostagem/sem separação. Ao usar o banheiro, os excrementos vão para as câmaras de coleta, onde ocorre o armazenamento e a decomposição dos resíduos. Os cuidados para o funcionamento adequado, do banheiro, são os seguintes: a cada uso deve ser adicionada em média uma xícara de material agregado seco (serragem, cal, folhas secas, etc.); a cada semana, o monte de excrementos formado na câmara, deve ser espalhado com o auxílio de uma pá e/ou tronco; a limpeza e manutenção do conjunto, vaso sanitário e piso, deve ser feita regularmente, como em qualquer banheiro. Após determinado tempo, geralmente de 6 meses a 1 ano, a mistura armazenada resulta em matéria seca, a ser recolhida e utilizada como fertilizante.

Figura 4 – Esquema do SES de compostagem



Fonte: Adaptado de Granados (2009, p. 27)

Os produtos obtidos são os condicionadores de solo – fertilizante orgânico, adubo e/ou húmus. A matéria seca contribui com o solo, melhorando sua estrutura, a capacidade de retenção de água, as fontes de energia para os microrganismos e os nutrientes para o desenvolvimento de plantas. Estima-se que essa reciclagem de nutrientes pode substituir de 20 a 25% dos fertilizantes químicos comercializados, os quais são produzidos com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), componentes que estão presentes de forma orgânica nos excrementos usados no processo de compostagem do SES (LOURO; VOLSCHAN; ÁVILA, 2012, p. 440-447).

Além de fertilizantes, outro produto desse processo é o biogás – formado por gases da decomposição, pode contribuir para a redução do efeito estufa e permitir a obtenção de energia limpa (GRANADOS, 2009, tradução nossa). Entretanto, para o aproveitamento do biogás é necessário construção de câmaras e instalação de equipamentos específicos.

2.4.4 Desafios e metas para a implementação de um SES

A implementação de um SES, como em qualquer projeto, conta com desafios e metas, relativos ao meio ambiente, à própria comunidade

de e à tecnologia. Conforme Granados (2009), em tradução livre, pode-se listar os fatores ambientais:

- Natureza:** clima (umidade, temperatura), água (acesso, quantidade, níveis de lençóis freáticos) e solo (estabilidade, permeabilidade e dureza);

- Sociedade:** padrão de povoamento (concentrado/disperso, crescimento baixo/alto), cultura (atitudes, hábitos, crenças e tabus) e gestão econômica;

- Processo:** físicos, químicos e biológicos para a compostagem dos excrementos humanos, de acordo com os mecanismos de isolamento, armazenamento e desidratação, determinantes de uma operação adequada;

- Aparato sanitário:** instrumentos e estruturas construídas especificamente para o uso do sanitário, como a localização da construção, os móveis de banheiro, as câmaras de coleta e o tubo de ventilação.

Os principais desafios são referentes aos futuros usuários e suas expectativas quanto ao banheiro, entre elas: privacidade – espaço fechado e reservado; segurança – bem construído e localizado; conforto – cômodo, pé direito alto, próximo de casa e protegido do clima; limpeza – limpo, higiênico, fácil e simples de manutenção; e respeito – a aquisição de um banheiro, culturalmente, pode trazer prestígio ao seu dono. Ressalta-se que o envolvimento da comunidade e a atenção aos desejos e às necessidades dos usuários podem diferenciar o sucesso e o fracasso do projeto de saneamento. Dado isso, há a importância da participação de todos na tomada de decisões (CONANT; FADEM, 2011, p. 102-139, tradução nossa).

As metas referem-se à tecnologia do sanitário, em concordância à viabilidade construtiva. De acordo com Zazueta (2019), em tradução livre:

- Aspectos técnicos:** fácil de implementar, operar e manter, com o uso de mão de obra e materiais da área – da fase de geração até a de eliminação final;

- Aspectos econômicos:** os custos de implementação, operação,

manutenção e administração devem ser eficientes, acessíveis e sustentáveis;

- **Aspectos sociais:** aceitável, estético e respeitoso aos valores culturais e sociais, propiciando hábitos positivos, com a participação da comunidade;

- **Aspectos organizativos:** a administração simples e dinâmica do serviço;

- **Aspectos de saúde:** a prevenção de doenças infectocontagiosas, a eliminação de patógenos e de organismos nocivos;

- **Aspectos ambientais:** evitar a poluição do solo, da água e do ar, além de regressar nutrientes ao solo e de conservar as fontes de água.

3. Metodologia de Pesquisa

Primeiramente, houve a realização da coleta de informações relativas, tanto ao próprio método construtivo e funcionamento dos sanitários, quanto à comunidade participante, motivos para a implementação do projeto, aspectos físicos e psicológicos. Os aspectos físicos englobaram a localização, o número de habitantes, o clima, a precipitação, a vegetação e o tipo de solo.

Os aspectos psicológicos envolveram o modo de vida e o conhecimento da comunidade, considerando a dimensão imaterial e a identidade cultural, como valores, crenças, língua, religião, entre outros, que condicionaram as necessidades locais para determinar a situação do saneamento e a correta solução técnica, no caso do SES.

O método desenvolvido no Projeto de SES evidencia-se de acordo com os itens discutidos a seguir, que buscam responder a seguinte pergunta: *Como construir um banheiro agradável, sustentável e de baixo custo?*

3.1 Objetivos do projeto

O principal objetivo do projeto refere-se ao desenvolvimento sustentável de zonas carentes por meio do SES, que busca facilitar o processo construtivo, minimizar os custos orçamentários, fornecer tratamento

adequado aos resíduos e reduzir os contaminantes. Como objetivos secundários, pode-se listar:

- Melhorar as instalações sanitárias;
- Evitar doenças e contaminações causadas pelas *latrinas*;
- Cooperar com a melhora de vida e o desenvolvimento das comunidades;
- Assistir ao trabalho voluntário para estudantes do curso de Engenharia Civil;
- Patrocinar novas ideias e conceitos sustentáveis futuros.

3.2 Estudo de caso: Comunidade de Masiaca

A comunidade de Masiaca está localizada no município de Navojoa, ao sul do estado mexicano de Sonora. As áreas populacionais rurais do estado, muitas vezes, não têm acesso aos recursos necessários, por causa de condições geográficas locais, rede hidrúca insuficiente e fonte de financiamento limitada (ZAZUETA, 2019, tradução nossa). Tal realidade, somada à falta de tratamento de resíduos e saneamento, resulta no aumento da contaminação do meio ambiente e das pessoas involucradas. Tais motivos justificam a escolha da comunidade de Masiaca como estudo de caso, ademais, por estar localizada nas proximidades da Ciudad de Obrégon, onde está o Campus de ITSON, em cerca de 118km.

Masiaca abrange área de 84,05 hectares, as coordenadas são de 26°45'49" de latitude norte e de 109° 14'08" de longitude oeste (GOOGLE EARTH, 2020). A população soma 1.514 habitantes (NMX, 2018), com uma densidade demográfica de 1.802,38 hab./km². A Figura 5 (página seguinte) mostra o posicionamento geográfico de Masiaca.

Figura 5 – Mapa geográfico

(a) México – estado de Sonora

(b) Comunidade de Masiaca



Fonte: Google Earth (2020, não paginado)

Entre os aspectos físicos, a paisagem é composta por áreas desérticas de terreno árido, atravessada por montanhas e depressões, com área tectonicamente ativa. O clima da região é tropical seco, quente e árido, com temperatura média de 21°C, marcado por extremos de 45°C em meados do verão. As precipitações anuais ficam abaixo dos 250 mm, com média anual de 221 mm. A vegetação é escassa nos desertos mexicanos, composta de gramíneas curtas, arbustos dispersos, cactos e plantas suculentas (GARDI *et al.*, 2015). O padrão do solo é dinâmico e vasto, sobretudo, os solos alcalinos ricos em carbonatos, rasos e de textura grossa, que são potencialmente adequados para o cultivo, se submetidos a sistemas de irrigação e controle de salinidade (WRB, 2015).

Os aspectos psicológicos de Masiaca englobam a cultura local, a situação do saneamento e as opiniões das pessoas envolvidas. A comunidade contabiliza 342 casas, sendo 306 unidades com instalações hidráulicas e 290 unidades com acesso à eletricidade (NXM, 2018, tradução nossa). Em sua maioria, a comunidade é rural e indígena, com costumes simples e tradicionais em relação ao modo de vida.

Em efeito da carência de recursos, da pobreza da região e da falta de água, não dispõe de serviços básicos de drenagem sanitária. Boa parte das pessoas utiliza a água não tratada de poços ou rios para as atividades diárias, como cozinha, limpeza e higiene pessoal; também, as chamadas *latrinas* para as necessidades fisiológicas, que são um modelo sanitário

antigo, constituído por poço no solo, coberto por uma laje de concreto ou madeira com o depósito de excrementos subterrâneo, sem recolhimento e/ou tratamento dos resíduos orgânicos (LUCIO, 2014, tradução nossa). O uso de *latrinas* não é considerado sanitário, além da falta de conforto e higiene, ocasiona problemas ambientais pela geração de contaminantes perigosos à saúde dos habitantes, à qualidade da água local e ao ecossistema em geral.

3.3 Instrumentos utilizados

Os instrumentos utilizados no projeto foram divididos em três categorias: digitais, físicos e humanos. Os instrumentos digitais englobaram o *software* AutoCad, utilizado para desenho e *design* do banheiro, e o *software* Excel, para as planilhas de orçamento, de materiais e de lista de presença. Os físicos foram equipamentos e ferramentas manuais de construção, além da câmera fotográfica para registro de todo o processo. Por fim, os instrumentos humanos correspondem às pessoas envolvidas.

Os participantes do projeto em cinco grupos: professores (6), administrador (1), estudantes (10), motorista (1) e pessoas da comunidade (5). Os professores do ITSON foram gestores de decisões, divisão de funções, fornecimento de materiais e supervisão dos estudantes durante todo o processo. O administrador do CUEC foi responsável pela inspeção das etapas, captura de fotografias e listagem de presença. Os estudantes de Engenharia Civil foram encarregados da coleta de informações, da elaboração do projeto e da execução construtiva. O motorista do ITSON realizava o transporte dos envolvidos. E as pessoas da comunidade, beneficiados e/ou interessados, logravam aprender sobre a construção e o funcionamento dos SES.

3.4 Orçamento para implantação de um SES

Na Tabela 2 consta o programa orçamentário aproximado para o projeto de SES, modelo de compostagem com dupla câmara, com valores do estado de Sonora no México, em pesos mexicanos (unidade \$). A

cotação para real brasileiro (unidade R\$) foi realizada no dia 24 de maio de 2020, sendo: R\$ 1,00 equivalente a \$4,07 – dados de câmbio monetário disponibilizados pela EXCHANGE-RATES.ORG (2020).

Dessa forma, há dois valores totais: Caso A – orçamento hipotético em relação à compra de todos os materiais para o projeto, com o custo de R\$1.219,82 aproximadamente; e Caso B – orçamento real, onde os materiais destacados (Tabela 2) foram cedidos pela comunidade e/ou pelo ITSON, com o custo de R\$671,93.

A adoção de materiais locais e ecológicos para o projeto mostrou-se bastante relevante, uma vez que permitiu uma redução de mais de 40% no orçamento final.

Tabela 1 – Orçamento para o projeto de SES

Componente	Quantidade	Unidade	Custo unitário		Custo total	Custo conversão (real brasileiro)
			(pesos mexicanos)			
Arame recozido (Kg)	2,00	unid.	\$	18,28	\$ 36,56	R\$ 8,98
Areia média	0,40	m ³	\$	279,00	\$ 110,48	R\$ 27,13
Brita 3/4"	0,29	m ³	\$	315,00	\$ 90,72	R\$ 22,28
Cal (saco 1,5Kg)	1,00	unid.	\$	19,00	\$ 19,00	R\$ 4,67
Cimento (saco 25Kg)	4,00	sacos	\$	235,00	\$ 940,00	R\$ 230,84
Haste de aço	8,00	peças	\$	54,00	\$ 432,00	R\$ 106,09
Madeira	0,32	m ³	\$	245,79	\$ 79,78	R\$ 19,59
Malha de aço	3,75	m ²	\$	100,00	\$ 375,00	R\$ 92,09
Malha de arame	5,51	m ²	\$	29,50	\$ 162,55	R\$ 39,92
Pregos (Kg)	1,00	unid.	\$	35,50	\$ 35,50	R\$ 8,72
Tijolos	650,00	unid.	\$	3,00	\$ 1.950,00	R\$ 478,88
Tubo PVC Ø100mm (6m)	1,00	unid.	\$	245,00	\$ 245,00	R\$ 60,17
Vaso sanitário	1,00	unid.	\$	490,50	\$ 490,50	R\$ 120,46
			TOTAL (Caso A)		\$ 4.967,09	R\$ 1.219,82
			TOTAL (Caso B)		\$ 3.900,39	R\$ 671,93

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

3.5 Processo construtivo do SES

O processo construtivo foi dividido em cinco etapas principais: locação da obra e preparo da base, execução da estrutura (laje inferior e superior), construção da alvenaria (câmaras de coleta e paredes), elaboração da cobertura e acabamentos. Os itens a seguir apresentam os detalhes do processo construtivo desenvolvido.

3.5.1 Locação da obra e preparo da base

A construção do SES iniciou com a locação da obra com o afastamento da estrutura de poços de água e/ou lençóis freáticos (acima de 2,5 metros) e com a referência um poço de água já instalado na residência, o banheiro foi locado em ponto estratégico para construção, uso e funcionamento. O preparo da base iniciou após a demarcação e a limpeza do local. Posteriormente, foi realizada a escavação da área (com dimensões de 1,50x2,50x0,07m) com utilização de pá e enxada. A terra da área escavada foi nivelada, umedecida e compactada por meio de compactador manual.

3.5.2 Execução da estrutura

A execução da estrutura foi dividida em duas etapas. Na primeira etapa foram executadas a laje inferior (base) e a alvenaria das câmaras de coleta. Na segunda etapa, a laje superior e a alvenaria das paredes do banheiro.

A laje inferior de concreto armado (com dimensões de 1,50x2,50x1,00m) foi executada *in loco* e apoiada diretamente sobre o solo. De acordo com as dimensões da peça, foram posicionados: as fôrmas de madeira reutilizadas e os reforços da estrutura, com malha eletro soldada (15x15cm) e três hastes de aço ¾” x60cm amarradas com arame. Depois, houve o preparo do concreto, conforme as prescrições do fabricante de cimento, para atingir a resistência (Fck) de 30MPa aos 28 dias. As etapas da concretagem – como mistura, distribuição e adensamento do concreto – foram realizadas manualmente com uso de pá e enxada. Após o término da concretagem e endurecimento do concreto, foi iniciada a cura úmida por um período de 7 dias, essa etapa foi realizada por integrantes da comunidade local.

A laje superior (1,50x2,50x1,00m) foi executada no laboratório de ITSON, com concreto de Fck de 30MPa aos 28 dias, em duas partes iguais (1,50x1,25x1,00m) para cada um dos sanitários (Figura 6). O processo foi o mesmo descrito para a laje inferior, exceto pela colocação

bricante, colocada entre os tijolos em camadas de 2cm. As câmaras foram construídas até a altura de 60cm, para receber as lajes superiores.

Figura 7 – Construção das câmaras de coleta

(a) Vista frontal



(b) Vista posterior



Fonte: Acervo dos autores (2019)

A paredes do banheiro (Figura 8) foram construídas após a instalação das lajes superiores, atingindo um pé-direito de 2,50m. Nessa etapa construtiva, os tijolos foram instalados em pé – parede de cutelo ou espelho, para economia de material e redução de peso da estrutura. Para auxiliar a sustentação das paredes, foi executada uma viga de amarração (0,15x0,20m) em concreto armado com duas hastes de aço $\frac{3}{4}$ ” x60cm amarradas com arame recozido, posicionada a 1,0m do piso. Além disso, foram executados simultaneamente à alvenaria, quatro pilares de concreto armado (0,14x0,14m), dois com altura de 2,80m e dois na de 2,50m, proporcionando caimento à cobertura. Para a confecção de cada pilar foram utilizadas fôrmas de madeira, concreto e duas hastes de aço $\frac{3}{4}$ ” x60cm amarradas com arame recozido.

Figura 8 – Construção das paredes do banheiro



Fonte: Acervo dos autores (2019)

3.5.4 Elaboração da cobertura

A cobertura do SES é totalmente sustentável, construída no laboratório de ITSON a partir de um painel de madeira reciclada com malha eletro soldada (7x7cm), preenchida com garrafas *PET* com polietileno moído, conforme etapas:

- **Recolhimento de garrafas *PET*:** distribuição de pontos de coleta no ITSON, contando com a participação da comunidade acadêmica para o encaminhamento correto de garrafas não utilizadas;

- **Enchimento de garrafas com polietileno:** as garrafas coletadas foram higienizadas e preenchidas com polietileno fino (triturado no laboratório). Sendo compostos de polietileno tereftalato, os materiais podem levar até 100 anos para desaparecer do meio ambiente. O uso alternativo, além de ser ambientalmente correto, apresenta vantagens técnicas, pois proporciona melhor isolamento térmico e configura um produto inerte, durável e econômico.

- **Montagem do painel:** montado em duas partes de 1,35x1,80m. Após o corte e a fixação da madeira, foi instalada a malha de aço com arame recozido;

- **Fixação das garrafas na cobertura:** 264 garrafas *PET* foram instaladas horizontalmente sobre a malha, e amarradas com arame recozido;
- **Cobertura do painel:** a finalização da cobertura ocorreu com a instalação de uma lona grossa, para evitar infiltrações e aumentar a sua durabilidade;

Após a confecção da cobertura (Figura 9), realizada em 15 dias, a mesma foi transportada até a comunidade para ser instalada.

Figura 9 – Elaboração da cobertura em laboratório



Fonte: Acervo dos autores (2019)

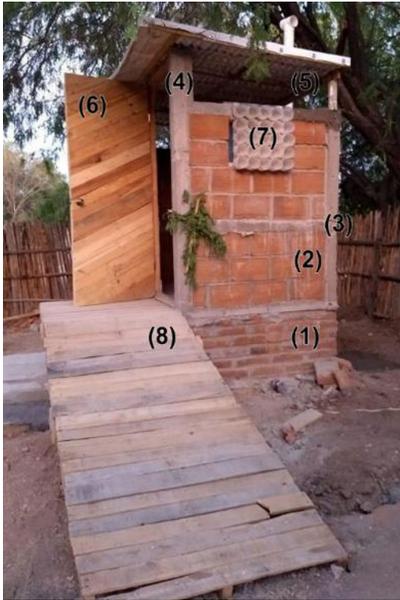
3.5.5 Acabamentos

Os acabamentos atendem a requisitos de conforto, higiene, estética e privacidade. A Figura 10 (página seguinte) exhibe o SES finalizado com todos os seus elementos.

Figura 10 – Banheiro Ecológico Seco finalizado

(a) Vista lateral

(b) Vista posterior



Fonte: Acervo dos autores (2019)

A Figura 10 representa, respectivamente: (1) Alvenaria das câmaras de coleta; (2) Alvenaria das paredes; (3) Vigas de amarração; (4) Pilares estruturais; (5) Cobertura de garrafas *PET*; (6) Porta de madeira reciclada; (7) Janela de garrafas *PET*; (8) Rampa de acesso; (9) Portas da câmara de coleta; (10) Tubo de ventilação Ø100mm; (11) Vasos sanitários de cerâmica – não visível na Ilustração.

4. Conclusão

Os resultados obtidos pelo projeto brindam a conclusão exitosa dos objetivos propostos do ponto de vista da construção e da comunidade. Na construção do SES houve a execução correta dos planos de projeto, o trabalho das equipes envolvidas manteve-se dinâmico e motivado, e o cronograma de cinco meses para a conclusão da obra foi alcançado, sendo que, o sanitário foi entregue em plenas condições de uso e funcionamento, como demonstrado nas imagens. Em relação à comu-

nidade de Masiaca, que apoiou o projeto através da oferta de mão de obra, materiais de construção e alimentação dos envolvidos durante o trabalho, e demonstrou aceitação e aprovação do SES pelos beneficiados (17 pessoas de três núcleos familiares).

4.1 Vantagens e desvantagens

A partir da análise do projeto de SES, foram listados pontos positivos, a serem prestigiados e replicados, e alguns pontos negativos, a serem estudados e melhorados em próximos projetos. Dentre as vantagens, estão:

- **Proteção ao meio ambiente:** não produz águas residuais, reduz o risco de infiltração e evita a contaminação da água; assim, diminui o impacto negativo das construções e gera sustentabilidade a longo prazo;

- **Dispensa conexão com rede hidrossanitária:** permitindo a aplicação em locais remotos e/ou sem a prestação desses serviços;

- **Economia de água:** não utiliza água para o transporte sanitário, poupando em média 8 litros por dia por pessoa, em relação ao sanitário convencional;

- **Produção de fertilizante orgânico:** seguro e livre de patógenos devido ao processo aeróbico de desidratação de 6 a 12 meses, havendo redução no consumo de fertilizantes químicos e tóxicos;

- **Economia monetária:** devido à utilização de materiais e mão de obra locais;

- **Facilidade construtiva:** utilização de técnicas básicas de construção, de sistemas pré-fabricados, além de mão de obra local.

Até a finalização do projeto não haviam sido apontados pontos negativos ou desvantagens. No entanto, esses poderão transcorrer durante o período de adaptação, funcionamento e uso do SES, como por exemplo, a rejeição de parte dos envolvidos, causada pela falta de conhecimento ou pelo desajustamento ao novo sistema por hábitos e costumes diferentes. Os riscos à saúde das pessoas pelo manuseio inadequado da mistura (excrementos e material agregado) e pela falta de higiene para a manutenção do SES, gerando odores e/ou flora e fauna nocivos,

além dos riscos ambientais, no caso das câmaras não serem construídas corretamente, os líquidos e os gases emitidos podem contaminar o solo, a água e o ar.

4.2 Discussões e recomendações

Durante o acompanhamento da implementação do SES surgiram algumas discussões e recomendações, as quais servirão para o estudo de melhorias em materiais, métodos e processos para o aprimoramento de projetos futuros. Dentre os pontos em discussão, está a escolha do local beneficiado, sendo que o traslado da Ciudad de Obregón até a comunidade de Masiaca (distância de 118km transcorridos em 1h e 32min) promoveu um aumento de tempo e de custo no transporte. Outro ponto foi a inexperiência dos estudantes voluntários e das pessoas locais, que aprenderam durante a construção, o que ocasiona maior demanda de tempo para a execução do projeto. Como terceiro e último ponto, destaca-se a falta de padronização dos materiais utilizados (propriedades, dimensões e matéria-prima), decorrentes da fabricação *in loco* artesanal e manual, como os tijolos da comunidade e o preparo do concreto. Todavia, tais dificuldades foram superadas satisfatoriamente, não afetando de forma negativa e/ou intensiva a consolidação do projeto.

As recomendações para o SES são referentes ao aumento da incorporação de materiais ecológicos diversos, principalmente nos itens de acabamento, como por exemplo o uso de: tintas naturais (extraídas de elementos da flora local) para a pintura do banheiro; escadas de acesso feitas de pneus preenchidos com terra; portas/coberturas confeccionadas em bambu, palha, entre outros. Também, o treinamento prévio de toda a equipe participante, por meio de aulas teóricas sobre o processo construtivo, da indicação de funções específicas e da determinação de um calendário de planejamento de trabalho. Após a finalização do SES, recomenda-se a instrução sobre o funcionamento correto do banheiro e a realização de visitas esporádicas na comunidade, para revisar e manter o SES da melhor forma.

Outro quesito interessante, que merece ser explorado em projetos futuros, é o aproveitamento da produção de biogás para geração de energia sustentável, liberado no processo de decomposição da matéria orgânica.

4.3 Considerações finais

A efetivação do projeto de SES, modelo de compostagem com dupla câmara, mostrou-se viável e eficiente tanto no âmbito construtivo e ambiental, quanto no social e educacional. O método utilizado demonstra que a construção civil pode interagir harmoniosamente com o meio ambiente, priorizando o equilíbrio ecológico, o tratamento adequado de resíduos e a preservação dos recursos naturais. A incorporação do desenvolvimento sustentável em procedimentos tradicionais – atendendo o planejamento de projeto, o uso de técnicas de construção, a qualidade de execução e a satisfação dos usuários; além dos padrões de conforto e tecnologia – gera mudanças culturais, ambientais e econômicas positivas à cadeia participante.

O projeto tem potencial de ser expandido e multiplicado para as demais regiões do México, e até mesmo para outros países, criando uma rede de ações em prol do meio ambiente e da humanidade, servindo como apoio às comunidades de recursos escassos, às construções ecológicas e aos acadêmicos com a prestação de serviço social e de estágio profissional, sendo estas, oportunidades que revelam a importância da sustentabilidade para o futuro da Engenharia Civil.

Agradecimentos

Agradecimentos à UNIPAMPA e ao ITSON pela oportunidade de intercâmbio, ao CUEC e à comunidade de Masiaca pela acolhida junto ao projeto. Também, aos professores José Beltrán e Simone Venquiaruto, pelo exemplo profissional, apoio acadêmico e orientação para o seguimento desse projeto.

Referências

AÑORVE, C. *et al.* Al agua lo que es del agua, al suelo lo que es del suelo. **Best Practices Database (BEST)**, México, 5 jul. 2000. Disponível em: <http://habitat.aq.upm.es/bpal/onu00/bp452.html>. Acesso em: 01 abr. 2020.

CINCOS'10: CONGRESSO DE INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 10., 2010. **Inovação na construção sustentável**, Argamasas funcionais para construção sustentável, p. 209-216. Portugal: LUCAS, S.; AGUIAR, J. B.; FERREIRA, V., 2010. Acesso em: 04 fev. 2020.

CIUDAD DE MÉXICO. **Ley General del Equilibrio Ecológico e la Protección al Ambiente**. Estados Unidos Mexicanos, Ciudad de México: Camara de Diputados del H. Congreso de la Unión, LGEEPA, 2018. Acesso em: 02 mar. 2020.

CONANT, J.; FADEM, P. Guia comunitaria para la salud ambiental. Capítulo 7: Construcción de sanitarios, p. 102-139. Espanha: **Editora Hesperian**, 2011. Acesso em: 04 fev. 2020.

ESCOBEDO, Gabriela G.; ANDRADE, María Antonieta A. **Desarrollo sustentable**. Estrategia en las empresas para un futuro mejor. Bogotá: Editora Alfaomega Colombiana, 2017. Acesso em: 10 abr. 2020.

EXCHANGE-RATES.ORG. **Taxas de câmbio mundial**. Conversão de reais brasileiros (BRL) para pesos mexicanos (MXN). 2020. Disponível em: <https://pt.exchange-rates.org/Rate/BRL/MXN>. Acesso em: 24 mai. 2020.

GARDI, C. *et al.* **Atlas de solos de América Latina e do Caribe**, L-2995, 176 p. Luxemburgo: Comissão Europeia – Serviço das Publicações da União Europeia, 2015. Acesso em: 28 mar. 2020.

GHAVAMI, Khosrow. **Materiais de construção sustentáveis**. Materiais e Tecnologias não Convencionais para o Século XXI, p. 61-70. Universidade do Minho, Portugal, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/269996464_Materiais_e_Tecnologias_na_o_Convencionais_para_o_Seculo_XXI. Acesso em: 20 fev. 2020.

GOOGLE EARTH. **Google Earth**, 2020. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@26.76369148,-109.23325599,74.37080272a,125502.95206636d,1y,1.07433887h,0t,0r>. Acesso em: 28 mar. 2020.

GRANADOS, M. **Sanitarios Ecológicos Secos como elemento de regularización de asentamientos humanos**. Orientador: Rina Aguirre Saldivar.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Industrial) - Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería, Ciudad de México, 2009. Acesso em: 02 mar. 2020.

INTERNATIONAL CONFERENCE OF CENTRE FOR CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT (CIB TG16), 1., 1994, Florida. **Establishing principles and a model for sustainable construction**. Florida: KIBERT, C. J., 1994. Acesso em: 10 abr. 2020.

JONSSON, H. *et al.* Orientações de Uso de Urina e Fezes na Produção Agrícola. **Série de publicações EcoSanRes**, Estocolmo, jul./dez., 2004. Disponível em: http://www.ecosanres.org/pdf_files/ESR_Publications_2004/ESR2004-2-portuguese-nopics.pdf. Acesso em: 31 mar. 2020.

LLOBELL, J. Os grandes problemas ambientais a nível mundial que devem ser resolvidos até 2030. **IBERDROLA**, Estados Unidos, [2015]. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/meio-ambiente/principais-problemas-ambientais>. Acesso em: 02 mar. 2020.

LOURO, C.; VOLSCHAN, I.; ÁVILA, G. Sustentabilidade ambiental: estudo sobre o aproveitamento de nutrientes da urina humana para fins agrícolas. **Revista Eletrônica Sistema & Gestão**, v. 7, p. 440-447, 2012. Disponível em: <http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/viewFile/V7N3A12/V7N3A12>. Acesso em: 10 abr. 2020.

LUCIO, Cristina G. El desafío de las letrinas. **EL MUNDO**, Madrid, 27 out. 2014. Disponível em: <https://www.elmundo.es/salud/2014/08/27/53fcd39ae2704e443c8b4581.html>. Acesso em: 10 mai. 2019.

NMX. **México**. 2018. Disponível em: <http://www.en.nuestromexico.com/>. Acesso em: 28 mar. 2020.

NOUR, E. *et al.* Tecnologias de segregação e tratamento de esgotos domésticos na origem, visando a redução do consumo de água e da infraestrutura de coleta, especialmente nas periferias urbanas. **Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB)**, Espírito Santo, 2006. Disponível em: https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Uso_agua_-_final.pdf. Acesso em: 31 mar. 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Organização Mundial da Saúde. Monitoring health for the Sustainable Development Goals (SDGs). **World Health Statistics 2018**. [Curitiba]: OMS, 2018. Acesso em: 10 abr. 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **A ONU e o meio am-**

biente. [Rio de Janeiro]: ONU, 2020. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

REVOLLO, Anibal. Las construcciones ecológicas. **Gestiopolis**, Colombia, 22 mai. 2015. Disponível em: <https://www.gestiopolis.com/las-construcciones-ecologicas/>. Acesso em: 12 mai. 2019.

RIBEIRO, Pollyana. Análise de Viabilidade de um Projeto. **BLOG DO JRM**, Brasília, 12 set. 2017. Disponível em: <https://www.jrmcoaching.com.br/blog/analise-de-viabilidade-de-um-projeto-entenda-sua-importancia-para-empresa/>. Acesso em: 28 mar. 2020.

WORD REFERENCE BASE FOR SOIL RESOURCES. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Base de Referência Mundial de Solo**. Itália: WRB, 2015. Acesso em: 28 mar. 2020.

ZAZUETA, E. **Diseño y construcción de baños ecológicos en la comunidad de lomas los angelitos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Instituto Tecnológico de Sonora. Programa de Graduação em Engenharia Civil, Ciudad de Obregon, México, 2019. Acesso em: 20 fev. 2020.

Capítulo 2 - Gestão de Resíduos Oriundos da Cadeia Produtiva da Madeira: estudo multicasos na construção civil

Thaís Fantinel Malta¹

Nirlene Fernandes Cechin²

Fladimir Fernandes dos Santos³

Luciana Borba Benetti⁴

Resumo

O presente estudo teve por objetivo analisar a gestão de resíduos de madeira provenientes da construção civil, em um município do Estado do Rio Grande do Sul, a partir de: a) identificação e caracterização dos resíduos de madeira da construção civil; b) identificação e caracterização das fontes geradoras destes resíduos; c) caracterização dos procedimentos relativos à gestão deste tipo de resíduo na construção civil. Como metodologia foram realizadas pesquisas em bibliografias científicas especializadas no tema proposto e aplicação de questionário previamente estruturado. Com base nos dados analisados foi possível identificar os resíduos gerados na construção civil, sendo estes oriundos de madeira roliça *in natura*, madeira roliça preservada, madeira serrada *in natura*, painel compensado de madeira, sarrafo, tábuas, caibro e ripa. As fontes geradoras destes resíduos são a serra circular, a serra fita, a serra manual,

¹ Bacharela em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA. E-mail: thaís_fantinel@hotmail.com

² Dra. em Engenharia Florestal, Professora Associada da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus São Gabriel. E-mail: nirlenecechin@unipampa.edu.br

³ Dr. em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Professor Associado da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: fladimirsantos@unipampa.edu.br

⁴ Dra. em Engenharia Ambiental, Professora Associada da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus São Gabriel. E-mail: lucianabenetti@unipampa.edu.br

a lixadeira e a furadeira. Os resíduos são reutilizados na construção de escoras, formas para concreto, guias para escoramento, tapumes de obras, andaimes, contenção provisória e barraco de materiais. Na construtora os resíduos madeireiros não são descartados separadamente, no entanto, são armazenados em containers e coletados por empresas terceirizadas. Na empresa que presta serviços de construção civil, os resíduos madeireiros, normalmente, são separados por tipos e dimensões, não sendo considerado o fato de os mesmos estarem, ou não, contaminados por outros produtos, ficando armazenados em tele entulhos, para posterior descarte. Os resíduos madeireiros gerados nas obras da construtora e da empresa que presta serviços são destinados para o controle municipal de coleta e destinação de resíduos da construção civil. Enfatiza-se a falta de conhecimento dos gestores e das equipes dos setores entrevistados quanto ao local e a forma como devem ser encaminhados os resíduos para disposição final ambientalmente adequada, uma vez que o mesmo é realizado por empresas terceirizadas. A empresa e a construtora informaram ter um PGRS, apesar disso, ambas citaram que não possuem um programa de redução, reutilização e reciclagem de resíduos, o que deixa na dúvida quanto ao conteúdo, ou à existência, deste documento. Os resultados apresentados não podem ser generalizados, por se tratar de um estudo multicase, mas fica o alerta para a necessidade do conhecimento da legislação pertinente ao gerenciamento dos resíduos da construção civil.

Palavras-chaves: Resíduos da Madeira. Gerenciamento de Resíduos. Sustentabilidade.

1. Introdução

A cadeia produtiva da madeira é constituída por um conjunto de atividades que são realizadas sequencialmente, proporcionando a utilização desta matéria-prima na transformação de diversos produtos. No setor brasileiro de plantios florestais, a cadeia produtiva consiste nos fatores de produção, na produção florestal, na transformação da maté-

ria-prima (processamentos primário, secundário e terciário) e no consumo final dos produtos.

A madeira serrada é obtida a partir da transformação de toras em produtos que apresentam diversas formas e dimensões, entre os quais é possível destacar as tábuas, pranchas, pontaletes, sarrafos, ripas, caibros, dormentes, perfis e vigas. Dentre os setores florestais, estes tipos de produtos atendem às necessidades dos setores moveleiros, de artefatos e da construção civil.

O setor da construção civil é responsável por grande parte da movimentação econômica de países desenvolvidos e em processo de desenvolvimento. Na construção civil a madeira é um elemento fundamental, sendo utilizada de diversas formas e etapas de uma obra. Assim, fica evidente o aumento da geração de resíduos nos canteiros de obras, o que, de fato, incrementa a necessidade da coleta seletiva, da reutilização, do reaproveitamento e da reciclagem de resíduos de madeira.

Em um canteiro de obras podem existir diferentes tipos de madeiras e estas podem ser utilizadas em diversos tipos de produtos. Diante disso, é muito importante a identificação correta dos resíduos gerados a fim de que os mesmos possam ter a destinação, ou disposição (dos rejeitos) final ambientalmente adequada.

A madeira, como qualquer outro resíduo, pode deixar de ser um passivo ambiental e se tornar matéria-prima para diversas finalidades, proporcionando a redução de problemas ambientais, sociais e econômicos. Neste sentido, quanto mais informações e conhecimentos houverem sobre a geração e as características destes resíduos, maiores serão as possibilidades de utilizar adequadamente estes materiais, bem como de melhorias na qualidade ambiental como um todo.

Considerando a importância da cadeia produtiva da madeira no cenário econômico brasileiro, seus impactos ambientais e os custos de recuperação de ambientes degradados, a presente pesquisa teve por objetivo analisar a gestão de resíduos de madeira provenientes da construção civil, em um município do Estado do Rio Grande do Sul, a partir da: a) identificação e caracterização dos resíduos de madeira da construção civil; b) identificação e caracterização das fontes geradoras destes

resíduos; c) caracterização dos procedimentos relativos à gestão deste tipo de resíduo na construção civil.

2. Revisão da Literatura

2.1 Resíduos sólidos

De acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004), resíduo é todo material sólido ou semi-sólido que resta de atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de varrição, podendo ser reutilizado, reaproveitado ou reciclado, de alguma forma.

Por outro lado, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, deixa claro o conceito de rejeito, sendo denominado como todo o material que tem esgotado todas as possibilidades de tratamento e recuperação a partir de processos tecnológicos disponíveis e tecnicamente viáveis, não apresentando outra possibilidade que não seja a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Segundo Roth (2008), o descarte incorreto de resíduos pode causar problemas, tanto diretos quanto indiretos, ao meio ambiente e a sociedade. Os problemas diretos são devido ao depósito de resíduos a céu aberto, que pode ocasionar a poluição do solo, do ar, da água e visual. Os problemas indiretos são decorrentes dos custos e do esgotamento de fontes de matéria-prima, dificuldade de obtenção de água apropriada ao uso e de encontrar áreas para implantação de aterros sanitários, escassez e o custo crescente da energia e incômodos ocasionados à população.

O descarte dos resíduos tem se tornado um problema mundial quanto ao prejuízo e a poluição do meio ambiente, caso estes sejam descartados sem nenhum tratamento, podendo, assim, afetar tanto o solo, a água e/ou o ar. A poluição do solo pode alterar suas características físico-químicas, que representa uma séria ameaça à saúde pública, tornando o ambiente propício ao desenvolvimento de transmissores de doenças. A poluição da água pode alterar as características do ambiente aquático, através da percolação do líquido gerado

pela decomposição da matéria orgânica presente no lixo, associado com as águas pluviais e nascentes existentes nos locais de descarga dos resíduos. Enquanto que a poluição do ar pode provocar a formação de gases naturais na massa de lixo, devido à decomposição dos resíduos com e sem a presença de oxigênio no meio, originando riscos de migração de gás, explosões e até de doenças respiratórias, se em contato direto com os mesmos (MOTA et al., 2009, p. 2).

Demonstrados os conceitos de resíduos sólidos e de rejeitos, bem como citados os problemas decorrentes do descarte deles de forma inadequada, na sequência é apresentada a caracterização de resíduos de madeira da construção civil.

2.2. Resíduos de madeira da construção civil

A construção civil é considerada como uma das mais importantes atividades que contribuem para o desenvolvimento econômico e social do Brasil, no entanto, ainda comporta-se como causadora de impactos ambientais, tendo em vista o consumo de recursos naturais, a modificação da paisagem e a geração de resíduos (SANTOS et al., 2012). Ademais, segundo os autores (*ibidem*, p. 5), “alguns estudos têm atentado para que, no setor da construção civil, frequentemente, há falta de planejamento do material aplicado, resultando um excesso, no qual não é comum notar o destino correto dos resíduos gerados”.

Segundo Zenid (2009), na construção civil a madeira é utilizada de diversas maneiras, em usos temporários, como em fôrmas para concreto, em andaimes e em escoramentos. Ainda, conforme este autor (*ibidem*), na obra devem ser adotadas algumas medidas de maneira que sejam evitados os desperdícios de madeiras, que irão virar entulhos de alguma forma. As peças de madeira devem ser utilizadas de acordo com o projeto, para evitar perdas com cortes desnecessários. Também deve ser verificada a possibilidade de reaproveitamento das peças, ou seja, utilizar uma mesma peça, mais de uma vez, dando-lhe uma sobrevida, o que significa economia de dinheiro e de matéria-prima.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT,

2004), a NBR 10.004 classifica os resíduos nas seguintes classes: I – perigosos; IIA – não perigosos; e IIB – inertes. Assim, os resíduos da madeira são classificados como não perigosos, Classe II A – não inertes, devido as suas propriedades de degradabilidade e combustibilidade. Entretanto, quando a madeira entra em contato com substâncias tóxicas (solventes e tintas), esta passa a se tornar perigosa. Neste sentido, os resíduos de madeira com presença de substâncias tóxicas deverão ter um manejo adequado.

De acordo com a Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002, do Conselho Nacional do meio ambiente (CONAMA), os resíduos da construção civil (RCC's) são aqueles provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos. Neste sentido, os RCC's, cuja a matéria-prima é a madeira, são classificados na classe B, ou seja, como recicláveis para outras destinações (BRASIL, 2002). Quanto à forma de destinação destes resíduos, os mesmos deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura.

Conforme Wiecheteck (2009), é comum a não segregação da madeira dos outros resíduos sólidos da construção civil e o seu destino final acaba sendo o aterro sanitário. Há de ser lembrando que, geralmente, esses resíduos possuem pregos ou concretos, onde há a necessidade de reciclagem dos mesmos para que possa ser realizada uma destinação final ambientalmente adequada.

A destinação dos Resíduos da Construção Civil (RCC) varia significativamente entre as cidades. De acordo com Tuoto (2009), os destinos mais comuns dos RCC são: i) aterro em obras civis; ii) aterro sanitário; iii) aterro específico (aterro de inertes); iv) estações de reciclagem; e v) deposição irregular.

2.3 Política Nacional de Resíduos Sólidos

Como já dito, a Lei nº 12.305 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Ela tem como principais objetivos proteger a saúde

pública, o meio ambiente e a biodiversidade, contemplar preocupações sociais e minimizar custos, garantindo uma gestão integrada com interdisciplinaridade e complexidade (BRASIL, 2010).

Essa Lei nº 12.305 trata, inclusive, da questão dos resíduos gerados na construção civil, trazendo os princípios, os objetivos e os instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, bem como as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e os instrumentos econômicos aplicáveis.

Ademais, o Artigo 13, da referida Lei, classifica os resíduos quanto à sua origem e quanto à periculosidade, visando identificar o gerador e os riscos ambientais relacionados a determinado resíduo. Os resíduos da construção civil são aqueles gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civis, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.

Consta na Lei nº 12.305 que estão sujeitos à elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) as empresas da construção civil, nos termos do regulamento ou de normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA).

2.4 Planos de Gerenciamento de Resíduos na Construção Civil

De acordo com a nova redação dada pela Resolução CONAMA nº 448/12, para a implementação da gestão dos resíduos da construção civil tem-se como instrumento, para este fim, o Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil (PMGRCC), a ser elaborado pelos Municípios e pelo Distrito Federal, em consonância com o PMGIRS (BRASIL, 2012).

Art. 6º Deverão constar do Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil: (nova redação dada pela Resolução 448/12).
I- as diretrizes técnicas e procedimentos para o exercício das responsabilidades dos pequenos geradores, em conformidade com os critérios técnicos do sistema de limpeza urbana local e para os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil a serem

elaborados pelos grandes geradores, possibilitando o exercício das responsabilidades de todos os geradores; (nova redação dada pela Resolução 448/12); II- o cadastramento de áreas, públicas ou privadas, aptas para recebimento, triagem e armazenamento temporário de pequenos volumes, em conformidade com o porte da área urbana municipal, possibilitando a destinação posterior dos resíduos oriundos de pequenos geradores às áreas de beneficiamento; III- o estabelecimento de processos de licenciamento para as áreas de beneficiamento e reservação de resíduos e de disposição final de rejeitos; IV- a proibição da disposição dos resíduos de construção em áreas não licenciadas; V- o incentivo à reinserção dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo; VI- a definição de critérios para o cadastramento de transportadores; VII- as ações de orientação, de fiscalização e de controle dos agentes envolvidos; VIII- as ações educativas visando reduzir a geração de resíduos e possibilitar a sua segregação (BRASIL, 2002, p. 4-5).

Na Lei nº 12.305 está descrito que o PMGIRS é um documento que deve conter alguns requisitos mínimos, entre eles, o diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados no respectivo território, contendo a origem, o volume, a caracterização dos resíduos e as formas de destinação e disposição final adotadas (BRASIL, 2010).

Segundo a Resolução CONAMA nº 307, o gerenciamento de resíduos da construção civil abrange o conjunto de ações a serem exercidas, de forma direta ou indireta, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e de disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com PMGIRS ou com PGRS (BRASIL, 2002).

De acordo com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, o PGRS é formalizado em um documento que deve apresentar a descrição do empreendimento ou atividade; o diagnóstico dos resíduos sólidos gerados ou administrados (contendo a origem, o volume e a caracterização dos resíduos, incluindo os passivos ambientais a eles relacionados); a explicitação dos responsáveis por cada etapa do gerenciamento de resíduos sólidos; a definição dos procedimentos operacionais relativos às etapas do gerenciamento de resíduos sólidos sob responsabilidade do

gerador; a identificação das soluções consorciadas ou compartilhadas com outros geradores; as ações preventivas e corretivas a serem executadas em situações de gerenciamento incorreto ou acidentes (BRASIL, 2010).

O PGRS também deve conter as metas e procedimentos relacionados à minimização da geração de resíduos sólidos, à reutilização e reciclagem; se couber, as ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; as medidas saneadoras dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos e periodicidade de sua revisão, observado, se couber, o prazo de vigência da respectiva licença de operação a cargo dos órgãos do SISNAMA (BRASIL, 2010).

Para a elaboração, implementação, operacionalização e monitoramento de todas as etapas do PGRS, nelas incluído o controle da disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, será designado um responsável técnico devidamente habilitado. Os responsáveis pelo PGRS manterão atualizadas e disponíveis, ao órgão municipal competente, ao órgão licenciador do Sisnama e a outras autoridades, as informações completas sobre a implementação e a operacionalização do plano sob sua responsabilidade. Portanto, o PGRS é parte integrante do processo de licenciamento ambiental do empreendimento ou atividade pelo órgão competente do Sisnama (BRASIL, 2010).

Salienta-se, conforme Nolasco e Uliana (2014), que a gestão de resíduos trata-se de um componente importante na gestão ambiental corporativa, pois envolve a atividade de elaborar políticas e planos integrados que têm por objeto prevenir a geração, obter o máximo aproveitamento e a reciclagem de materiais, reduzir ao máximo o volume e/ou a periculosidade dos resíduos gerados, bem como definir as melhores soluções para tratamento e disposição deles.

3. Metodologia

O presente estudo foi realizado considerando duas estratégias de pesquisas: a pesquisa bibliográfica, realizada a partir da utilização de bibliografia científica especializada no tema proposto e o estudo

multicasos, realizado a partir da aplicação de questionário previamente estruturado, buscando identificar e caracterizar os tipos de resíduos de madeira da construção civil, assim como, identificar as fontes de origem e os procedimentos relativos à gestão destes resíduos gerados na construção civil, aplicando uma abordagem qualitativa.

As informações coletadas foram avaliadas de forma que os resíduos foram identificados e classificados por meio de consulta direta na Norma NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004), de classificação de resíduos sólidos. Já a enfoque dos procedimentos relativos à gestão deste tipo de resíduo na construção civil foi baseada no que preconiza a Política Nacional de Resíduos Sólidos, conforme a Lei 12.305/2010.

Os questionários para as coletas de dados, referentes aos resíduos produzidos no canteiro de obras de construção civil, foram enviados por *e-mail*, para uma construtora e para uma empresa que presta serviços de construção civil, ambas localizadas no mesmo município, no estado do Rio Grande do Sul.

4. Resultados e Discussão

Consta nesta seção os resultados e a discussão sobre a gestão de resíduos de madeira provenientes da construção civil, realizada por uma construtora e por uma empresa que presta serviços de construção civil.

A construtora pesquisada consiste numa micro empresa que atua no setor de construção civil desde 2009, possui 14 funcionários trabalhando nas obras e outros 2 em escritório. Realiza obras de edificações unifamiliares e multifamiliares, comerciais e industriais e obras de licitações.

A empresa prestadora de serviços, também é uma microempresa do setor da construção civil, que atua no mercado desde 2016. Nesta organização, o proprietário trabalha sozinho fornecendo consultoria e serviços para demais empresas e obras, elaborando projetos arquitetônicos, urbanísticos e complementares, além de vistorias técnicas e acompanhamentos de obras.

4.1 Identificação e caracterização dos resíduos de madeira da construção civil

Considerando a NBR 10.004 (ABNT, 2004), todos os resíduos listados neste estudo são classificados como resíduos sólidos, pois se encontram no estado sólido e semi-sólido e são resultantes de atividades de origem industrial, neste caso específico, da construção civil.

Lima e Lima (2009) enfatizam que a fase de caracterização é importante no sentido de identificar e quantificar os resíduos e, assim, realizar o planejamento adequado, visando a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final ambientalmente adequada. Conforme a Lei 12.305/2010, isso contribui para as formas de destinação e disposição final adotadas.

Nas obras da construtora a madeira é, normalmente, utilizada em forros e madeiramento bruto de telhados, principalmente na forma de madeira serrada *in natura*, caibros, tábuas e ripas. No entanto, os resíduos de madeira oriundos das obras são utilizados em escoras (sustentação para lajes), em formas para concretagem (para tetos e pisos), guias para escoramento (de vigas e colunas/pilares), tapumes de obra e andaimes. Normalmente, as madeiras de caixas são reaproveitadas, pelo menos ao máximo, quando não forem separadas para lenha.

De acordo com o proprietário da construtora, a principal causa da geração de resíduos madeireiros em obras é devido a sua real utilização, ou seja, onde a madeira é utilizada e, também, como é manejada nos canteiros de obras. Segundo as informações obtidas no estudo, estima-se que, no máximo, 10% do produto inicial se torna resíduos nas obras da construtora.

Conforme ficou constatado, um dos fatores que torna, muitas vezes, inviável a reutilização dos resíduos madeireiros, oriundos da construção civil, é o fato dos mesmos estarem, algumas vezes, contaminados com outras substâncias como óleos, graxas, lubrificantes, tintas, vernizes entre outros. Além disto, os tamanhos das peças, ou a variação na geração destes resíduos, também inviabilizam a sua reutilização. A Figura 1 mostra algumas madeiras utilizadas em uma obra realizada pela construtora e as possibilidades de fontes de resíduos a partir delas.

Figura 1 – Madeiras utilizadas no canteiro de obras da construtora

Fonte: Acervo da pesquisa

Já nas obras realizadas pela empresa prestadora de serviços são utilizadas madeira roliça *in natura*, madeira roliça preservada, madeira serrada *in natura*, painéis compensados de madeira, tábuas, caibro, sarrafos e ripas. As peças de madeira servem para construção de elementos como escadas, aberturas, peitoris, pergolados, entre outros. Os resíduos destas madeiras são reutilizados na construção de formas para concretagem, como guias para escoramento, andaimes, contenção provisória de materiais, tapumes de obra e barraco de materiais.

Na empresa prestadora de serviços, caso o material seja utilizado para sustentação, fôrma ou andaimes, ao final da obra os resíduos são descartados em sua totalidade devido ao desgaste dos mesmos durante as atividades. Quanto as madeiras utilizadas para acabamentos, aberturas e telhados, 99% são utilizados e permanecem na obra. Os resíduos gerados nas obras realizadas pela empresa podem ser visualizados na Figura 2.

Figura 2 – Resíduos gerados nas obras da empresa



Fonte: Acervo da pesquisa

A caracterização dos resíduos gerados, em canteiros de obra na construção civil, é de suma importância, pois, é a partir dela que a destinação dos resíduos, ou a disposição final dos rejeitos, ocorre de maneira correta. Assim, analisando os dados obtidos a partir deste estudo, foi possível identificar e, posteriormente, caracterizar os resíduos gerados nos canteiros de obras da construtora e da empresa, como mostrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação e caracterização dos resíduos de madeira

Classificação da madeira	Características
Madeira roliça <i>in natura</i>	Peça cilíndrica de madeira, com menor grau de processamento, sendo que, em alguns casos, a casca não é retirada. Nas obras é utilizada temporariamente como escoras, como estacas ou na construção de andaimes.
Madeira roliça preservada	Peça cilíndrica de madeira, que passa por tratamento preservativo através da utilização de produtos com ação fungicida e ação inseticida. Nas obras é utilizada em coberturas internas.
Madeira serrada <i>in natura</i>	Madeira processada mecanicamente em serrarias, sendo transformada em peças quadrangulares ou retangulares de menor dimensão. Na obra é utilizada como escoras, estrutura de telhado, colunas e estacas
Painel compensado de madeira	Madeira beneficiada mecanicamente, sendo composto por várias lâminas que são unidas, perpendicularmente, uma à outra, por meio do uso de adesivos ou colas, proporcionando maior estabilidade à peça produzida. Nas obras é utilizado internamente na decoração.
Sarrafo	Madeira processada mecanicamente em serrarias, possuindo múltiplas utilizações nas obras de engenharia.

(continua página seguinte)

Classificação da madeira	Características
Tábua	Madeira processada mecanicamente em serrarias, que apresenta forma retangular e dá origem a quase todas as outras peças de madeira serrada, a partir da redução de tamanho. Nas obras é utilizada internamente em estruturas de cobertura interna, pisos e escoramento e, externamente, em andaimes e fôrmas de concreto.
Caibro	Madeira processada mecanicamente em serrarias, de forma retangular e que dá origem a diversas peças. Nas obras é utilizado internamente em partes secundárias de estruturas de cobertura e pisos.
Ripa	Madeira processada mecanicamente em serrarias, sendo utilizado, nas obras, em partes secundárias de estruturas de cobertura interna.

Fonte: Dados da pesquisa

4.2 Identificação e caracterização das fontes geradoras dos resíduos

Conhecer as fontes geradoras de resíduos é muito importante para poder planejar as melhores formas de minimizar a geração desses resíduos. Nesse contexto, observa-se que os resíduos de madeira, em um canteiro de obras, podem ser gerados segundo os tipos de edificação (as edificações que utilizam madeira nas estruturas ou fechamentos, certamente, produzirão muito mais resíduos do que aquelas que utilizam alvenaria), os métodos (excesso de cortes e furos) e os meios (ferramentas e equipamentos) utilizados na realização de um serviço.

Quanto aos tipos de edificação, foi informado que tanto a construtora quanto a empresa prestadora de serviços, que elas trabalham mais com alvenaria, produzindo, dessa forma, menos resíduos. Ademais, as peças de madeira utilizadas já vêm na dimensão correta, o que não implica em excesso de cortes e furos que poderiam gerar bastante resíduos.

Durante as obras realizadas pela construtora, são utilizadas a serra circular e as furadeiras, pois, a maioria do material já vem dimensionada nas medidas necessárias para suas utilizações. Segundo o proprietário são gerados apenas resíduos pequenos. Na realização das obras, pela empresa prestadora de serviços, são utilizadas a serra fita, a serra circular, a lixadeira, a furadeira e a serra manual, gerando apenas resíduos pequenos que acabam se perdendo no local.

O Quadro 2 apresenta a caracterização da ferramenta e dos equipamentos responsáveis pela geração dos resíduos de madeira nas obras da construtora e da empresa.

Quadro 2 – Caracterização das fontes geradores de resíduos de madeira

Ferramenta e equipamentos	Características
Serra circular	Equipamento elétrico constituído de um disco de metal, utilizado para cortar madeira ou outros materiais, realizando cortes retos e transversais.
Serra fita	Equipamento elétrico constituído por uma lâmina que serra a partir de movimentos contínuos. Pode realizar cortes retos ou irregulares, tais como círculos ou ondulações.
Serra manual	Ferramenta constituída por uma lâmina de aço com dentes afiados que servem para serrar madeiras.
Furadeira	Equipamento elétrico utilizado para perfurar a madeira.
Lixadeira	Equipamento elétrico utilizado para realizar o acabamento final da superfície da madeira.

Fonte: Dados da pesquisa

4.3 Procedimentos de gestão adotados para os resíduos gerados nas organizações pesquisadas

No que se refere ao conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos gerados, a construtora informou que reaproveita os restos de madeira para uso na geração de energia e calor. Também ficou evidente a conscientização, dos proprietários da construtora, sobre a importância do reaproveitamento de resíduos, entretanto, eles enfatizaram que faltam investimentos para a realização desta prática no setor da construção civil, bem como a aceitação da população. Os proprietários manifestaram interesse em relação a um estudo de viabilidade técnica para integrar um Plano de Gerenciamento de Resíduos de Madeira.

Na empresa, os principais resíduos são gerados durante a construção e a demolição de obras. A empresa possui um PGRS, sendo que, nos canteiros de obras, os resíduos madeireiros, normalmente, são separados por tipos e dimensões, principalmente por período de execução e disponibilidade de espaço na obra. Entretanto, não é considerado o fato de os

resíduos estarem contaminados, ou não, por outros produtos. Alguns resíduos ficam armazenados em tele entulhos, para posterior descarte. Outra parte fica no próprio canteiro de obras, sendo os materiais reaproveitados para as mesmas funções, entre 3 a 5 vezes, dependendo da sua espessura e resistência.

A construtora possui um PGRS, porém, o descarte de resíduos madeireiros não é realizado separadamente. Sendo assim, os resíduos são armazenados em containers e a coleta é realizada por empresas terceirizadas, sendo, delas, a total responsabilidade, o transporte e a destinação e a disposição final ambientalmente adequada, respectivamente, dos resíduos e rejeitos. Neste sentido, tanto a empresa prestadora de serviços quanto a construtora optaram por contratar empresas terceirizadas para realizar estes serviços e não se envolvem nesse processo.

Salienta-se aqui as observações de Marques Neto e Schalch (2006), que comentam sobre a errônea ideia da não responsabilidade pelo resíduo gerado, que ocorre quando os geradores contratam os serviços de uma empresa privada de coleta, achando que a responsabilidade é transferida para os transportadores.

Nota-se um equívoco por parte da construtora e da empresa prestadora de serviços quanto as suas responsabilidades até a destinação (ou disposição) final ambientalmente adequada dos resíduos (ou rejeitos), visto que, na Lei nº 12.305, em seu Artigo 27, consta que:

a contratação de serviços de coleta, armazenamento, transporte, transbordo, tratamento ou destinação final de resíduos sólidos, ou de disposição final de rejeitos, não isenta as pessoas físicas ou jurídicas referidas no art. 20 da responsabilidade por danos que vierem a ser provocados pelo gerenciamento inadequado dos respectivos resíduos ou rejeitos (BRASIL, 2010, p. 12).

Outro elemento constatado foi que, tanto a construtora, quanto a empresa prestadora de serviços, que elas não possuem um profissional responsável pelo setor ambiental e nem programa de redução, reutilização e reciclagem de resíduos. Na pesquisa realizada também ficou constata-

do que tanto os resíduos gerados nas obras da construtora, quanto os resíduos gerados nas obras da empresa prestadora de serviços, que eles são destinados para o controle municipal de coleta e destinação de resíduos da construção civil.

A gestão dos resíduos sólidos urbanos tem que atender às exigências legais, pois visa à destinação final dos resíduos sólidos e à disposição final dos rejeitos, ambas sendo feitas de maneira ambientalmente adequada, evitando que eles sejam descartados de forma indiscriminada no meio ambiente. Cabe lembrar que, conforme a Resolução CONAMA nº 307, de 2002, os resíduos possuem tratamentos e destinações ou disposições finais de acordo com a sua classe.

De acordo com Kozak et al. (2008), os resíduos gerados em uma empresa devem ser destinados de forma que causem o menor impacto possível ao meio ambiente e à saúde pública. Os supracitados autores alertam que, os resíduos, muitas vezes, devido à falta de profissionais capacitados, são dispostos de maneira inadequada, favorecendo a degradação ambiental.

Por isso é importante os municípios terem um PMGRCC, em consonância com o PMGIRS, conforme preconiza a Resolução CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002). O PMGRCC trata-se de um documento que contém as diretrizes técnicas e os procedimentos para o exercício das responsabilidades dos pequenos e grandes geradores, os programas de informação ambiental, de fiscalização e de capacitação dos pequenos coletores, bem como o cadastro das áreas públicas, ou privadas, para recebimento do volume diário de resíduos.

5. Conclusão

O objetivo geral desta pesquisa abrangeu a análise da gestão de resíduos de madeira provenientes da construção civil, por parte de uma construtora e de uma empresa que presta serviços de construção civil, em um município do Estado do Rio Grande do Sul. De forma a alcançar o que foi proposto, foi necessário identificar e caracterizar os resídu-

os de madeira na construção civil, identificar e caracterizar as fontes geradoras dos resíduos, bem como verificar os procedimentos de gestão adotados para os resíduos gerados.

Constatou-se, nesta pesquisa, que os tipos de madeiras utilizadas nas obras da construtora são: madeira serrada *in natura*, tábuas, caibros e ripas. Nas edificações, estas madeiras são utilizadas como armação de forros e de telhados. Ademais, os resíduos destas madeiras são reutilizados na construção de escoras, fôrmas para concretagem (tetos e pisos), guias para escoramento (vigas, pilares e colunas), andaimes e tapumes de obras.

Já, os tipos de madeiras utilizadas nas obras da empresa são: madeira roliça *in natura*, madeira roliça preservada, madeira serrada *in natura*, painéis compensados de madeira, tábuas, caibro, sarrafos e ripas. Nas edificações, estas madeiras são utilizadas em elementos construtivos como escadas, aberturas, peitoris, pergolados, entre outros. Além disso, os resíduos destas madeiras são reutilizados na construção de formas para concretagem, como guias para escoramento, andaimes, tapumes de obra, contenção provisória e barraco de materiais.

Tanto na construtora, quanto na empresa, as fontes geradoras de resíduos são: a serra circular, a serra fita, a serra manual, a lixadeira e a furadeira. Como procedimentos de gestão adotados para os resíduos gerados, ambas informaram que possuem PGRS. Apesar disso, ambas informaram que não possuem um programa de redução, reutilização e reciclagem de resíduos, o que deixa na dúvida quanto ao conteúdo, ou à existência, deste plano.

O descarte dos resíduos madeireiros da construtora não é realizado separadamente, sendo estes armazenados em containers e sua coleta realizada por empresas terceirizadas. Os resíduos madeireiros da empresa, normalmente, são separados por tipos e dimensões e eles ficam armazenados em tele entulhos para posterior descarte. Porém, não é considerado o fato de os resíduos estarem ou não contaminados por outros produtos.

Quanto ao destino dos resíduos madeireiros, tanto os gerados nas obras da construtora quanto os gerados nas obras da empresa são destinados para o controle municipal de coleta e destinação de resíduos da

construção civil.

Um aspecto importante a ser ressaltado é a falta de conhecimento dos gestores e das equipes dos setores entrevistados quanto ao local e a forma como devem ser encaminhados os resíduos para disposição final, pois tanto na construtora quanto na empresa o descarte fica por conta de empresas terceirizadas. Também ficou evidente a falta de conhecimento dos gestores da construtora e da empresa quanto à forma correta de manejar os resíduos gerados nos canteiros de obras.

Logo, a capacitação e o treinamento da mão-de-obra são fundamentais para melhorar os níveis de aproveitamento de matéria-prima e, conseqüentemente, reduzir a geração de resíduos de madeira.

O conhecimento dos resíduos gerados na construção civil e o aproveitamento máximo destes têm importância tanto econômica quanto ambiental, pois o descarte inadequado dos mesmos representa uma grande perda econômica, além de causar problemas ambientais no solo, água e ar.

Ademais, a reutilização dos resíduos madeireiros da construção civil agrega valor ao produto e proporciona muitos benefícios à sociedade e ao meio ambiente, pois diminui, o volume de resíduos jogados diariamente em aterros sanitários e em locais inadequados.

Por ser um estudo multicase, os resultados aqui apresentados não podem ser generalizados, mas fica o alerta para a necessidade de os profissionais do setor da construção civil em conhecerem melhor a legislação pertinente ao gerenciamento dos RCC's, para que consigam alcançar o êxito adequado na gestão de resíduos.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos, classificação de resíduos. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº. 307, de 05 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. 2002. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, n. 136, de 17 de julho de 2002, Seção 1, p. 95-96.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº. 448, de 18 de janeiro de 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 2012.

KOZAK, P. A.; CORTEZ, A. M.; SCHIRMER, W. N.; CALDEIRA, M. V. W.; BALBINOT, R. t. Identificação, quantificação e classificação dos resíduos sólidos de uma fábrica de móveis. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 6, n. 2, p. 203-212, abr./jun. 2008.

LIMA R.S.; LIMA R. R. R. **Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil**. 1ª ed. Curitiba: CREA-PR; 2009.

MARQUES NETO, J. C.; SCHALCH, V. Diagnóstico ambiental para gestão sustentável dos resíduos de construção e demolição. In: XII SIMPÓSIO LUSOBRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2006, Porto. **Anais...** Porto: SILUBESA, 2006, v. 1, p. 1-13.

MOTA, J. C.; ALMEIDA, M. M.; ALENCAR, V. C.; CURTI, W. F. Características e impactos ambientais causados pelos Resíduos Sólidos: uma visão conceitual. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, I, 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABAS.

NOLASCO, A. M.; ULIANA, L. R. **Gerenciamento de resíduos na indústria de pisos de madeira**. Piracicaba: ANPM, 2014, 40p.

ROTH, C. G.; GARCIAS, C. M. A Influência dos Padrões de Consumo na Geração de Resíduos Sólidos Dentro do Sistema Urbano. **Redes**, v. 13, n. 3, p. 5-13, set./dez. 2008.

SANTOS, F. F.; TAMBARA, L. U. D. J; CECHIN, N. F.; ALMEIDA, V. L.; SOUSA, M. A. B. Adequação dos Municípios do Estado do Rio Grande do Sul à Legislação de Gestão de Resíduos da Construção Civil. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 4, p. 1-18, 2012.

TUOTO, M. **Levantamento sobre a geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e proposição de diretrizes para políticas, normas e condutas técnicas para promover seu uso adequado**. Projeto PNUD BRA

00/20 – apoio às políticas públicas na área de gestão e controle ambiental. Curitiba: Ministério do Meio Ambiente, 2009, 35 p.

WIECHETECK, M. **Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos.** Projeto PNUD BRA 00/20 – apoio às políticas públicas na área de gestão e controle ambiental. Curitiba: Ministério do Meio Ambiente, 2009, 40 p.

ZENID, G. J. et al. **Madeira: uso sustentável na construção civil.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, v. 2, n. 1, p. 1-103, 2009.

Capítulo 3 - Caracterização das Serrarias do Polo Madeireiro da Região da Zona da Mata de Rondônia

Sylviane Beck Ribeiro¹

Vark Marcio dos Santos Ferreira²

José Antônio Canizares Barnabé³

Resumo

A pesquisa teve por objetivo caracterizar as serrarias do Polo Madeireiro da Região da Zona da Mata, no estado de Rondônia. Na pesquisa de campo, realizada a partir de entrevistas, foi aplicado um formulário previamente estruturado com perguntas diretas e indiretas, com abordagens qualitativa e quantitativa sobre o tema investigado. Foram identificadas 10 serrarias na região. A geração de emprego é de 137 diretos e 282 indiretos. As empresas consomem em média 36.864 m³ de tora/ano e produzem 20.010 m³ de madeira processada. A produção é destinada, principalmente, ao mercado interno da região. Foram identificadas 34 espécies comercializadas, pertencentes a 21 famílias. As espécies mais importantes foram: Garapa (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macdr), Cerejeira (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macdr), Ipê (*Tabebuia* sp), Cedro Marinheiro (*Guarea silvatica* C.DC), Cumarú (*Dipteryx* sp.), Angelim (*Dinizia excelsa* Ducke.), Oiticica (*Clarisa racemosalia* Ruíz & Pav.), Breu (*Thyrsodium paraense* Huber), Peroba (*Aspidosperma*

¹Doutora em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Professora do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Campus de Rolim de Moura. E-mail: sylvianebeck@unir.br

²Engenheiro Florestal, formado pela Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Campus de Rolim de Moura. E-mail: vkmarcio@hotmail.com

³Engenheiro Florestal, formado pela Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Campus de Rolim de Moura. E-mail: barnabéjr@unir.br

polymeuron M.Arg.) e Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). Ficou constatado que 90% das serrarias adquirem estas espécies em Planos de Manejo Florestal, aprovados pelos órgãos responsáveis do Estado.

Palavras-chave: Madeira. Mercado. Processamento.

1. Introdução

A atividade de exploração madeireira em Rondônia teve início na década de 80, a partir do fluxo migratório alicerçado por projetos de colonização implantados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Neste período, vieram para o estado muitos madeireiros incentivados pela oferta gratuita de grandes áreas de terra e pela abundância de espécies de madeiras de lei, existentes nessas terras, as quais já se encontravam em processo de exaustão nas regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste.

Na década 70, já haviam surgido polos madeireiros ao longo do eixo da BR 364 e em regiões marginais que estavam em processo de colonização. Estes polos assumiram importância fundamental na economia do estado de Rondônia e de muitos municípios, com geração de emprego e renda. Com o desenvolvimento do mercado, na década de 80, o comércio madeireiro voltava-se principalmente à exportação.

Porém, com o passar dos anos, o setor começou a perder força e no início da década de 90 esbarrava na fiscalização do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), que se intensificou com a pressão internacional sobre a Amazônia. Outro problema enfrentado no período foi à escassez de madeiras de lei, principalmente de mogno (*Swietenia macrophylla* King) que era produto exclusivo de exportação para os Estados Unidos, principal consumidor da madeira rondoniense. Assim, a economia do setor madeireiro começava a ceder lugar à economia agropecuária no estado, entretanto, sempre teve sua importância econômica reconhecida.

Diante dessa nova realidade, o setor de base florestal de Rondônia passou por um profundo processo de ajuste, culminando com o fecha-

mento de uma grande quantidade de empresas, sendo que boa parte das remanescentes passou a buscar um novo perfil industrial, caracterizado por um maior grau de beneficiamento, produção em série e pela ampliação da quantidade de espécies de madeiras exploráveis (FIERO, 2003).

A produção de madeira, em toda Amazônia, ocorreu dentro do setor primário e, mesmo com a crise na década de 2000, surgiram poucas inovações tecnológicas no processo de produção da madeira, observando-se, por parte de algumas empresas, um breve investimento no setor secundário de processamento.

Segundo Lentini, Verissimo e Pereira (2005), ainda neste período, a maior parte da produção de madeira na Amazônia (63%) era comercializada como madeira bruta, atendendo, principalmente, a construção civil e apresentando pouco valor agregado.

Poucos estudos têm sido realizados com o intuito de caracterizar a indústria madeireira de Rondônia. Com o crescimento da exploração madeireira, na região, é de fundamental importância conhecer e caracterizar o polos madeireiros a nível estadual e regional, no sentido de nortear ações públicas e privadas que tenham como objetivo direcioná-los à industrialização eficiente, ou seja, diminuindo o consumo de matéria prima, possibilitando maior agregação de valor ao produto e garantindo a sustentabilidade do setor florestal.

O objetivo dessa pesquisa foi de caracterizar o polo madeireiro da Região da Zona da Mata de Rondônia, considerando as serrarias que realizam o processamento da madeira em toras.

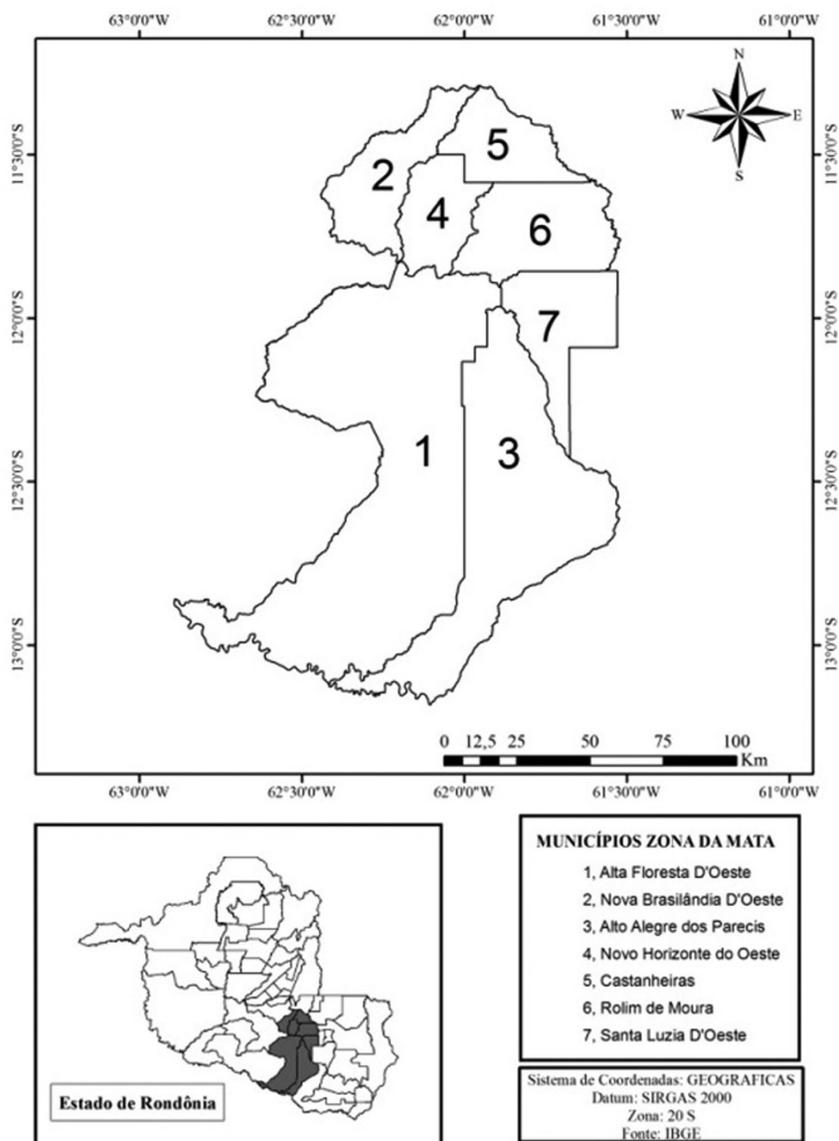
2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

A pesquisa foi conduzida na região da Zona da Mata de Rondônia, localizada ao leste do estado (Figura 1). Os municípios que compõem a região estudada são: Alta Floresta D'Oeste, Alto Alegre dos Parecis, Castanheiras, Nova Brasilândia D'Oeste, Novo Horizonte D'Oeste, Rolim de Moura e Santa Luzia. Possui área territorial de 17.120,36 km² e população de 139.000 habitantes (JANUÁRIO, 2013).

Nos municípios que compõem o polo madeireiro foram identificadas apenas 10 serrarias que realizam atividades inerentes ao processamento da madeira. Portanto, devido o número de serrarias ser pequeno, a amostragem considerada foi de 100%.

Figura 1 – Área de estudo, localizada na Zona da Mata de Rondônia



Fonte: Adaptado de Ferreira (2014, p.20)

2.2. Classificação da pesquisa e coleta de dados

Baseado no método utilizado por Pereira *et al.* (2010), na pesquisa de campo, realizada a partir de entrevistas, foi aplicado um formulário previamente estruturado, o qual era respondido, geralmente, pelo dono da serraria, que na maioria das vezes também era o gerente. O tema investigado teve abordagens qualitativa e quantitativa, considerando as seguintes perguntas diretas e indiretas:

- i) dados gerais da serraria (tipo de empresa, ano de instalação, tipo, quantidade e idade dos equipamentos de processamento da madeira, número de meses de funcionamento durante o ano, empregos gerados, processamento e floresta);
- ii) dados do proprietário (origem e experiência no setor);
- iii) consumo anual de madeira,
- iv) origem da matéria-prima,
- v) opinião pessoal sobre as principais dificuldades do setor madeireiro e os investimentos feitos recentemente na indústria;
- vi) mercado (estadual, nacional e internacional);
- vii) principais espécies e volume de madeira processados e;
- viii) preços de madeira em tora e em madeira processada.

Com o intuito de preservar a imagem das empresas e informações prestadas, as serrarias foram aqui identificadas por letras de A à J.

2.3 Análise dos dados

Os dados foram obtidos por meio do formulário e de informações complementares.

2.4 Produção mensal e anual de madeira bruta

A produção média de madeira bruta foi determinada de forma secundária, com a conversão dos volumes médios de madeira em toras processadas, em volumes médios de madeira bruta. Para tanto, foi utili-

zado o índice de conversão para madeira em toras adotado pela Portaria 441 do IBAMA, de 09/08/1989, que estabelece o rendimento de 54,28% (BRASIL, 1989). No cálculo foi utilizada a Equação 1:

$$\frac{\sum m^3 / dia \times 54,28}{100} \times 24 \text{ dias} \quad \dots (1)$$

3. Resultados

3.1 Perfil geral do polo madeireiro da Zona da Mata (RO)

Dos sete (7) municípios da Zona da Mata de Rondônia, apenas cinco (5) possuem serrarias em funcionamento. No município de Rolim de Moura tem cinco (5), totalizando 50% das serrarias do polo, seguido pelo município de Alta Floresta D'Oeste com duas (2), Castanheiras, Nova Brasilândia D'Oeste e Santa Luzia D'Oeste com uma (1) serraria cada. Os municípios de Alto Alegre dos Parecis e Novo Horizonte D'Oeste não possuem serrarias instaladas em sua área territorial.

Seguindo a classificação proposta por Pereira *et al.* (2010), o polo madeireiro da Zona da Mata encontra-se na fronteira madeireira *intermediária* da Amazônia Legal, pois 80% das serrarias foram instaladas entre 10 à 30 anos.

A tecnologia para agregação de valor à matéria prima ainda é bastante deficiente, onde 50% das serrarias fica no nível de processamento primário da cadeia produtiva e os outros 50% até o nível de processamento secundário, com o beneficiamento da madeira em forros, assoalhos, portas, portais e alizares, de forma incipiente e com pouca tecnologia no processo de produção, ou seja, sem máquinas adequadas para preparação das peças.

A Serraria G apresenta uma peculiaridade no seu sistema de processamento da madeira em toras, tratado na pesquisa como “outros processos”, sendo que tem a sua produção direcionada às demandas do mercado e suas peças são fabricadas por pedidos. Exemplificando, por ocasião da pesquisa, a serraria realizava o desdobro de toras para a fa-

bricação apenas de “paletes”, sem critério na seleção da espécie de madeira utilizada. Ainda que o mercado não exija madeira de qualidade, eram utilizadas espécies de qualidades totalmente diversas e de alto valor comercial como a Garapeira (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macdr) e a Bandarra (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). Apenas uma serraria buscava pela certificação, fato de grande importância para o setor florestal em toda a cadeia produtiva.

As empresas com mais de 20 anos possuem melhor estrutura e produzem madeira beneficiada para diferentes finalidades (forro, assoalho, portas, portais, dentre outros). As serrarias mais novas (menos de 10 anos) processam apenas madeira bruta (tábua, vigas, caibros, ripas, pranchas, entre outros), com exceção da Serraria E, instalada em Rolim de Moura, que mesmo tendo mais de 20 anos trabalha apenas no nível primário de processamento da madeira.

3.2 Geração de emprego

No total, as serrarias geram 137 empregos diretos, que são aqueles originados na linha de processamento de madeira. Os empregos indiretos, que são aqueles gerados na fase de exploração florestal, são variáveis de acordo com a época do ano.

A Serraria E apresenta o maior número de empregos diretos, sendo estes referentes a 30 postos de trabalho, que corresponde à 21,89% do total. Seguida pelas Serraria A e Serraria D, com 23 e 22 postos trabalho que correspondem, respectivamente, a 16,79% e 16,06%. O percentual restante de 45,26% está distribuído entre as Serrarias B, C, F, G, H, I, e J.

Em relação aos empregos indiretos, segundo Pereira, *et al.* (2010), a indústria madeireira na Amazônia gera em média 2,06 empregos vinculados ao setor. Já, considerando o total de empregos diretos gerados nas serrarias da Zona da Mata (RO), pode-se inferir que o setor gera em média 282,22 empregos.

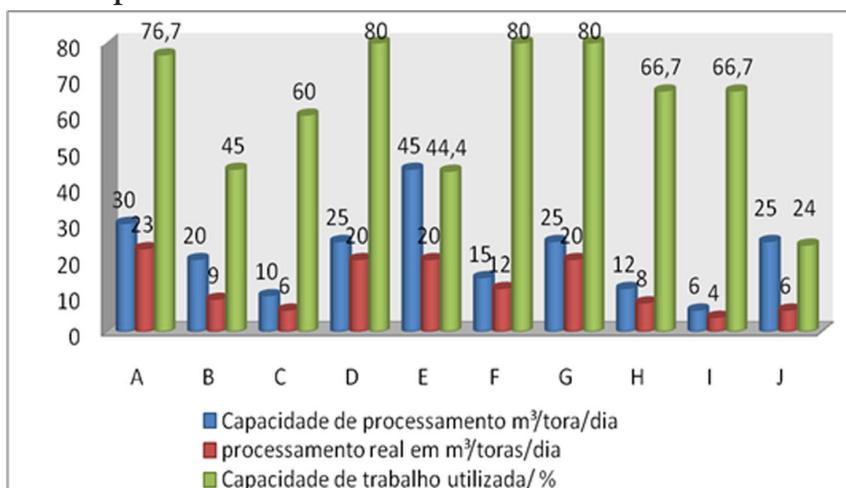
3.3 Produção de Madeira Serrada

A produção de madeira serrada corresponde ao processamento da madeira (desdobro) em toras, transformando-as em tabuas, vigas, ripas, caibros, pranchas, quadrados, réguas, dentre outros. Vale lembrar que a produção de madeira serrada é considerada como o nível primário de processamento da madeira. O nível secundário constitui-se do beneficiamento da madeira serrada (madeira bruta) em produtos mais refinados como: forros, assoalhos, portas, portais, alizar (guarnição de madeira nas ombreiras das portas ou janelas), e outros.

A Serraria A processa o maior volume de madeira, consumindo, em média, 23 m³ de toras/dia. Já as Serrarias D, E, e G processam, em média, 20 m³ de toras/dia. As Serrarias B, F, H, processam na média de 9 m³ de toras/dia, 12 m³ de toras/dia e 8 m³ de toras/dia, respectivamente.

As Serrarias C e J apresentaram a mesma média de processamento da madeira, sendo de 6 m³ de toras/dia. Por fim, com menor média de processamento, a Serraria I, com 4 m³ de tora/dia. Todas as empresas são de pequeno porte, considerando que processam menos de 50 m³ de toras/dia (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Capacidade de trabalho e de processamento de toras pelas serrarias da Zona da Mata de Rondônia.



Fonte: Ferreira (2014, p. 27)

Todas as serrarias trabalham com sua capacidade de processamento abaixo da capacidade real. Segundo os informantes, este fato ocorre devido à escassez de matéria prima, custo da produção em razão da distância das serrarias dos Planos de Manejo Florestal (PMF) e, principalmente, em razão do mercado consumidor atingido.

O polo consome uma média de 3.072 m³ de madeira em tora, por mês, e 36.864 m³, por ano. A Serraria I apresentou a menor média de consumo anual de toras (1.152 m³/ano), porém, maior que a média apresentada pelas serrarias na Amazônia em 2009. A Serraria A apresentou a maior média de consumo de toras 6.624 m³/ano, mostrando-se próximo da média encontrada por Pereira *et al.* (2010). Ainda segundo o autor (*ibidem*), em 2009 as serrarias na Amazônia consumiram entre 975 m³/ano e 6.899 m³/ano.

3.3.1 Produção mensal e anual de madeira bruta

O polo produz, em média, 1.667 m³ de madeira bruta/mês, sendo que esta produção alcança a média de 20.010 m³/ano.

A média geral de madeira bruta produzida ficou abaixo da média encontrada por Pereira *et al.* (2010), para o polo madeireiro de Alta Floresta D'Oeste (RO), em 2009, que foi de 46.000 m³/ano. Essa diferença pode ser explicada pelo fato de que o pesquisador considerou o polo Alta Floresta D'Oeste (RO) acrescido dos municípios de São Felipe e Parecis, somando ao todo 16 empresas, 37,5% a mais que o polo madeireiro pesquisado.

3.4 Otimização no processo de desdobro

A Serraria G apresentou o melhor rendimento em função do número de colaboradores, sendo que, para cada colaborador, produziu 1,43 m³ de madeira processada, apresentando o melhor aproveitamento de material humano, porém, foi inferior ao resultado encontrado por Batista, Silva e Corteletti; (2013), que foi de 5,06 m³/colaborador/dia.

Às Serrarias A, B, C e H apresentaram o rendimento, por colabora-

dor, de 1,0m³, 1,13 m³, 1,2 m³ e 1,14 m³, respectivamente. O menor índice de aproveitamento humano e otimização do processamento foi observado na Serraria J, com 0,6 m³ de madeira processada, por colaborador /dia.

3.5 Peças produzidas e comercializadas

A Tabela 1 apresenta as principais espécies florestais que passam pelo processo de beneficiamento da madeira e os produtos de madeireiros gerados.

Tabela 1 – Espécies florestais utilizadas e produtos madeireiros gerados (MB: madeira bruta; F: forro; P: portas; PO: portais; Pl: palites; Al: alizares; As: assoalho; B: beiral)

Espécie	NV	MB	F	P	PO	PI	AI	AS	B
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel)J.F.Macdr	Garapa	x	x		x	x	x	x	x
<i>Amburana acreana</i> (Ducke)A.C.Sm	Cerejeira	x	x				x	x	x
<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl.) Nichols.	Ipê		x			x		x	x
<i>Guarea trichilioides</i> L.	Cedro marinho	x	x					x	x
<i>Dipteryx</i> sp.	Cumarú	x	x				x	x	x
<i>Himonolobium</i> sp.	Angelim	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Clarisa racemosalia</i> Ruiz & Pav.	Oiticica	x	x				x	x	x
<i>Protium</i> sp	Breu	x	x				x		x
<i>Aspidosperma polymeuron</i> M.Arg	Peroba	x	x				x	x	x
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Jatobá	x	x			x	x	x	x

Fonte: Ferreira (2014, p. 28)

O Ipê Amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nichols) não é utilizado na produção de madeira bruta, sendo aproveitado apenas no nível secundário de processamento (madeira beneficiada), ou seja, na fabricação de forro, assoalho, e paletes, no caso da serraria G.

Foram identificadas 34 espécies pertencentes a 21 famílias. As principais espécies são: Garapa (*Apuleia leiocarpa* (Vogel)J.F.Macdr), Cerejeira (*Apuleia leiocarpa* (Vogel)J.F.Macdr), Ipê (*Tabebuia* sp), Cedro Marinho (*Guarea silvatica* C.DC), Cumarú (*Dipteryx* sp.), Angelim (*Dinizia excelsa* Ducke.), Oiticica (*Clarisa racemosalia* Ruiz & Pav.), Breu (*Thyrsodium paraense* Huber), Peroba (*Aspidosperma polymeuron* M.Arg.) e Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). Observou-se que 90% das serrarias adquirem estas espécies em Planos de Manejo Florestal, aprovados pelos

órgãos responsáveis do Estado de Rondônia.

Na Tabela 2 são apresentadas as principais espécies utilizadas na produção das peças pelas serrarias do polo madeireiro, sendo que a identificação das espécies foi realizada pelo engenheiro florestal responsável pelos planos de manejo das empresas.

Tabela 2 – Principais espécies utilizadas na produção das peças de madeira

Nome Comum	Nome Científico	Família
Angelim	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke .	Fabaceae
Bafo de boi	<i>Parinari excelsa</i> Sabine	Cryobalanaceae
Bandarra	<i>Schizolobium amazonicum</i>	Caesalpiniaceae
Branquilha	<i>Sebastiania</i> sp	Euphorbiaceae
Breu	<i>Thyrsodium paraense</i> Huber	Anacardiaceae
Cajú	<i>Anacardium giganteum</i> Loud	Anacardiaceae
Cambará	<i>Erisma uncinatum</i> Warm.	Vochysiaceae
Canela	<i>Nectandra cuspidata</i> Nees	Laureaceae
Catanudo	<i>Chrysophyllum</i> sp.	Sapotaceae
Caixeta	<i>Schizolobium amazonicum</i> (Huber) Ducke	Caesalpiniaceae
Cedrinho	<i>Cedrela adorata</i> L.	Meliaceae
Cedro-Marinheiro	<i>Guarea silvatica</i> C.DC	Meliaceae
Cerejeira	<i>Amburana acreana</i> (Ducke)A.C.Sm	Fabaceae
Cumarú	<i>Dipteryx</i> sp.	Fabaceae
Cupiúba	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	Goupiaceae
Formigueira	<i>Triplaris americana</i> L.	Polygonaceae
Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel)J.F.Macdr	Caesalpiniaceae
Garrote	<i>Brosimum potabile</i> Ducke	Moraceae
Guanandi	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess	Clusiaceae
Ipê	<i>Tabebuia</i> sp.	Bignoniaceae
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Caesalpiniaceae
Jequitibá	<i>Cariniana domestica</i> (Mart.) Miers	Lecythidaceae
Libra	<i>Qualea paraensis</i> Ducke	Vochysiaceae
Macanaíba	<i>Diploptropis purpurea</i> (Rich.) Amshoff	Fabaceae
Maria preta	<i>Zizyphus itacaiunensis</i> Fróes	Rhamnaceae
Matamatá	<i>Eschweilera parvifolia</i> Mart. ex DC.	Lecythidaceae
Mirindiba	<i>Buchenavia grandis</i> Ducke	Combretaceae
Oiticica	<i>Clarisa racemosalia</i> Ruiz & Pav.	Moraceae
Orelha de Macaco	<i>Parkia pendula</i> (Willd).	Mimosaceae
Pau-sangue	<i>Pterocarous amazonicus</i> Huber	Euphorbiaceae
Pequi	<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.)Pers	Caryocaraceae
Peroba	<i>Aspidosperma polymeuron</i> M.Arg.	Apocynaceae
Tamarindo	<i>Martiodendron elatum</i> (Ducke)Gleason	Caesalpiniaceae
Tauari	<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	Lecythidaceae

Fonte: Ferreira (2014, p. 38)

3.6 Comercialização da produção

Após o processamento as peças são destinadas a atender o mercado local de construção civil, empresas do setor moveleiro e importadoras. Apenas a Serraria A destina parte de sua produção ao comércio exterior. Em média, 5% de suas peças, são exportadas para a região do Caribe. O principal destino no mercado nacional é o estado de São Paulo, que recebe 80% da produção da Serraria A, 70% da Serraria D, 50 % da Serraria E e 30 % da Serraria G (Tabela 3).

Tabela 3 – Destino do produto final produzido pelo Polo Madeireiro da Zona da Mata de Rondônia

Serraria	Municipal	Regional	Estadual	Nacional	Exterior
A	10 %	5 %	-	80 %	5 %
B	100 %	-	-	-	-
C	95 %	5 %	-	-	-
D	15 %	10 %	5 %	70 %	-
E	30 %	20 %	-	50 %	-
F	60 %	40 %	-	-	-
G	-	-	70 %	30 %	-
H	80%	20 %	-	-	-
I	100 %	-	-	-	-
J	85 %	15 %	-	-	-

Fonte: Ferreira (2014, p. 40)

Somente as Serrarias D e G destinam, respectivamente, 5% e 79% de suas peças para diversos municípios do estado de Rondônia, entre os quais está a capital Porto Velho.

O mercado municipal recebe a maior parte das peças produzidas, visto que 90% das serrarias destinam entre, 10% a 100% da sua produção ao consumidor doméstico.

4. Discussão

De modo geral, o Polo Madeireiro da Zona da Mata de Rondônia

é pouco tecnológico e isso leva ao baixo desempenho operacional e ao desperdício de matéria prima. A maioria das serrarias visitadas não dispunha de máquinas voltadas ao beneficiamento da madeira, e se ocupam, principalmente, do processamento de madeira no nível primário da cadeia produtiva da madeira.

Em um estudo feito com 25 serrarias de Jarú (RO), a produção anual de madeira serrada variou de 583 m³ a 7.500 m³ (média = 3.074 m³). Essa grande variação na produção está relacionada, em grande parte, aos tipos e quantidades de máquinas de cada serraria. A serraria que produziu maior quantidade de madeira beneficiada (7.500 m³ por ano) tem duas serras de fita, enquanto que as outras têm apenas uma (MARTINS *et al.*, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2003).

Segundo Batista, Silva e Corteletti; (2013); as serrarias são, frequentemente, indústrias isoladas, com pequeno capital e manejo inadequado, além de empregarem equipamentos obsoletos e em mau estado de conservação. Os autores relatam, ainda, que em um levantamento feito no Estado do Espírito Santo, determinou-se que na maioria das pequenas serrarias, o desdobro de toras é realizado com pouco planejamento e com base na experiência dos operadores, resultando em baixo desempenho operacional e produtos de baixa qualidade. Estas características restringem o mercado das serrarias, que conseguem atender apenas a uma gama de produtos de baixo valor agregado, o que limita o sucesso econômico dos empreendimentos (CARVALHO *et al.*, 2015).

A baixa quantidade de empresas que processam e beneficiam madeira nos municípios, pode ser explicada pelo pouco investimento no setor industrial madeireiro, sendo que a intervenção, colaboração ou incentivo fiscal, por parte de órgãos governamentais, é mínimo dentro do potencial de aproveitamento industrial e geração de renda local, a partir do setor madeireiro (ANGELO; SILVA; SILVA, 2004).

Outro problema enfrentado é a falta de conhecimento a respeito das espécies utilizadas no processo, desta forma, nem sempre o insumo é destinado, de forma correta, à fabricação do produto final, havendo desperdício de madeira de boa qualidade e, conseqüentemente, queda de rendimento na produção.

Em relação às espécies mais utilizadas na fabricação das peças (Tabela 2), Oliveira *et al.* (2003) citam as mesmas espécies com maior volume comercializado de madeira serrada, em um estudo feito no Mato Grosso no período de 2004 – 2010. Pereira *et al.* (2010), em seu relatório para o IMAZON, apresentam as espécies encontradas nesta pesquisa, como as principais espécies exploradas no estuário do Rio Amazonas, que é uma região que abrange as ilhas dos Estados do Pará e do Amapá, onde predominam as florestas de várzea.

Segundo os informantes, as principais dificuldades enfrentadas pelo setor madeireiro da região estão relacionadas à aprovação dos Planos de Manejo Florestal (PMF), cujas palavras utilizadas foram: “é necessária muita força de vontade para enfrentar a burocracia e a demora por parte dos órgãos responsáveis para a aprovação dos PMFs”. Essa dificuldade é relatada por Hummel *et al.* (2010), em um estudo sobre a atividade madeireira na Amazônia brasileira.

Um instrumento que poderá ser utilizado pelas serrarias do polo é a busca da certificação florestal de seus produtos, pois tem sido cada vez mais cobrado pelos importadores brasileiros e internacionais. O selo de certificação atesta a origem do produto e garantia de consumo sem culpa sobre os recursos naturais (PEREIRA *et al.*, 2010).

5. Conclusão

•O polo madeireiro é composto de 10 serrarias que estão distribuídas em 5 municípios, onde 50% das indústrias concentra-se no município de Rolim de Moura, O restante, divide-se entre os municípios de Alta Floresta D’Oeste, Nova Brasilândia D’Oeste, Castanheiras e Santa Luzia, com 10% cada.

•O polo pertence à fronteira madeireira de exploração intermediária na Amazônia, considerando que as serrarias tem entre 10 a 30 anos de instalação.

•O setor madeireiro da área em estudo gera, no total, 137 empregos diretos e 282,22 empregos indiretos.

•As 10 serrarias consomem uma média de 3.072 m³ de madeira em tora por mês e 36.864 m³ por ano, produzindo, em média, 1.667 m³ de madeira bruta/mês, sendo que esta produção alcança a média de 20.010 m³ ao ano.

•As serrarias não apresentam uma boa produção em m³/colaborador, sendo o melhor desempenho 1,43 m³/colaborador/dia, distante da média encontrada em outros estudos que foi de 5,06 m³/colaborador/dia.

•O Polo Madeireiro da Zona da Mata Rondônia é pouco tecnológico. A maioria das serrarias visitadas não dispunha de máquinas específicas para o beneficiamento da madeira.

•O setor madeireiro estudado apresenta um perfil doméstico, onde os comércios municipal e regional são praticado com mais intensidade. Apenas uma empresa pratica o comércio exterior.

•As empresas não possuem certificação. Apenas uma empresa, serraria A instalada em Alta Floresta D'Oeste, busca pela certificação, estando o processo em fase final.

•Foram identificadas 34 espécies pertencentes a 21 famílias, sendo que 90% das serrarias adquirem estas espécies em Planos de Manejo Florestal, que são aprovados pelos órgãos responsáveis do Estado.

•A falta de instruções técnicas no processamento da madeira acarreta, em alguns casos, no baixo rendimento ou na utilização inadequada da matéria prima (madeira). Uma possibilidade para sanar o problema seria o desenvolvimento de um convênio entre as serrarias e o Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Rondônia.

Referências

ANGELO, H.; SILVA, G. F.; SILVA, V. S. M. Análise Econômica da Indústria de Madeiras Tropicais: O caso do polo de SINOP, MT. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 91-101, 2004.

BATISTA D. C.; SILVA, J. G. M.; CORTELETTI, R. B. Desempenho de uma Serraria com Base na Eficiência e na Amostragem do Trabalho. *Floresta e Ambiente*, v. 20, n. 2, p. 271-280, 2013.

BRASIL. Portaria 441, de 09 de agosto de 1989. *Diário Oficial* [da

República Federativa do Brasil], Brasília, v.127, n.153, p.13.665, 11 ago. 1989. Seção 1.

CARVALHO, F. P.; VIRGENS, A. P.; ARAGÃO, M. A.; LOUREIRO, T. C.; CUNHA, D. V. P. Disposição final dos Resíduos Sólidos de Serrarias de Vitória da Conquista -BA. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.21, 2015.

FERREIRA, V. M. S; **Caracterização do Polo Madeireiro da Região da Zona da Mata (RO): o caso das serrarias**. 2014. 55p. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). Fundação Universidade Federal de Rondônia, Rondônia. 2014.

FIERO - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE RONDÔNIA –; SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS-SEBRAE/RO. **Perfil socioeconômico industrial de Rondônia**. Porto Velho, 2003. Disponível em: <http://www.fiero.org.br/downloads/anexos/ro_perfil_socioeco_industrial_2003.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2014.

HUMMEL, A. C.; SILVA, M. V. A.; PEREIRA, D.; VERÍSSIMO, A. V; SANTOS, D. **A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados**. Serviço Florestal Brasileiro, Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. Belém, PA: Serviço Florestal Brasileiro (SFB); Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon), 2010. 28p.

JANUÁRIO, M., L. **Rolim de Moura: uma viagem no tempo**. Rolim de Moura. p. 52-53. 2013.

LENTINI, M; VERISSIMO, A; PEREIRA, D. **A expansão madeireira na Amazônia**. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, IMAZOM, 2005.

PEREIRA, D.; SANTOS, D; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J; VERÍSSIMO, A.; **Fatos florestais da Amazônia** – Belém, PA: Imazon, 2010. 122p.

MARTINS, E. P.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; VIEIRA, A. H.; LOCATELLI, M.; PEQUENO, P. L. L.; **Diagnóstico das serrarias e das fábricas de lâminas e compensados do Município de Jaru, Estado de Rondônia**. Porto Velho: **EMBRAPA CPAF** - Rondônia, 2002. 16 p.

OLIVEIRA, A. D; MARTINS, E.P; SCOLFORO, J.R.S; REZENDE, J.L.P; SOUZA, A. N. S; **Viabilidade econômica de serrarias que processam madeira de florestas nativas – o caso do município de Jaru, Estado de Rondônia**. **Revista Cerne**, V.9, N.1, p.001-015, 2003.

Capítulo 4 - Estudo Geotécnico de Solos Eólicos para Aplicação em Estradas Rurais Não Pavimentadas e Confecção de Tijolos Artesanais

Luciéle Bilhalva Campagnolo¹

Wilber Feliciano Chambi Tapahuasco²

Filipe Ribeiro de Almeida³

Guilherme Castro da Costa⁴

Resumo

O objetivo do trabalho é estudar o melhoramento geotécnico sustentável dos solos eólicos, visando sua utilização na construção e manutenção de estradas rurais não pavimentadas e na confecção de tijolos artesanais. Para isto, foram coletadas amostras de solos de dois locais afetados pela arenização, inseridas na área rural da região da Campanha do Estado do Rio Grande do Sul. Em laboratório foram realizados ensaios de Granulometria, Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade, Massa Específica dos Grãos, Compactação Dinâmica pelo método Proctor, Análises do Potencial de Hidrogênio, Resistência à Compressão Simples, Expansibilidade e Índice de Suporte de Califórnia (ISC). Com o intuito de melhorar as propriedades geotécnicas dos solos eólicos, os mesmos foram tratados com a adição de cimento, cal hidratada, solo fino, cinza da casca de arroz (CCA) e sílica da casca de arroz (SCA). As

¹Acadêmica em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: campagnolo.lu@gmail.com

²DSc. Professor do curso de graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: wilbertapahuasco@unipampa.edu.br

³Acadêmico em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: fii1995@hotmail.com

⁴Acadêmico em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: guilhermecosta.aluno@unipampa.edu.br

misturas de *solo eólico-solo fino-cal hidratada* e *solo eólico-solo fino-CCA*, nas proporções de 75%-25%-0%, 80%-20%-0%, 85%-15%-0%, 75%-20%-5%, 80%-15%-5% e 85%-10%-5%, mostraram-se apropriadas apenas para utilização em subleito e reforço de subleito de estradas rurais não pavimentadas. O melhor resultado foi obtido com o tratamento 75%-20%-5% da mistura *solo eólico-solo fino-cal hidratada*, que apresentou valor de ISC acima de 20%, sendo apto para aproveitamento em camadas de sub-base de estradas. Entretanto, as misturas *solo eólico-cimento-SCA*, trabalhadas nas proporções de 88%-12%-0%, 80%-10%-10% e 80%-12%-8%, apresentaram valores de resistência à compressão simples acima de 2,0 Mpa, valor mínimo sugerido pela norma ABNT NBR 8491/12, estando apropriados para a confecção de tijolos de solo-cimento. Ademais, concluiu-se que a adição de materiais alternativos nos solos eólicos possibilita o seu aproveitamento para fins de construção e manutenção de estradas rurais não pavimentadas.

Palavras-chave: Solo eólico. Melhoria de solos. Estradas rurais não pavimentadas.

1. Introdução

O processo de arenização eólica tem sua ocorrência verificada na região da Campanha do Rio Grande do Sul, gerando áreas sem vegetação e sem capacidade de utilização na agricultura, motivado, principalmente, por fatores naturais como o vento, topografia, clima, relevo, sendo intensificado pelo uso e manejo inadequados dos solos da região.

Conforme destacado por Mósena (2008), é possível dizer que os efeitos das áreas degradadas pela arenização extrapolam os limites do ambientalismo, transformando-se em problemas socioeconômicos, implicando perdas na produtividade agropecuária. Sabendo que, o setor agrícola tem importância relevante para a economia da região, ressalta-se a necessidade de estudar alternativas que minimizem os efeitos negativos das áreas arenizadas.

Outra problemática que afeta os municípios da região da Campanha do Rio Grande do Sul são as condições precárias da malha viária rural, apresentando problemas estruturais, de funcionalidade, segurança e trafegabilidade. De acordo com o Ministério de Infraestrutura (BRASIL, 2020), ao todo, são 1.563,6 mil quilômetros de malha rodoviária no país, sendo que mais de 85% não são pavimentadas. No âmbito Municipal as estradas não pavimentadas podem representar 100% da malha rural, situação característica dos municípios da Região da Campanha no Estado do Rio Grande do Sul. As estradas do interior dos municípios são de grande importância para o setor agropecuário, pois é a partir delas que é feito o escoamento dos produtos agrícolas para os centros urbanos.

Na visão de Fontenele (2001) e Demarchi et al. (2003), a malha viária rural de qualquer país tem importância vital para sua economia, e as condições de sua infraestrutura são primordiais, pois são responsáveis pelo escoamento da produção agrícola e pela integração entre o campo e a cidade. Contudo, o problema nacional referente à malha rodoviária não se resume na grande extensão de vias não pavimentadas, mas sim nas condições deficientes de trafegabilidade das mesmas.

Segundo Senço (2001), os métodos de estabilização de solos, para uso em edificações de estradas, são a compactação, a correção granulométrica e a adição de estabilizante químico. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2000), a utilização de cimento como aditivo é a mais indicada para a estabilização de solos arenosos, pois os mesmos estabilizam-se com menores quantidades de cimento, porém, é necessária a presença de argila na sua composição, visando dar a mistura coesão suficiente, quando esta for umedecida e compactada. A CCA e a SCA, por sua disponibilidade de extração na região da Campanha do Rio Grande do Sul, mostram-se como materiais alternativos no processo de estabilização de solos.

Behak (2007) comenta que a adição de CCA altera as propriedades físicas e mecânicas de solos arenosos ou areno-siltosos, proporcionando melhorias na sua plasticidade, resistência, tensão-deformação e durabilidade.

Já Gomes e Marton (2015) concluíram que a adição e/ou substituição do cimento Portland pela SCA pode ser considerada uma solução de grande impacto na sustentabilidade, sendo seus benefícios não somente relacionados ao processo de geração de energia alternativa, mas também a diminuição do consumo de cimento Portland e maior durabilidade dos concretos.

Com o intuito de propor alternativas sustentáveis que visem reduzir os impactos negativos ocasionados pelos areais aos proprietários rurais, este trabalho, teve por objetivo estudar o melhoramento geotécnico sustentável dos solos eólicos, visando sua utilização na construção e manutenção de estradas rurais e na confecção de tijolos artesanais. Dessa forma, o estudo mostra os resultados de laboratório referente à melhoria de solos eólicos sob adição de solo fino, adição de cimento, cinza de casca de arroz e sílica de casca de arroz.

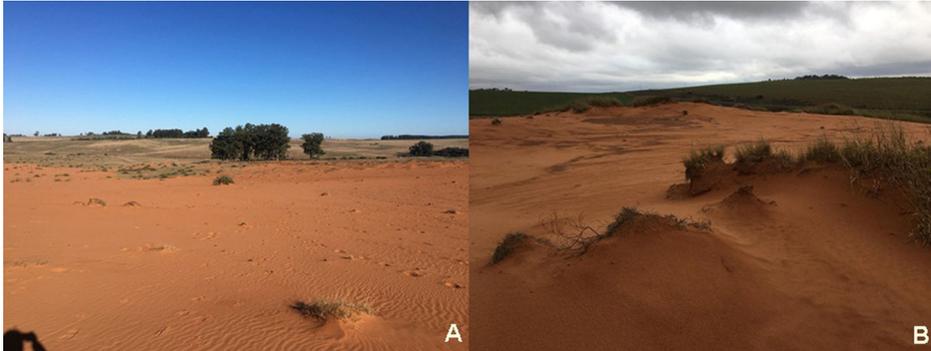
2. Metodologia

2.1 Áreas de estudo

As áreas de estudo que compreenderam as coletas de amostras dos solos eólicos estão localizadas no Sudoeste do Rio Grande do Sul. A primeira está situada no município de Alegrete, no subdistrito do Durasnal, nas coordenadas 29°54'44.6"S e 55°29'11.1"O. A segunda área está localizada no município de Manoel Viana, nas coordenadas 29°35'31.14"S e 55°22'3.76"O.

As amostragens foram realizadas através da abertura manual de poço, sendo realizadas duas sondagens em cada área de estudo. Nos pontos de coleta, inicialmente, foram realizadas a limpeza e a retirada de materiais contaminados, seguidamente da coleta de amostras e acondicionamento destas em sacos plásticos. As retiradas de amostras dos solos eólicos compreenderam entre 0,5 a 1 m de profundidade. Na Figura 1 é possível observar as características visuais das áreas de arenização, que estão altamente degradadas.

Figura 1 – Áreas de depósitos de arenização:
A) Durasnal; B) Manoel Viana



Fonte: Os autores (2018)

De acordo com Embrapa (2006), os solos eólicos da região são classificados como Neossolos Quartzarênicos Órticos. Suertegaray (2011) destaca que são solos novos e frágeis, pouco desenvolvidos, altamente suscetíveis à erosão hídrica e, quando expostos, à erosão eólica. A cobertura vegetal original é caracterizada de acordo com o bioma Pampa, com gramíneas de vegetação rasteira e pequenos arbustos, porém, a perda de nutrientes e a mobilização dos sedimentos dificultam a continuidade da pedogênese e a fixação da vegetação, resultando em areais.

O areal, localizado no subdistrito do Durasnal, não apresenta proposta de recuperação e possui uma extensa área arenizada. Devido aos poucos recursos econômicos dos proprietários, apenas cresce no local algumas plantas arbustivas. Já no areal de Manoel Viana, sob acompanhamento e participação dos alunos do curso de graduação em Engenharia Agrícola da Unipampa-IFF⁵, a recuperação está sendo aplicada através da utilização de rotação de culturas. Assim, foi possível recuperar a camada de solo que sofreu erosão, possibilitando a sua utilização na agricultura, além de minimizar o avanço da arenização.

Com o intuito de corrigir a granulometria dos solos eólicos, buscou-se adicionar um solo de textura predominantemente fina, envolvendo material passante na peneira nº 200 acima de 50% em peso. Para

⁵ O curso de Engenharia Agrícola é promovido pela parceria entre a Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) campus Alegrete e Instituto Federal Farroupilha (IFFarroupilha) campus Alegrete.

isso, foram pesquisadas diversas áreas de empréstimo e jazidas em busca deste tipo de solo.

A partir da pesquisa de campo foi possível localizar e selecionar a jazida para extração do solo fino, a qual está localizada no subdistrito do Caverá, município de Alegrete/RS. Para a coleta das amostras foram realizadas, no próprio local, duas escavações manuais em pontos distintos. Após a limpeza das superfícies, as escavações foram executadas e as amostras de solos finos extraídas, em intervalos de 30 a 60 cm de profundidade. A Figura 2 mostra a etapa de amostragem dos solos finos.

Figura 2 – Jazida e coleta de amostras de solo fino em Alegrete/RS



Fonte: Os autores (2019)

Para fins de identificação, os solos finos coletados foram denominados simbolicamente como SF1 e SF2. A coleta do solo SF1 ocorreu nas coordenadas 29°50'21.82"S e 55°47'6.22"O, já para o solo SF2, as coordenadas do local de extração são 29°50'22.2"S e 55°47'07.5"O.

2.2 Materiais alternativos utilizados

A CCA foi obtida em uma indústria arroseira local, no município de Alegrete/RS. Para sua utilização foi preciso realizar a uniformização do tamanho de partículas através de um moinho de facas tipo Willey, disponibilizado no laboratório de Bromatologia do Instituto Federal Farroupilha – Campus Alegrete. A peneira utilizada para realizar a moa-

gem teve abertura de furos de 0,15mm de diâmetro. Na Tabela 1 é apresentado o laudo técnico da CCA utilizada, realizado no departamento de solos da UFRGS no ano 2018.

Tabela 1 – Componentes químicos e características da CCA

Cinza de Casca de Arroz	
pH	9,9
Carbono Orgânico (%)	5,6
Nitrogênio (%)	0,02
Fósforo (%)	0,13
Potássio (%)	0,88

Fonte: Adaptado de UFRGS (2018)

A SCA foi obtida em uma indústria arroseira local, no município de Alegrete/RS, onde o material foi extraído a partir da queima em leito fluidizado. Por questões de anonimato o nome da empresa não será divulgado nesta publicação.

De acordo com Gomes e Marton (2015), este tipo de combustão melhora não somente a eficiência da queima, mas também permite a extração da SCA com qualidade constante, alto grau de amorficidade e, consequentemente, aumento da pozolanicidade. A sua utilização pode ocorrer como adição e/ou substituição parcial do cimento nas dosagens de concretos e argamassas.

A Tabela 2 mostra as propriedades químicas que caracterizam a sílica de casca de arroz.

Tabela 2 – Composição química da Sílica de Casca de Arroz (SCA)

Componente Químico	SCA*
Dióxido de Silício – SiO ₂	91,48%
Óxido de Cálcio – CaO	0,36%
Óxido de Magnésio – MgO	0,32%
Óxido de Ferro – Fe ₂ O ₃	0,05%
Óxido de Alumínio – Al ₂ O ₃	0,00%
Óxido de Sódio – Na ₂ O	0,04%
Óxido de Potássio – K ₂ O	1,40%
Óxido de Manganês – MnO	0,32%
Anidrido Sulfúrico – SO ₃	0,15%
Pentóxido de Difósforo – P ₂ O ₅	0,45%

Fonte: Adaptado de Marangon (2013)

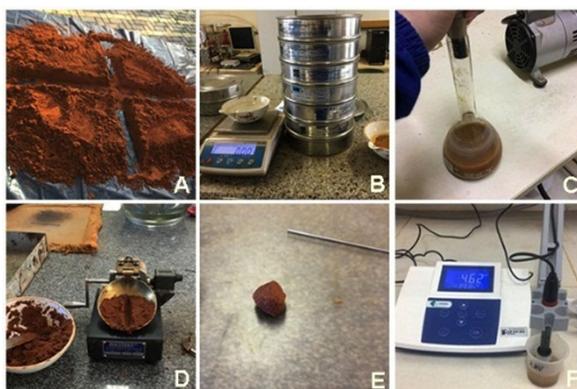
Outro material alternativo utilizado foi o cimento *Portland* CP V. Segundo Grande (2003), esse tipo de cimento apresenta rapidez no ganho de resistência após um curto período de tempo. Finalmente, a Cal Hidratada utilizada na pesquisa foi a CH-II, a qual atende aos requisitos impostos pela NBR 7175 (ABNT, 2003).

2.3 Ensaios de caracterizações e melhoramento geotécnico

Inicialmente, com o intuito de conhecer as características geotécnicas dos solos eólicos e dos solos finos, foram executados ensaios de granulometria por peneiramento, sob metodologia da norma NBR 7181 (ABNT, 2016); realização dos ensaios de limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP), conforme as metodologias das normas NBR 6459 (ABNT, 2016) e NBR 7180 (ABNT, 2016). Também, seguindo as orientações da ASTM D 854 (2014), foram executados, pelo método do picnômetro, ensaios de massa específica dos grãos dos solos.

Além dos ensaios de caracterização geotécnica, foram realizadas análises do potencial hidrogeniônico “pH” nas amostras coletadas de solos eólicos, sendo, para isso, utilizadas as orientações do Manual de Análise de Solo-Embrapa (EMBRAPA, 1997). Na Figura 3 mostra-se os ensaios laboratoriais executados nas amostras de solos eólicos e solos finos.

Figura 3 – Ensaios laboratoriais em amostras de solos eólicos e solos finos



Legenda: (A) Preparação de amostras; (B) Ensaio de Granulometria; (C) Massa Específica dos Grãos; (D) Limite de Liquidez; (E) Limite de Plasticidade; (F) Ensaio pH.

Fonte: Os autores (2019)

Visando propor alternativas de utilização dos solos eólicos para fins de utilização em estradas rurais não pavimentadas, foram trabalhadas misturas de Solo eólico-Solo fino-Cal, Solo eólico-Solo fino-CCA. Além disso, objetivando a confecção de tijolos artesanais, foram estudadas as misturas Solo eólico-Cimento-SCA. As diversas proporções das misturas utilizadas podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Proporções das Misturas do solo eólico com estabilizantes

TRATAMENTOS	MISTURAS	PROPORÇÕES
T1	Solo eólico MV + SF1	75% - 25%
T2	Solo eólico MV + SF1	80% - 20%
T3	Solo eólico MV + SF1	85% - 15%
T4	Solo eólico MV + SF1 + CH	75% - 20% - 5%
T5	Solo eólico MV + SF1 + CH	80% - 15% - 5%
T6	Solo eólico MV + SF1 + CH	85% - 10% - 5%
T7	Solo eólico MV + SF2	75% - 25%
T8	Solo eólico MV + SF2	80% - 20%
T9	Solo eólico MV + SF2	85% - 15%
T10	Solo eólico MV + SF2 + CCA	75% - 20% - 5%
T11	Solo eólico MV + SF2 + CCA	80% - 15% - 5%
T12	Solo eólico MV + SF2 + CCA	85% - 10% - 5%
T13	Solo eólico DU + Cimento	88% - 12%
T14	Solo eólico DU + Cimento + SCA	80% - 10% - 10%
T15	Solo eólico DU + Cimento + SCA	80% - 12% - 8%

Legenda: DU – Solo eólico do Durasnal, MV – Solo eólico de Manoel Viana, CH – Cal Hidratada, SF1 – Solo Fino, SF2 – Solo Fino, CCA – Cinza da Casca de Arroz e SCA – Sílica de Casca de Arroz.

Fonte: Os autores (2019)

Utilizando as metodologias das normas NBR 12023 (ABNT, 2012) e NBR 7182 (ABNT, 2016), foram confeccionados corpos de prova para diferentes teores de umidade, sendo, para isso, utilizado o método de compactação dinâmica Proctor. Os corpos de prova foram moldados para duas situações, de 10 cm de diâmetro por 12,7 cm de altura para ensaios de resistência à compressão simples, de 15,24 cm de diâmetro por 11,43 cm de altura para ensaios de expansibilidade e Índice de Suporte de Califórnia.

O uso de vários teores de umidade possibilitou desenhar as curvas de compactação de cada mistura e, conseqüentemente, a determinação

dos parâmetros de massa específica seca máxima e teor de umidade ótimo. Quanto à Energia de compactação, utilizou-se a energia normal para os tratamentos de T1 a T13 (Tabela 3), diferentemente, no T14 e T15 os corpos de prova foram compactados sob energia modificada (maior carga).

Após compactação, os corpos de prova confeccionados passaram por um processo de cura, com intervalo mínimo de 7 dias. Seguidamente, foram submetidos a ensaios de resistência à compressão simples, expansibilidade e Índice de Suporte de Califórnia.

Os ensaios de resistência à compressão foram executados sob metodologia da norma NBR 12025 (ABNT, 2012). Para isso, foi utilizada a prensa uniaxial Instron/Hvl5595. A aplicação e movimentação da carga ocorreu de forma lenta e só foi cessada após ultrapassar um valor máximo, implicando estabilização ou diminuição do carregamento. Na Figura 4 são destacadas parte das atividades dos ensaios de compactação (*a*), acondicionamento dos corpos de prova (*b*) e de resistência à compressão simples (*c* e *d*).

Figura 4 – Ensaios de compactação e resistência à compressão simples



Fonte: Os autores (2019)

A Figura 5 mostra detalhes dos ensaios de expansibilidade (a), condição de drenagem (b) e ensaio ISC.

Figura 5 – Ensaio de expansibilidade e de Índice de Suporte de Califórnia



Fonte: Os autores (2019)

Na execução dos ensaios de expansibilidade e de ISC foram seguidas as orientações da Norma NBR 9895 (ABNT, 2016). Dessa forma, após processo de cura, os corpos de prova foram imersos em água durante 4 dias, monitorando-se possíveis expansões. Seguidamente, foram submetidos à drenagem por 15 minutos. Posteriormente, foram colocados em uma prensa de ISC, onde foi determinada a resistência à penetração. Para as misturas *solo eólico DU-cimento-sílica de casca de arroz* não foram executados ensaios de expansibilidade e nem ISC, isso por objetivarem seus tratamentos para fins de confecção de tijolos artesanais.

3.Resultados e Discussão

Na Tabela 4 (página seguinte) são mostrados os resultados dos ensaios de caracterização geotécnica executados nos solos eólicos e solos finos.

Tabela 4 – Caracterização geotécnica dos solos eólicos e solos finos

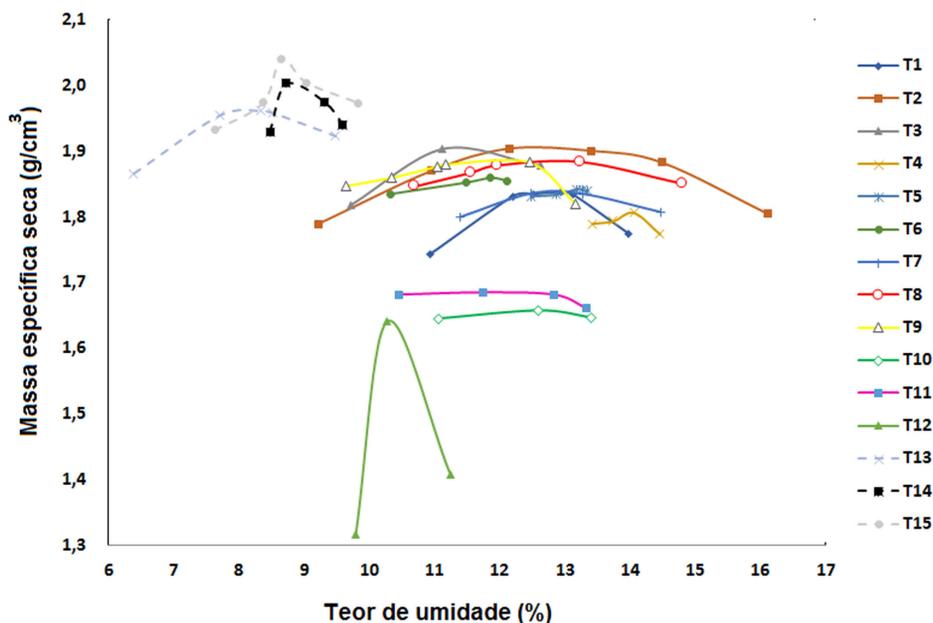
Caracterização	Solo eólico Manuel Viana	Solo eólico Durasnal	Solo fino SF1	Solo fino SF2
Areia ($P_{R\#200}$)	96	96	30	40
Finos ($P_{P\#200}$)	4	4	70	60
Cc	1,20	1,3	-	-
Cu	2,3	3	-	-
LL %	-	-	70	49
LP %	-	-	38	29
Massa específica dos grãos (g/cm^3)	2,80	2,80	2,70	2,70
pH	4,5	4,5	-	-
Classificação SUCS	Areia mal graduada	Areia mal graduada	Silte elástico arenoso	Argila pouca plástica arenosa

Fonte: Os autores (2019)

Pelos resultados apresentados na Tabela 4, observa-se que os solos eólicos de Manoel Viana e de Durasnal são de texturas similares, caracterizados por ter 96% de areia, 4% de solos finos e, com coeficiente de uniformidade “Cu” < 5. Também constatou-se a falta de consistência desses solos (coesão), uma vez que não apresentaram LL e nem LP. Segundo a metodologia USCS (ASTM, 2017) os solos eólicos dos locais estudados podem ser classificados de areia uniforme mal graduada (SP). Quanto aos solos finos, embora coletados de uma mesma área de empréstimo, estes apresentaram características geotécnicas distintas (Tabela 4), sendo classificados como silte elástico arenoso para o solo SF1 e, argila pouca plástica arenosa para o solo SF2. Finalmente, os potenciais hidrogeniônicos (pH) medidos mostram que os solos eólicos são muito ácidos (<5), tornando-os não férteis e carentes de nutrientes, sem ou de escassa vegetação.

A execução dos ensaios de compactação, para as diversas misturas estudadas (Tabela 3), possibilitou confeccionar as curvas de compactação, sendo mostradas no Gráfico 1. Desta forma, constata-se que as misturas que apresentaram massas específicas mais elevadas correspondem aos tratamentos de solos eólico – cimento (T13: 88%-12%) e solo eólico-cimento-sílica de casca de arroz (T14: 80%-10%-10%, T15: 80%-12%-8%). Já as misturas que envolveram adição de CCA, se comparadas às demais misturas, apresentaram curvas de compactação com menores valores de massas específicas.

Gráfico 1 – Curvas de compactação de solos eólicos tratados



Fonte: Os autores (2019)

Na Tabela 5 (página seguinte) são apresentados os parâmetros das curvas de compactação, correspondentes às misturas estudadas, tais como a massa específica seca máxima e o teor de umidade ótima. Além disso, também são mostrados valores dos resultados dos ensaios de Expansão e ISC. Destaca-se, novamente, que diferente da energia normal de compactação utilizada nos tratamentos T1 a T13, no T14 e T15 os corpos de prova foram compactados sob energia modificada (maior carga). Entretanto, devido a inconvenientes na execução dos ensaios de expansibilidade, correspondentes aos tratamentos T7, T8, T9, T10, T11 e T12, os resultados obtidos foram desconsiderados para fins deste trabalho.

Tabela –5 Parâmetros de ensaios geotécnicos em misturas de solos eólicos

TRATAMENTO		D_d (g/cm ³)	w (%)	Expansão (%)	ISC (%)
T1	Solo eólico MV + SF1 (75% - 25%)	1,83	13	0,91	8,09
T2	Solo eólico MV + SF1 (80% - 20%)	1,90	12,5	0,06	7,54
T3	Solo eólico MV + SF1 (85% - 15%)	1,87	11,4	0,06	8,09
T4	Solo eólico MV + SF1 + CH (75%-20%-5%)	1,80	14	0,07	35,46
T5	Solo eólico MV + SF1 + CH (80%-15%-5%)	1,84	13,2	0,17	13,75
T6	Solo eólico MV + SF1 + CH (85%-10%-5%)	1,86	11,8	0,04	18,31
T7	Solo eólico MV + SF2 (75% - 25%)	1,84	12,90	-	6,4
T8	Solo eólico MV + SF2 (80% - 20%)	1,89	12,89	-	9
T9	Solo eólico MV + SF2 (85% - 15%)	1,89	12,10	-	14
T10	Solo eólico MV + SF2 + CCA (75%-20%-5%)	1,66	12,49	-	10
T11	Solo eólico MV + SF2 + CCA (80%-15%-5%)	1,69	12	-	10
T12	Solo eólico MV + SF2 + CCA (85%-10%-5%)	1,64	10,30	-	7
T13	Solo eólico DU + Cimento (88% - 12%)	1,96	8	-	-
T14	Solo eólico DU + Cimento + SCA (80%-10%-10%)	2,01	8,7	-	-
T15	Solo eólico DU + Cimento + SCA (80%-12%-8%)	2,04	8,7	-	-

Legenda: DU – Solo eólico do Durasnal, MV – Solo eólico de Manoel Viana, CH – Cal Hidratada, SF1 – Solo Fino, SF2 – Solo Fino, CCA – Cinza da Casca de Arroz e SCA – Silica de Casca de Arroz

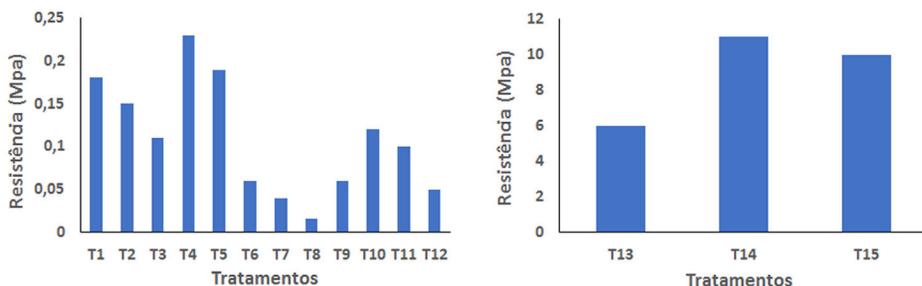
Fonte: Os autores (2019)

Conforme observado na Tabela 5, os tratamentos da mistura *solo eólico MV- solo fino SF1 – Cal Hidratada*, se comparados aos tratamentos das outras misturas estudadas, apresentaram maiores valores de ISC. Além disso, por apresentar ISC > 20%, o tratamento 75%-20%-5% da mistura *solo eólico MV-solo fino SF1-cal hidratada* cumpriu com as exigências do DNIT (2006), tornando-se viável para aproveitamento em camadas de sub-base de rodovias. De forma geral, todos os tratamentos das misturas *solo eólico-solo fino-cal hidratada* e *solo eólico-solo fino-CCA*, por apresentarem ISC acima de 2%, podem ser aproveitados na construção e manutenção de camadas de subleito e reforço de subleito de estradas rurais não pavimentadas.

O Gráfico 2 mostra, de forma esquemática, os resultados dos ensaios de resistência à compressão simples, correspondentes às misturas citadas na Tabela 3. Neste é possível observar que os tratamentos das misturas que compreendem de T1 até T12, estudadas para fins de aplicação em estradas rurais, apresentaram valores de resistência abaixo de 0,5 Mpa, correspondendo ao tratamento T4 (Solo eólico MV-SF1 – CH:

75%-20%-5%) o valor máximo de 0,23 Mpa e, para o tratamento T8 (Solo eólico MV - SF2: 80% - 20%) o valor mínimo de 0,015 Mpa. De forma geral, a adição de cal hidratada e cinza de casca de arroz nas misturas de *solo eólico-solo fino* não representaram ganhos significativo de resistência à compressão simples.

Gráfico 2 – Resistência à compressão simples em misturas de solos eólicos



Fonte: Os autores (2020)

Ainda é possível notar, no Gráfico 2, que os tratamentos de areia eólica estabilizados com cimento e sílica de casca de arroz (T13, T14 e T15) apresentaram valores de resistência acima de 5 Mpa, mostrando-se aceitáveis para fins de fabricação de tijolos artesanais. Pela norma NBR 8491 (ABNT, 2012) as misturas solo-cimento para fins de confecção de tijolos maciços devem apresentar resistência à compressão simples acima de 2 Mpa.

4. Conclusão

Os solos eólicos da região da Campanha do Estado do Rio Grande do Sul, estudados nesta pesquisa, se caracterizam por ter coeficiente de uniformidade (Cu) menor que 5, sendo classificados pelo USCS como areias mal graduadas (SP).

Por apresentarem resistência acima de 2,0 Mpa, valor mínimo exigido pela norma NBR 8491/12, as misturas solo eólico-cimento e solo eólico-cimento-sílica de casca de arroz, apresentam-se viáveis para con-

fecção de tijolos maciços. Com isso é possível viabilizar outros testes, tais como absorção de água e ultrassom.

Tomando como referência os resultados dos ensaios de ISC e ensaios de resistência à compressão simples, a adição de CCA e cal hidratada nas misturas *solos eólicos - solos finos*, não representaram melhorias geotécnicas significativas. Apenas o tratamento 75%-20%-5% da mistura *solo eólico MV-solo fino SF1-cal hidratada* cumpriu com as exigências do DNIT (2006), tornando-se viável para aproveitamento em camadas de sub-base de rodovias. Quanto às outras misturas, pelos seus valores de ISC sob compactação Proctor Normal, somente poderiam ser aplicadas na construção e manutenção de camadas de subleito e reforço de subleito de estradas rurais não pavimentadas.

Quanto à viabilidade sustentável do estudo, destaca-se a possibilidade do aproveitamento de solos eólicos para fins de edificações. O uso da sílica de casca de arroz mostrou-se satisfatório para utilização em melhoria de solos. Já o uso da casca de arroz não apresentou relevância significativa no estudo de caso.

Referências

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais.** Boletim Técnico BT-111. São Paulo, 2000. 19 p.

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento com utilização de prensas manuais.** São Paulo: ABCP, 2000.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175.** Cal hidratada para argamassas – Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 8491.** Tijolo maciço de solo-cimento - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 12023.** Solo-cimento – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 12025.** Solo-cimento - Solo-cimento — Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 6459**. Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7180**. Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7181**. Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7182**. Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 9895**. Índice de suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer**. ASTM D 854. Estados Unidos. 2014.

ASTM – American Society for Testing and Materials. **Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System)**. ASTM D 2487-. Estados Unidos. 2017.

BEHAK, L. **Estabilização de um solo sedimentar arenoso do Uruguai com cinza de casca de arroz e cal**. 2007. 171p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

BRASIL. Ministério de Infraestrutura. **Síntese-setor rodoviário**. 2020?. Disponível em: <<https://www.infraestrutura.gov.br/component/content/article.html?id=5341>>. Acesso em: 20 abr. 2020.

DEMARCHI, L. C. et al. **Adequação de estradas rurais**. Campinas: CATI, 2003, 64 p.

DNIT- Departamento nacional de infra-estrutura de transportes. “**Manual de pavimentação**”. Publicação IPR – 179, 3.ed. Ministério dos transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias. Rio de Janeiro, 2006. 274p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de**

Classificação dos Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306p

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. Brasília, 1997. 212p.

FONTENELE, H. B. **Estudo para adaptação de um método de classificação de estradas não pavimentadas às condições do município de São Carlos/SP**. 2001. 227p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia Ci-

vil). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001.

GOMES, C. M; MARTON, L. F. **Concreto de Cimento Portland Tipo III e Sílica Da Casca Do Arroz (SCA): Uma Contribuição à Sustentabilidade**. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 57, 2015, Bonito. Anais do Congresso Brasileiro de Concreto - CBC 2015, São Paulo: IBRACON, 2015. Não paginado.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. 165p. Dissertação (Mestre em Arquitetura). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

IRGA - INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **Boletim de resultados da lavoura - safra 2018/19: arroz irrigado e soja em rotação**. Boletim técnico. Porto Alegre, RS, 2019. 16p.

MARANGON, E. et. al. **Atividade pozolânica da sílica da casca de arroz produzida por combustão em leito fluidizado**. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 55, 2013, Gramado. Anais do Congresso Brasileiro de Concreto - CBC 2013, São Paulo: IBRACON, 2013. Não paginado.

MÓSENA, M. **Agricultura em Áreas Frágeis: As Transformações Decorrentes do Processo de Arenização em São Francisco de Assis/RS**. 2008. 175 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural). Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SENÇO, W. de. **Manual de técnicas de pavimentação**. 1ª ed. São Paulo: Pini, vol. I, 779p. 2001.

SUERTEGARAY, D.M.A. **Erosão nos Campos Sulinos: Arenização no Sudoeste do Rio Grande do Sul**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Brasília, Vol. 12, n 3, Número especial, p. 61-74. 2011.

UFRGS – Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia – Departamento de Solos, Laboratório de Análises. **Laudo de análises-Cinzas**, Nº de Registro: R-174/2018. Porto Alegre, Data de expedição 29/06/2018. 2018.

Capítulo 5 - Avaliação do Comportamento de Concretos com Politereftalato de Etileno Submetidos a Elevadas Temperaturas

Maria Eduarda Fantin Dacheri¹
Marcelo de Jesus Dias de Oliveira²
Simone Dornelles Venquiaruto³

Resumo

Este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades mecânicas (resistência à compressão axial) e de durabilidade (velocidade de propagação de onda ultrassônica) de concretos produzidos com substituição de areia natural por politereftalato de etileno (PET) em pó (areia de PET), após serem expostos a diferentes temperaturas (200°C, 400°C e 900°C). Partindo de um traço referência (sem PET), dosado para atingir a resistência de concreto estrutural (25 MPa), realizou-se a substituição parcial em volume da areia natural por areia de PET nos teores de 20% e 50%. Na idade de 28 dias, os concretos foram expostos aos gradientes de temperatura em um forno elétrico. Após atingirem a temperatura desejada, a mesma foi mantida por 30 minutos, tempo mínimo em que se espera que a estrutura de concreto resista ao fogo, no caso de um incêndio. Os resultados indicaram que a substituição parcial de areia de PET no teor de 20% apresentou resistência à compressão axial seme-

¹ Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: meduarda_dacheri@hotmail.com

² Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Engenheiro do Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: marcelod.oliveira@gmail.com

³ Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Professora do curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: simonevenquiaruto@unipampa.edu.br

lhante ao traço referência, não havendo redução expressiva das suas propriedades mecânicas ao serem expostos até a temperatura de 400°C. Na temperatura de 900°C, houve perda significativa das propriedades mecânicas dos concretos investigados. Em relação a durabilidade, o ensaio velocidade de propagação de onda ultrassônica mostrou que para todas as temperaturas de controle, os concretos com teor de PET de 20%, apresentaram diminuição da velocidade de propagação de onda ultrassônica. O traço com substituição de 50% de areia de PET se mostrou inexequível, pela expressiva redução das propriedades avaliadas.

Palavras-chave: Concreto. Areia de PET. Altas temperaturas.

1. Introdução

O setor da construção civil é responsável por parte da degradação ambiental que ocorre atualmente, considerando a extração de recursos minerais e a produção de resíduos. Existe uma preocupação geral em tentar minimizar a degradação do meio ambiente, já que a extração de minerais contribui para o desequilíbrio ambiental de alguns processos naturais que ocorrem no ecossistema.

Nesse cenário, Canellas (2005) ressalta que, devido ao pouco valor aquisitivo e difícil substituição rentável, a areia é amplamente utilizada na construção civil. Sua extração apresenta a potencialidade de gerar impactos no meio ambiente, podendo ocasionar erosão na margem de rios, além da diminuição da funcionalidade de filtro físico e biológico para as águas subterrâneas.

A construção civil, apesar de ser responsável por impactar o ambiente, permite a incorporação de materiais alternativos e novas técnicas construtivas. O uso do politereftalato de etileno (PET) tem aumentado nas últimas décadas e seu descarte, na maioria das vezes, não é realizado de forma adequada, tornando necessário novas destinações finais ambientalmente adequadas para esse material.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de PET (ABIPET), somente 274 mil toneladas de embalagens de PET consumidas foram

recicladas em 2015, o equivalente a cerca de 51% do total consumido, tornando fundamental a implementação de novas utilizações para o material (ABIPET, 2016).

Jardim *et al.* (2017) e Flora *et al.* (2018) verificaram que a substituição parcial da areia natural por areia de PET se torna exequível até uma porcentagem de substituição de aproximadamente 20%, não modificando significativamente as propriedades mecânicas do concreto. Apesar dos primeiros resultados positivos, torna-se necessária a avaliação de outras propriedades do concreto, principalmente as relacionadas com a durabilidade do material, considerando as condições em que a estrutura está submetida e ações imprevisíveis, como no caso de um incêndio.

Os incêndios sempre foram considerados preocupantes, sendo uma ação imprevisível geradora de danos catastróficos, como perdas de vida e colapso da estrutura (MARCELLI, 2007). Essa situação deve ser avaliada quando se pretende validar o uso de um novo material, a fim de se conhecer as modificações que proporciona nas propriedades e comportamento da matriz cimentícia.

Ao elevar a temperatura de elementos do concreto, Mehta e Monteiro (2008) ressaltam a influência de alguns fatores, como permeabilidade e a taxa de crescimento da temperatura utilizada, que provocam modificações nas características da matriz cimentícia, causadas pela decomposição do elemento de concreto.

Cuoghi (2006) e Fernandes *et al.* (2017) ressaltam que exposição a altas temperaturas ocasiona deformações e dilatações térmicas na estrutura, as quais contribuem para o aparecimento de fissuras e lascamentos. Conseqüentemente, acaba comprometendo a durabilidade da estrutura, assim como a segurança das pessoas, quando analisado em relação a uma edificação.

Diante do exposto, o presente estudo traz a avaliação da viabilidade da substituição parcial de areia natural por areia de PET, em concretos expostos à diferentes temperaturas. Foi realizada a análise das propriedades mecânicas de resistência à compressão axial (ABNT NBR 5739/2018) e de durabilidade, mensurada a partir do ensaio de velocidade de

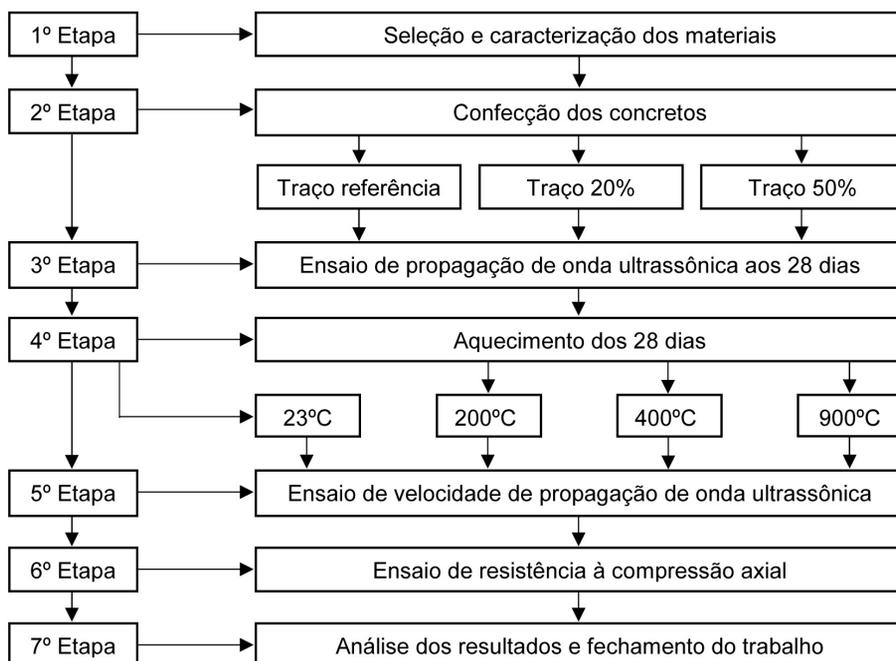
propagação de onda ultrassônica (ABNT NBR 8802/2019).

Ademais, os resultados dos concretos confeccionados com areia de PET foram comparados com os resultados das amostras de referência (concreto convencional), sendo que ambos os concretos foram submetidos as mesmas condições de agressividade e ensaios, para a correta avaliação do impacto gerado pela substituição da areia natural.

2. Metodologia de Pesquisa

Para a execução do programa experimental foram utilizados os equipamentos e o espaço físico do Laboratório de Materiais da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), campus Alegrete/RS. O programa experimental, apresentado na Figura 1, está dividido em sete etapas distintas.

Figura 1 – Esquema do Programa Experimental



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

A primeira e a segunda etapa correspondem a caracterização dos materiais e a produção e cura dos concretos, respectivamente. A terceira etapa corresponde ao ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica, realizado antes dos concretos serem submetidos as elevadas temperaturas (quarta etapa). A quinta etapa engloba os ensaios mecânicos (segundo ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica e ensaio de resistência à compressão axial). A última etapa corresponde a análise e discussão dos resultados.

2.1 Materiais

Nos itens 2.1.1 a 2.1.3 estão apresentadas as características dos materiais utilizados na confecção dos concretos, de acordo com as prescrições da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

2.1.1 Aglomerante

O material aglomerante utilizado foi o cimento Portland CPIV-32, fabricado de acordo com as recomendações brasileiras. As caracterizações (física, química e mecânica) foram fornecidas pelo fabricante, sendo apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Exigências Físicas, Mecânicas e Químicas: cimento Portland CPIV – 32.

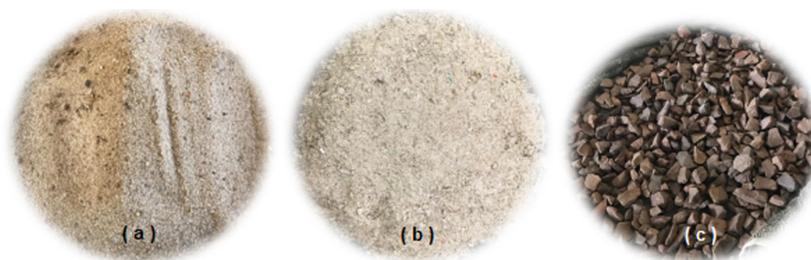
Exigências Físicas e Mecânicas							
Blaine (cm ³ /g)	Finura		Tempo de Pega (min)		Resistência à compressão (MPa)		
	#200(%)	#325(%)	Início	Fim	3 dias	7 dias	28 dias
4334	0,3	2,4	314,6	382,1	19,8	24,3	36,8
Exigências Químicas							
MgO (%)		SO ₃ Média (%)		Perda ao Fogo (%)		Resíduo Insolúvel (%)	
5,6		1,9		3,1		33,6	

Fonte: Votorantim Cimentos (2019)

2.1.2 Agregados

A Figura 2 apresenta os agregados utilizados no trabalho para produzir os concretos, onde: (a) agregados miúdos - areia natural proveniente do rio Ibicuí/RS; (b) areia de PET - adquirida da empresa Petceu Indústria e Comércio de Reciclagem Plástica Ltda. (localizada na cidade de Céu Azul/PR); e (c) agregado graúdo, brita de origem basáltica da região de Alegrete/RS.

Figura 2 – Agregados utilizados na produção dos concretos



Fonte: Acervo dos autores (2020)

O agregado graúdo apresentou módulo de finura de 6,94 e diâmetro máximo de 19 mm e a sua composição granulométrica atendeu os limites normativos vigentes no Brasil. A caracterização dos agregados e as normas técnicas vigentes utilizadas estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização dos agregados

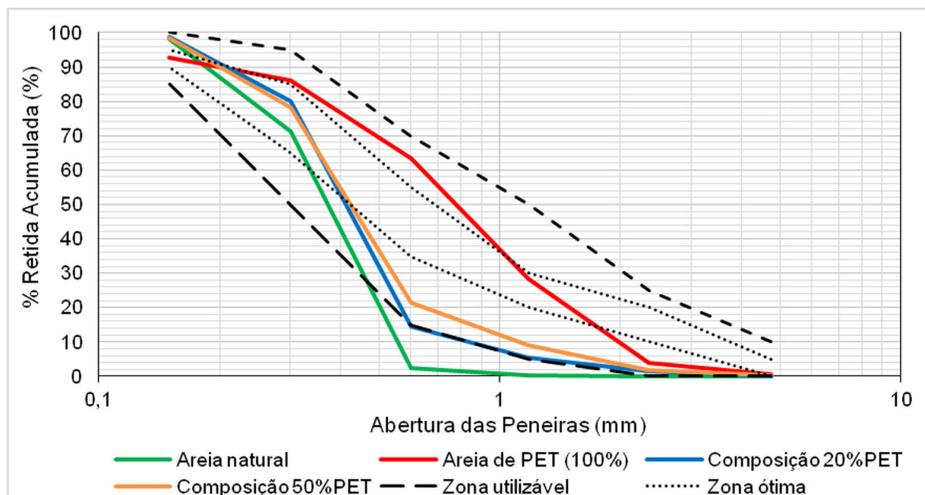
Material	Ensaio	Resultados	Norma
Areia Natural	Massa específica	2,64 g/cm ³	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
	Massa unitária	1,66 g/cm ³	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
	Diâmetro máximo	0,6 mm	NBR 7211 (ABNT, 2009)
	Módulo de Finura	1,72	NBR 7211 (ABNT, 2009)
Areia de PET	Massa unitária	0,4 g/cm ³	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
	Diâmetro máximo	2,36 mm	NBR 7211 (ABNT, 2009)
	Módulo de Finura	2,75	NBR 7211 (ABNT, 2009)
Brita 1	Massa específica	2,75 g/cm ³	NBR NM 53 (ABNT, 2009)
	Massa unitária	1,53 g/cm ³	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
	Diâmetro máximo	19 mm	NBR 7211 (ABNT, 2009)
	Módulo de Finura	6,94	NBR 7211 (ABNT, 2009)

Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

O Gráfico 1 exibe a curva granulométrica das areias utilizadas, assim como a composição da mistura nos teores de 20% e 50%, conforme a norma ABNT NBR NM 248/2003 e os seus limites normativos, estabelecidos pela ABNT NBR 7211/2009.

A areia natural ultrapassou os limites da zona utilizável estabelecido pela norma ABNT NBR 7211/2009, apesar de ter excedido parcialmente o limite da zona utilizável, não foi descartado o uso do material. O agregado apresentou um módulo de finura de 1,72, caracterizando-se como “areia fina”, de acordo com Bauer (2008). A curva granulométrica da areia de PET encontra-se dentro dos limites da zona utilizável e apresenta módulo de finura de 2,75, sendo classificada por Bauer (2008) como “areia média”.

Gráfico 1 – Curva granulométrica dos agregados miúdos e composições



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

A incorporação da areia de PET proporcionou melhoras na curva granulométrica das composições (Gráfico 1). A composição de 50% se enquadrou dentro da zona utilizável recomendada pela ABNT NBR 7211/2009 e a composição de 20% não excedeu a zona utilizável inferior. O módulo de finura estabelecido por Bauer (2008) caracteriza as composições como “areia fina”.

2.1.3 Água e Aditivo Químico

A água utilizada foi proveniente da rede pública, sendo isenta de material orgânico e impurezas. Foi utilizado o aditivo químico superplastificante, a fim de compensar a perda de trabalhabilidade ocasionada pela baixa relação água/cimento do traço ($a/c=0,45$), necessária para que os concretos de referência atingissem a condição de concreto estrutural.

2.2 Produção dos Concretos

Para a produção dos concretos (Figura 1 – 2ª Etapa) foi estabelecido um traço de referência, sendo o concreto com 100% de areia natural. O traço referência foi fixado em 1:4,5 (cimento: agregados – traço em massa), com a relação água/cimento de 0,45 e consumo de cimento de 410 kg/m^3 . A escolha do traço foi definida partir de um estudo de dosagem, desenvolvido para que o concreto referência atingisse o mínimo de 25 MPa de resistência à compressão axial aos 28 dias, valor mínimo para ser considerado de uso estrutural, de acordo com a ABNT NBR 14432/2001.

A substituição do agregado miúdo natural por areia de PET (Figura 1 – 2ª Etapa) foi realizada em volume (20% e 50% de substituição), devido à baixa massa específica do PET ($1,34 \text{ g/cm}^3$, de acordo com Flora *et al.* (2018)). Os teores de substituição foram escolhidos a partir de pesquisas de Jardim *et al.* (2017) e Flora *et al.* (2018), que constataram que até um teor de substituição em volume de 20%, a areia de PET não promove perda significativa do desempenho mecânico dos concretos. Foi então selecionado o teor de substituição de 20% e um teor de substituição mais elevado de 50%, para que fosse possível observar as diferenças nas propriedades dos concretos expostos a elevadas temperaturas.

Os concretos foram produzidos com uma betoneira de eixo inclinado no Laboratório de Materiais de Construção da UNIPAMPA, campus Alegrete/RS. A trabalhabilidade dos corpos de prova foi deter-

minada através do ensaio de abatimento do tronco cone (ABNT NBR NM 67/1998), sendo estabelecido o parâmetro de controle em 8 ± 2 cm para a mistura de referência. Para os demais traços foram mantidos os quantitativos de água e teor de aditivo utilizados no traço de referência. A fixação desses parâmetros objetivou avaliar o impacto da incorporação de areia de PET na trabalhabilidade dos concretos.

Após a confecção, os concretos foram moldados em fôrmas metálicas cilíndricas de dimensões de $\phi 10 \times 20$ cm. O traço referência e o traço 20% de PET receberam adensamento manual (ABNT NBR 5738/2015), enquanto o traço 50% de PET necessitou do auxílio da mesa vibratória, em função da baixa trabalhabilidade obtida. Após 24 horas, os corpos de prova ($\phi 10 \times 20$ cm) foram desmoldados e identificados, sendo mantidos em cura submersa, conforme a ABNT NBR 5738/2015, até a idade de controle dos ensaios (28 dias).

2.3 Ensaio de Velocidade de Propagação de Onda Ultrassônica

O ensaio de Velocidade de Propagação de Onda Ultrassônica (ABNT NBR 8802/2019) foi realizado em duas etapas distintas, antes e após o processo de aquecimento dos concretos.

Após a retirada dos concretos da cura submersa (aos 28 dias), as amostras permaneceram expostas em ambiente de laboratório por 48 horas, para a eliminação do excesso de água proveniente do processo de cura. Após esse período, foram submetidas ao primeiro ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica. A segunda determinação foi realizada depois que os concretos passaram pelos distintos processos de aquecimento. A realização do ensaio em duas etapas permitiu verificar a qualidade e homogeneidade das amostras, apontando possíveis falhas internas e danos gerados pela exposição a altas temperaturas.

2.4 Aquecimento dos Concretos

Para esta etapa foi utilizado um forno elétrico (Figura 3) com potência de 15 kW, temperatura de alcance de 1250°C e com capacidade de 120 litros.

Figura 3 – Forno elétrico com corpos de prova

Fonte: Acervo dos autores (2020)

Os corpos de prova de cada traço foram divididos em lotes (sendo um lote composto por 9 amostras), e posteriormente, cada lote foi aquecido até as temperaturas de controle, correspondentes a 200°C, 400°C e 900°C. Os concretos de referência, correspondentes ao lote da temperatura ambiente (23°C), não passaram pelo processo de aquecimento e foram ensaiados quanto às suas propriedades mecânicas (velocidade de propagação de onda ultrassônica e resistência à compressão axial) na idade de 28 dias. Os demais concretos foram avaliados após o processo de aquecimento.

As temperaturas de controle foram determinadas com base na pesquisa de Lima (2005). O autor realizou uma análise termo-diferencial em pastas de cimento, utilizando valores de temperatura de 200°C, 400°C, 600°C e 900°C. Segundo Lima (2005), as temperaturas de controle foram escolhidas por representarem um intervalo anterior e posterior a transformação de fase previstas na pasta, que ocorrem aproximadamente entre 100°C e 500°C, sendo possível analisar as mudanças que ocorrem na estrutura do concreto no decorrer do aquecimento.

A taxa de aquecimento utilizada foi de 1°C/min para cada corpo de prova, sendo adotada seguindo as recomendações da RILEM TC 129-MHT (1995), de acordo com a superfície diametral do corpo-de-

prova. Como 9 corpos de prova foram aquecidos ao mesmo tempo, a taxa de aquecimento empregada foi de 9°C/min.

Após atingir a temperatura desejada, a mesma foi mantida por 30 minutos, o tempo mínimo em que se espera que a estrutura resista ao fogo de acordo com a ABNT NBR 14432/2001. Após este procedimento, os corpos de prova foram resfriados em ambiente de laboratório até atingirem uma temperatura em que pudessem ser manipulados para serem ensaiados.

2.5 Determinação da propriedade mecânica

A propriedade mecânica dos concretos foi determinada de acordo com as recomendações da ABNT NBR 5739/2018 (Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos), após a idade de 28 dias. Esse ensaio tem por finalidade observar o quanto a resistência mecânica do concreto é afetada pela exposição a altas temperaturas.

3. Resultados e Discussões

No estado fresco foi analisada a trabalhabilidade dos concretos com a incorporação da areia de PET através do ensaio de abatimento do tronco de cone (Figura 4). Mehta e Monteiro (2008) dizem que a trabalhabilidade afeta diretamente nas fases de transporte, lançamento e adensamento. Uma vez que a trabalhabilidade não esteja adequada, tais atividades se tornarão difíceis de serem executadas, podendo prejudicar a resistência e durabilidade dos concretos. Consequentemente, podem ocorrer falhas na concretagem e comprometimento do desempenho mecânico do concreto.

Figura 4 – Trabalhabilidade dos concretos estudados

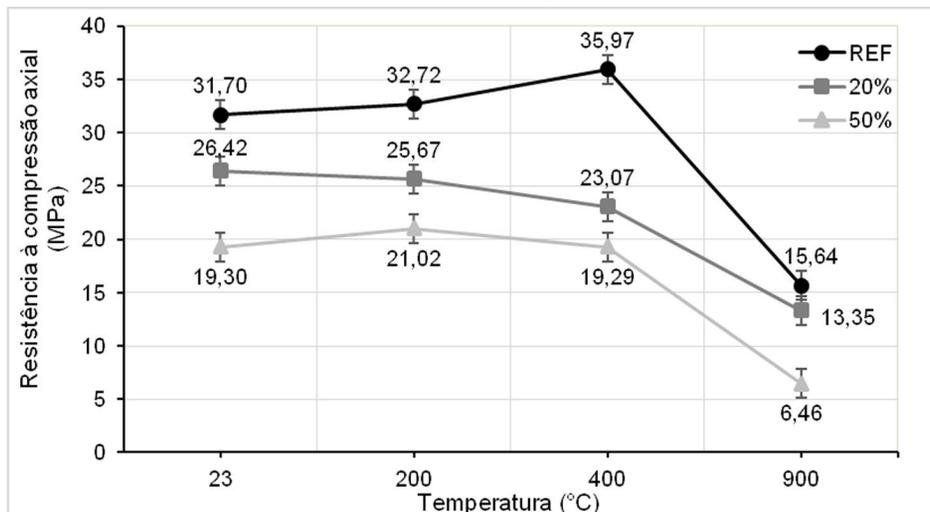
Fonte: Acervo dos autores (2020)

Os ensaios de abatimento do tronco de cone (Figura 4), mostraram que a trabalhabilidade do concreto não foi afetada pela incorporação de areia de PET até o teor de 20%, uma vez que o concreto manteve os parâmetros de controle estabelecidos (abatimento do tronco de cone de 8 ± 2 cm). Para teores de substituição maiores (50%), a substituição da areia natural por areia de PET promoveu uma redução da trabalhabilidade do concreto.

Os resultados médios de resistência à compressão axial dos traços estudados em duas situações distintas - temperatura ambiente (23°C) e nas temperaturas de aquecimento (200°C , 400°C e 900°C) são apresentados no Gráfico 2.

Para as temperaturas de controle investigadas, o traço referência apresentou os maiores valores de resistência à compressão axial. Esse resultado mostra que o incremento do material PET promoveu uma diminuição da resistência à compressão axial dos concretos corroborando com a pesquisa de outros autores como, Fernandes (2017) e Moura *et al.* (2018). No entanto, apesar do menor desempenho mecânico nas misturas com incorporação de PET, o traço com 20% de PET, submetido a temperatura ambiente, superou a resistência especificada na dosagem.

Gráfico 2 – Resistência à compressão axial média



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

A análise do Gráfico 2 apresenta tendência de redução da resistência à compressão axial com o aumento da temperatura, sendo intensificada a partir de 400°C. É possível observar que o concreto referência (REF) apresentou ganho de resistência com a variação da temperatura até os 400°C, enquanto que o concreto com substituição de 50% de PET apresentou este ganho de resistência até os 200°C.

Esse comportamento foi verificado em outras pesquisas experimentais (LIMA, (2005), SILVA (2013)), sendo explicado pela hidratação tardia do cimento, estimulada pelo aquecimento até estas temperaturas. Para a temperatura de controle de 900°C, todos os traços estudados apresentaram perda brusca de resistência. De acordo com Cánovas (1988), esse comportamento é atribuído a desidratação do silicato de cálcio hidratado (C-S-H), que ocorre após os 400°C, causando a diminuição da resistência mecânica dos concretos.

Para verificar a influência das variáveis independentes estudadas (Teor de PET e Temperatura) na resistência à compressão axial dos concretos, foi realizada uma análise de variância (ANOVA), apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise ANOVA da resistência à compressão axial

ANOVA	SQ	GL	MQ	Teste F	(p)	Significância
Intercessão	36606,32	1	36606,32	13262,15	0,000	-
Teor PET	1878,32	2	939,16	340,25	0,000	Sim
Temperatura	2768,51	3	922,84	334,34	0,000	Sim
Teor PET x Temperatura	194,34	6	32,39	11,73	0,000	Sim
Erro	165,61	60	2,76	-	-	-

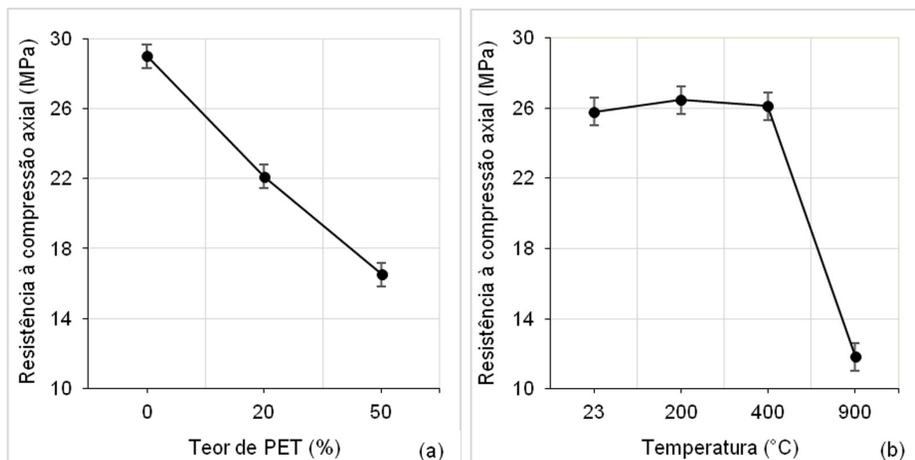
Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

A análise de variância (Tabela 3) mostra que as variáveis independentes (Teor de PET e Temperatura) são significativas ($p < 0,05$), ou seja, influenciaram na variável de resposta (resistência à compressão axial). A interação dos fatores, Teor de PET x Temperatura, também foi significativa. O Gráfico 3 (Página seguinte) apresenta os resultados de resistência à compressão axial em função das variáveis independentes (Teor de PET e Temperatura), obtidos a partir da análise ANOVA.

O Gráfico 3 – (a) mostra que a variação do teor de areia de PET nos concretos promoveu uma perda da resistência mecânica. A variação das temperaturas de aquecimento dos concretos (Gráfico 3 – (b)), também se mostrou significativa pela análise ANOVA.

No entanto, a significância da variável “Temperatura” pode ter sido impulsionada pelos resultados de resistência obtidos na temperatura de 900°C, uma vez que até a temperatura de 400°C parece não haver variação importante na resistência à compressão axial dos concretos. Esse comportamento, motivou a realização de uma nova análise de variância (ANOVA) considerando apenas os dados de resistência à compressão dos concretos correspondentes as taxas de aquecimento até 400°C.

Gráfico 3 – Resistência à compressão axial:
 a) em função do teor de PET e b) em função da temperatura



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

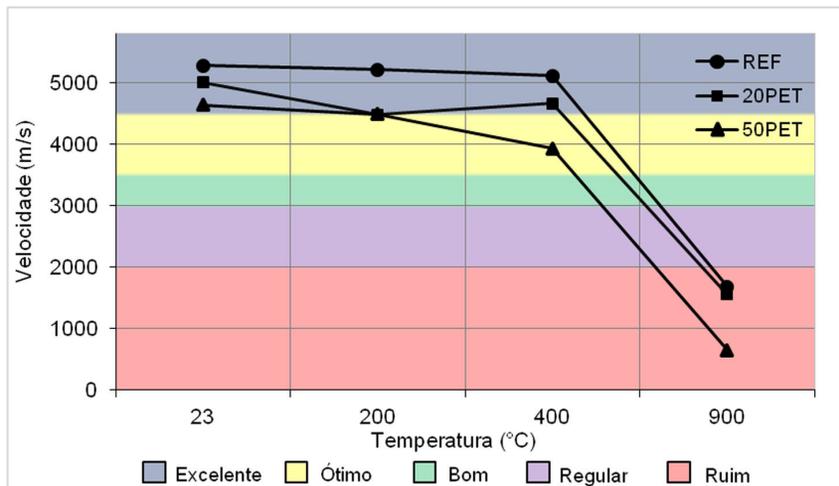
Os resultados obtidos indicaram que até a temperatura de 400°C, o aquecimento não promoveu influência nos resultados de resistência à compressão axial. Ou seja, não existe diferença matemática entre os resultados de resistência à compressão axial dos concretos ensaiados a temperatura ambiente (23°C) e dos concretos submetidos as taxas de aquecimento de 200°C e 400°C. Esse resultado reforça os estudos de Lima (2005), que sugere a implementação de medidas de proteção passivas ou ativas, a fim de que o concreto não ultrapasse 400°C, assim a estrutura não sofreria danos consideráveis ao ser afetado por um incêndio.

O ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica foi executado de acordo com a ANBT NBR 8802/2019, sendo os resultados comparados com a classificação de Whitehurst (1966) e Rincón *et al.* (1998), sendo “excelente” quando acima de 4500 m/s, “ótimo” de 3500 a 4500 m/s, “bom” de 3000 a 3500 m/s, “regular” de 2000 a 3000 m/s e “ruim” abaixo de 2000 m/s.

O Gráfico 4 apresenta o comparativo de velocidade de propagação de onda ultrassônica dos três traços estudados, e indica que houve redução da velocidade de propagação de onda ultrassônica com o incremento do teor de PET nas misturas, em todas as temperaturas avaliadas. Silva e Bomfim (2019) obtiveram o mesmo resultado em seu trabalho, e

atribuíram tal redução a baixa densidade do material PET. É possível notar que o traço referência obteve o melhor desempenho, enquanto o traço 50% PET, o pior desempenho.

Gráfico 4 – Velocidade de propagação de onda ultrassônica média



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Verificou-se que a partir da temperatura de 400°C ocorre um declínio acentuado da velocidade de propagação da onda ultrassônica em todas as misturas, Silva *et al.* (2018) atribuem esse comportamento ao comprometimento da estrutura, devido ao elevado grau de fissuração na temperatura de 900°C (Figura 5).

Figura 5 – Fissuras na superfície do traço referência aos 900°C



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

4. Considerações Finais

Os resultados deste estudo avaliaram a influência da substituição de areia natural por areia de PET nas propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos submetidos a diferentes temperaturas (23°C, 200°C, 400°C e 900°C).

O resultado da propriedade mecânica – resistência à compressão axial – verificou que o incremento do material PET provocou a diminuição da resistência nos traços avaliados (20% e 50%), apesar disso, o traço com 20% de substituição em temperatura ambiente manteve a resistência acima de 25 MPa, sendo hábil para ser utilizado como concreto estrutural. O traço com substituição de 50% apresentou perda de 40% da resistência à compressão axial em comparação ao traço referência, corroborando com os resultados de Flora *et al.* (2018), que verificaram que essa substituição provocou a perda de desempenho, inutilizando o seu uso.

A constatação de que, até a temperatura de 400°C, não houve redução significativa da resistência à compressão axial, reforça a afirmação de Lima (2005), em que a utilização de medidas de proteção passivas, incorporadas ao sistema construtivo, e ativas, que combatem imediatamente o incêndio iniciado, de modo a evitar que a estrutura ultrapasse 400°C durante os 30 minutos que é determinado pela ABNT NBR 14432/2001, mantém a integridade da estrutura.

Quanto a velocidade de propagação de onda ultrassônica, a compacidade dos concretos nos três teores avaliados variou de “excelente” a “ótimo” até a temperatura de 400°C, sendo assim até essa temperatura e no tempo de exposição de 30 minutos, não houve alterações expressivas na qualidade dos concretos.

Portanto, os resultados encontrados no estudo mostram potencial possibilidade de substituição parcial de areia natural por areia de PET em um teor de 20%, para estruturas de concreto com previsão de exposição a temperaturas de até 400°C. Porém, são necessárias ainda novas pesquisas a fim de avaliar o dano real que situações de incêndio provo-

cam a concretos com substituição de PET, bem como para avaliar o comportamento dessa mistura quando submetida a outros ambientes agressivos, de forma a validar o uso desse material.

Referências

ABIPET – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA DO PET. **Décimo censo da Reciclagem de PET no Brasil**. 01/11/2016. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarDownloads&categoria.id=>>. Acesso em: 13 mai. 2020.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 14432: Exigência de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 8802: Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica**. Rio de Janeiro, 2019.

BAUER, F. L. A. **Materiais de Construção**. 5ª ed. revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 471p.

CANELLAS, Susan Sales. **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas**. 2005. 78p. Dissertação (Mestre em ciência dos materiais e metalurgia). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988.

CUOGHI, Ricardo de Scarabello. **Aspectos de análise de risco das estruturas de concreto em situação de incêndio**. 2006. 247p. Dissertação (Mestre em Engenharia). Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

FLORA, D. P. D. *et al.* Estudo do comportamento mecânico e de durabilidade de concretos convencionais confeccionados com politereftalato de etileno (PET). In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 60., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2018. Não paginado.

FERNANDES, Andriellen Paz. **Estudo da viabilidade da substituição parcial de areia natural por agregado reciclado de PET nas propriedades mecânicas e de retração por secagem de concretos convencionais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete, Alegrete, 2017.

FERNANDES, B. *et al.* Microstructure of concrete subjected to elevated temperatures: physico-chemical changes and analysis techniques. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 10, n. 4, p. 838-863, 2017.

JARDIM, R. R. *et al.* Estudo da viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo por agregado miúdo reciclado de pet em concretos convencionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 59., 2017, Bento Gonçalves. **Anais...** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2017. Não paginado.

LIMA, Rogerio Cattelan Antochaves de. **Investigação do comportamento de concretos em temperaturas elevadas**. 2005. 241p. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MARCELLI, Mauricio. **Sinistros na construção civil**. São Paulo: Pini, 2007.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo Jose Melaragno. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

MOURA, N. B. *et al.* Estudo da viabilidade de utilização de resíduo de PET na fabricação de concretos leves. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 60., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2018. Não paginado.

RILEM TC 129-MHT. Test methods for mechanical properties of concrete at high temperatures - compressive strength for service and accident conditions. **Materials and structures**, v. 28, n. 181, p. 410-414, 1995.

RINCÓN, O. *et al.* **Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado**. Rio de Janeiro: CYTED, 1998.

SILVA, Janaina Salustio da. **Estudo de concretos de diferentes resistências à compressão submetidos a altas temperaturas sem e com incorporação de fibras de politereftalato de etileno (PET)**. 2013. 148p. Dissertação (Mestre em engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

SILVA, Klayne Kattiley dos Santos *et al.* Comportamento do concreto de alto desempenho submetido à temperaturas elevadas utilizando de ensaios não destrutivos e método dos elementos finitos. In: CONFERÊNCIA SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS, 6., 2018, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2018. Disponível em: <<http://www.nppg.org.br/patorreb/files/artigos/80605.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2020.

SILVA, Rodrigo Rogério Cerqueira; BONFIM, Luís Henrique de Sampaio. Análise do comportamento mecânico de concreto com diferentes tipos de adição de fibras através da propagação de onda ultrassônica. **Exatas & Engenharia**, v. 9, n. 25, p.1-19, 2019.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Boletim de ensaios de cimento** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <sac@vcimentos.com> em 21 out. 2019.

WHITEHURST, E. A. **Evaluation of Concrete Properties from Sonic Tests**. Detroit: American Concrete Institute, 1966.

Capítulo 6 - Viabilidade Econômica de um Sistema de Geração Distribuída de Energia Elétrica Produzida por Painéis Fotovoltaicos: estudo de caso de uma autarquia municipal de água e esgoto

Luis Pedro Froz Gonçalves¹

Fladimir Fernandes dos Santos²

Resumo

Com o aumento do custo da energia elétrica no Brasil, que ocorre devido ao aumento nos custos de produção e fatores climáticos, tem-se como possibilidade a utilização da energia solar fotovoltaica, a fim de se obter uma energia renovável e limpa, bem como de se ter uma fonte de energia independente. Diante o exposto, e com a finalidade de reduzir os gastos em energia elétrica de um Departamento, de uma Autarquia Municipal de água e esgoto, foi proposto um estudo de viabilidade econômica de implementação de um sistema fotovoltaico, levando em conta fatores como a vida útil dos equipamentos, a degradação da capacidade do conjunto, a tarifa de consumo de energia, as variações das bandeiras tarifárias, entre outros. A partir de dados técnicos dos equipamentos necessários para suprir o consumo do local, foram determinados os custos com investimentos necessários para a instalação do sistema fotovoltaico, sendo, posteriormente, feita a análise de viabilidade econômica. Com o estudo observou-se que o sistema fotovoltaico se mostrou viável técnica e economicamente. Destaca-se que, considerando a vida útil do sistema fotovoltaico com 25 anos, obteve-se no melhor ce-

¹Bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: luispedrofg@hotmail.com

²Dr. em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Professor Associado da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: fladimirsantos@unipampa.edu.br

nário um tempo de 5 anos e 2 meses para o retorno econômico do investimento. A principal vantagem do sistema pode ser vista quando ocorre acréscimo na tarifa de geração de energia elétrica, a qual não causa nenhuma desvantagem no investimento realizado, mas ganhos econômicos, pois, mais rápido e maior será o retorno econômico para o investidor do sistema solar.

Palavras-Chave: Energia fotovoltaica. Viabilidade técnica. Viabilidade econômica. Autarquia de água e esgoto.

1. Introdução

Há tempos que o Brasil vem apresentando variações nos custos de geração de energia elétrica, em decorrência de fatores climáticos, mostrando que, cada vez mais, o consumidor vem pagando um preço mais elevado por este recurso, fazendo com que se busque alternativas para minimizar os gastos com energia elétrica. Nesse contexto, também cabe observar que o país ainda continua dependente da energia elétrica proveniente de fonte hídrica.

Como o custo da geração de energia elétrica é elevado no país, há necessidade de buscar outras fontes de energia como, por exemplo, a térmica, que possui um custo maior. Outra alternativa tem sido a geração distribuída através de painéis fotovoltaicos, na qual vem apresentando crescimento mundial e nacional, em função de apresentar um investimento relativamente baixo, quando se leva em conta a vida útil dos equipamentos que são necessários para este tipo de sistema.

Unindo a necessidade de uma fonte de energia mais econômica e a necessidade de preservação do meio ambiente, os modelos sustentáveis começam a se destacar no cenário mundial. Observa-se que a tendência para os anos futuros será a geração e o consumo da energia solar, a qual está ao alcance do povo brasileiro, visto que o país possui grande incidência de irradiação solar. Esse nível de irradiação é superior ao de países onde projetos de energia solar são muito disseminados, como Alema-

nha, França e Espanha (NASCIMENTO, 2017).

As energias renováveis despertam a atenção, pois possuem maior disponibilidade, são provenientes de fontes de energia limpa, não emitem gases e substâncias tóxicas, causam menos impactos negativos ao meio ambiente, surgindo como uma solução alternativa. Vale destacar que, com o crescimento do conceito de geração distribuída de energia fotovoltaica se difundindo em âmbito mundial, a ANEEL propôs algumas Resoluções Normativas (REN)³, as quais servem como incentivo à inserção deste tipo de geração no Brasil.

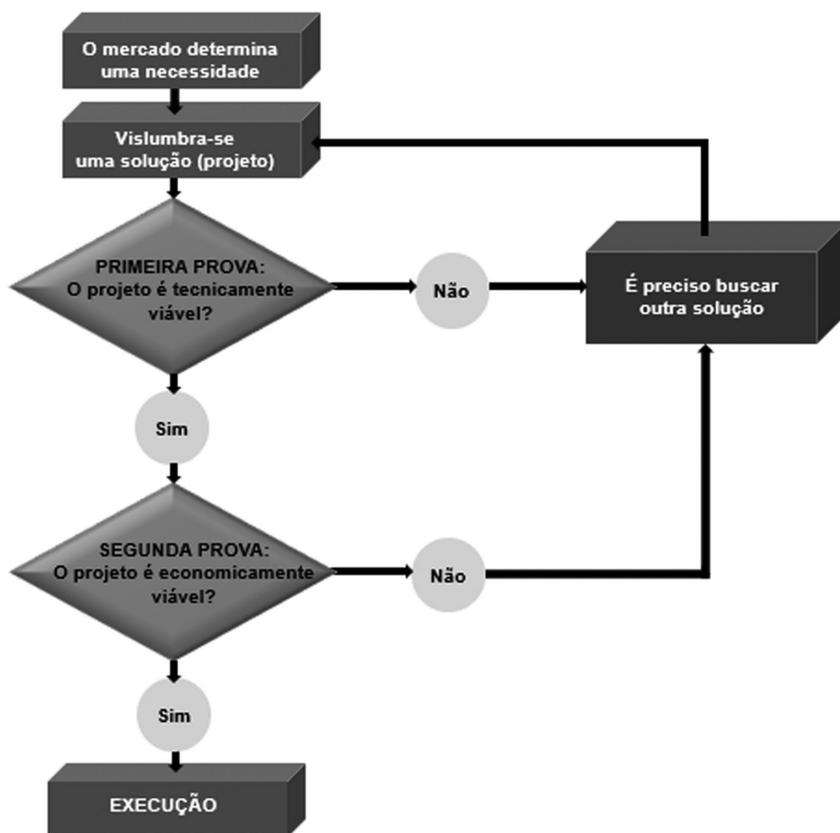
Diante o exposto, este capítulo mostra o estudo da viabilidade econômica de um sistema de geração distribuída de energia elétrica, produzida por painéis fotovoltaicos, para um Departamento de uma Autarquia Municipal responsável pelo abastecimento de água e esgoto de uma cidade do Rio Grande do Sul. Com a pesquisa realizada será possível verificar se haverá ganhos econômicos, bem como se o sistema atenderá de forma satisfatória as necessidades impostas tecnicamente, reduzindo, assim, a dependência de energia gerada pelos recursos hídricos.

2. Procedimentos Metodológicos

Com vistas a facilitar a compreensão dos procedimentos metodológicos, as etapas de desenvolvimento desta pesquisa estão baseadas na abordagem de Buarque (1984), na qual é possível observar que a engenharia participa no ciclo de decisões de um projeto, envolvendo a análise de viabilidade técnica e a análise de viabilidade econômica de projetos (Figura 1 - página seguinte).

³ No ano de 2012 a ANEEL, por meio da REN nº 482/12 (ANEEL, 2012) permitiu que as unidades consumidoras brasileiras gerassem sua própria energia, através de sistemas fotovoltaicos instalados no seu próprio local. Posteriormente, a REN nº 482 foi atualizada pela REN nº 687/15 (ANEEL, 2015a).

Figura 1 – Etapas da pesquisa



Fonte: Adaptado de Buarque (1984)

A viabilidade técnica abrangeu investigações preliminares; a seleção do processo e dos equipamentos necessários; o projeto de construção e infraestrutura; bem como a análise de rendimento do sistema proposto.

Quanto a viabilidade econômica, ela abrangeu um conjunto de informações econômicas que possibilitaram a tomada de decisão, de se alocar, ou não, recursos no projeto. Ela envolveu valores monetários relacionados as entradas e saídas de caixa, as taxas de juros de reajuste monetário e a Taxa Mínima Atrativa (TMA), a vida útil dos equipamentos, o preço do quilowatt hora e as bandeiras tarifárias vigentes no ano de 2018, no Brasil.

De acordo com a ANEEL (2015b), o sistema de bandeiras tarifárias é composto da seguinte forma:

- Bandeira Verde: As condições são favoráveis para a geração de energia, logo, não há acréscimo na tarifa;

- Bandeira Amarela: as condições de geração são menos favoráveis, o que acresce em R\$ 0,010 na tarifa para cada quilowatt-hora (kWh) consumido;

- Bandeira Vermelha – Patamar 1: as condições são mais custosas de geração e a tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,030 para cada kWh consumido;

- Bandeira Vermelha – Patamar 2: as condições de geração são ainda mais custosas, acrescentando em R\$ 0,050 na tarifa para cada kWh consumido.

É preciso dizer que a metodologia seguida teve como finalidade realizar uma pesquisa em *prol* de uma Autarquia Municipal, no qual foi feito um estudo de viabilidade técnica-econômica para suprir os gastos de uma de suas faturas de energia elétrica, sendo ela respectiva à um determinado Departamento. Abrangeu a definição das “necessidades do Departamento”, a “solução proposta”, a “primeira prova”, a “segunda prova” e a possibilidade de “Execução (avaliação para a tomada de decisão) do projeto”, sendo todas estas etapas abordadas na sequência.

2.1 Necessidade do Departamento e solução proposta

Em função de a Autarquia Municipal possuir vários pontos de consumo de energia elétrica espalhados pela cidade e, em sua maioria com carga de bombas d'água, o gerente de um dos Departamentos está preocupado com os elevados gastos com o consumo de energia elétrica, desta forma, o mesmo procurava novas alternativas para diminuir tais gastos.

Como o objeto de estudo (o Departamento) tem elevado consumo, conseqüentemente, apresentando valores elevados de pagamento em sua conta de energia elétrica, foi sugerida, nesta pesquisa, a proposta de um sistema de geração distribuída de energia elétrica produzida por painéis fotovoltaico, com a finalidade de realizar o estudo de viabilidade

para comprovar se o investimento é viável a longo prazo, visto que o Brasil apresenta alto índice de irradiação solar.

2.2 Primeira prova

O sistema utilizado para o estudo foi projetado para ser conectado à rede de distribuição da concessionária vigente na região, no caso, a RGE-SUL. Foram obtidos dados referentes a latitude e longitude do local de instalação do sistema no Google Maps (2018). Por meio do site do CRESESB (2018), ao fornecer os dados de latitude e longitude, são obtidos os valores referentes a incidência de irradiação solar para diferentes ângulos, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de irradiação para diferentes ângulos de inclinação

Meses	Inclinação		
	0°	31° N	24° N
Janeiro	6,68	5,9	6,17
Fevereiro	5,97	5,72	5,88
Março	5,1	5,46	5,48
Abril	3,95	4,86	4,74
Mai	2,79	3,83	3,66
Junho	2,32	3,37	3,2
Julho	2,63	3,77	3,58
Agosto	3,34	4,28	4,15
Setembro	3,94	4,37	4,35
Outubro	5,28	5,22	5,33
Novembro	6,44	5,8	6,05
Dezembro	7,03	6,07	6,39
Irradiação Solar Média (kWh/m²)	4,62	4,89	4,92

Fonte: Elaborado pelos autores

Esses dados, evidenciados na Tabela 1, se referem aos ângulos que apresentaram maior incidência de radiação solar. Na Tabela 2 (página seguinte) tem-se os dados de consumo de energia elétrica do Departamento utilizado como objeto de estudo para esta pesquisa.

Tabela 2 – Consumo em kWh

Meses	kWh
Janeiro	2869
Fevereiro	2554
Março	2803
Abril	2916
Maiο	2760
Junho	2653
Julho	2932
Agosto	2862
Setembro	3032
Outubro	2555
Novembro	2514
Dezembro	2658
Média	2759

Fonte: Elaborado pelos autores

A partir do consumo médio foram realizados os cálculos referentes a quantidade de potência instalada para atender a demanda do consumidor, sendo determinado o número de placas fotovoltaicas necessárias e a área mínima a ser ocupada pelo sistema. Com esses dados foi possível proceder a pesquisa, determinando os outros equipamentos que compõem o sistema completo e o seu valor final para o estudo da viabilidade econômica.

O primeiro passo para o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos foi calcular a potência do gerador fotovoltaico (PFV) para suprir o consumo, com base em Passos (2016). Para este cálculo foi necessário estabelecer:

• C – Consumo médio mensal de energia elétrica (kWh), considerando a análise no período de 1 ano: 2759 kWh

• Cd – Custo de disponibilidade mínima (kWh): que é regulamentado pela ANEEL, REN nº 687/15 (ANEEL, 2015a), e que depende do número de fases concedidas ao cliente: Trifásico 100 kWh

• HSP – Média diária de horas de sol pleno no plano dos módulos fotovoltaicos (h/dia), considerando a análise no período de 1 ano: foi

obtida através do ângulo que apresentava melhor irradiância, visto que a instalação com estruturas terrestres permite variar o ângulo, sendo utilizado o ângulo de 24°, no qual a irradiância é de 4,92kW/m².

•TD – Taxa de desempenho Global do Sistema: entre 0,7 e 0,8 para o Brasil, sendo utilizado para esta pesquisa o valor de 0,8.

A partir do valor de potência obtido foi selecionado um módulo fotovoltaico disponível no mercado, com boa capacidade de geração de potência e valor de mercado acessível. Ademais, a partir do número de módulos fotovoltaicos foi possível obter dados do inversor, modo de ligação do arranjo como um todo e área a ser utilizada pelo sistema. Cabe informar que os demais itens a serem considerados no projeto dependem de um modelo específico de inversor e placas fotovoltaicas. Nesse sentido, foi feita uma consulta a um fornecedor de material solar do mercado Brasileiro, o qual oferece kits solares completos a partir da PFV.

2.3 Segunda prova

Os métodos utilizados para verificar a viabilidade econômica do projeto são o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), o *Payback* Simples e o *Payback* Descontado. Foi feito um fluxo de caixa representando as entradas (receitas, referente a economia em valores monetários gerada pelo sistema) e as saídas de caixa (dos custos com investimento inicial e despesas de manutenção).

Portanto, na construção do fluxo de caixa foi determinada a variável relacionada ao custo inicial do projeto (investimento), custos com manutenção e valor mínimo a ser pago pela disponibilidade de energia, bem como a estimativa de receitas a partir dos valores que não seriam gastos com o pagamento de faturas de consumo de energia elétrica. Considerou-se a vida útil do projeto em 25 (vinte e cinco) anos, visto que os fabricantes de módulos fotovoltaicos garantem seus produtos neste período (PINHO; GALDINO, 2014)

O valor base para representar o aumento do valor do kWh foi obtido com base em Passos (2016), considerando a variação de 2004-2014, sendo o valor de 8,13% ao ano a taxa empregada para correção dos valores. O valor a ser gasto com manutenção do sistema fotovoltaico é baseado no estudo da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2012), a qual se referiu a taxa de 1% do investimento ao ano. Sobre este valor irá incidir a taxa média de inflação Brasileira, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Inflação Histórica IPC Brasil (anual)

Inflação anual	Inflação
IPC Brasil 2017	2,95%
IPC Brasil 2016	6,29%
IPC Brasil 2015	10,67%
IPC Brasil 2014	6,41%
IPC Brasil 2013	5,91%
IPC Brasil 2012	5,84%
IPC Brasil 2011	6,50%
IPC Brasil 2010	5,91%
IPC Brasil 2009	4,31%
IPC Brasil 2008	5,90%
Média	6,07%

Fonte: Adaptado de Inflation (2018)

A partir dos valores apresentados na Tabela 3 foi obtida a média de inflação dos últimos 10 anos como valor base para incidir como taxa de reajuste sobre o custo de manutenção do equipamento, sendo 6,07% ao ano (a. a.).

É importante dizer que, para ser atrativa a proposta deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco, sendo esta a TMA. Para esta pesquisa foi utilizada como TMA a Taxa Selic de 6,75% ao ano (IPEA, 2018).

A Taxa Selic, segundo Banco Central do Brasil, é a taxa média ajustada dos financiamentos diários para títulos federais. Ela tem como base as decisões da reunião do Comitê de Política Monetária (Copom) para a taxa de juros referencial (Selic), na qual o indicador ora estabelecido datava do dia 1/04/2018.

A análise da viabilidade econômica tem como base os métodos baseados no fluxo de caixa, sendo que a forma de cálculo/equações que

foram utilizadas estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Equações aplicadas na análise de viabilidade econômica

Método	Descrição / autor	Forma de calcular ⁴
Payback Simples	Trata do período de tempo que é necessário para que a empresa recupere, com as entradas de caixa, o investimento inicial do projeto (FREZATTI, 2008).	O critério consiste em somar os valores dos benefícios obtidos pela operação do projeto. Abrange o tempo necessário para que esses benefícios totalizem o valor do investimento feito (ABREU FILHO, 2007). Esse método não considera a TMA.
Payback Descontado	Através da TMA, calcula-se todos os valores presentes dos fluxos de caixa e verifica-se o tempo necessário para o pagamento do investimento inicial (BORDEAUX-REGO et al., 2013).	Em Bordeaux-Rego et al. (2013): $VP(\text{período}) = \frac{\text{Fluxo de Caixa}(\text{período})}{(1 + TMA)^{\text{período}}}$
Taxa Interna de Retorno (TIR)	Representa a taxa de rentabilidade interna ou de lucro de uma proposta de investimento fornecida pelo seu fluxo de caixa (FERREIRA, 2009, p. 87).	Em Gitman (2004): $\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} = FC_0$
Valor Presente Líquido (VPL)	Baseia-se na atualização de fluxos de caixa representativos de receitas, custos e lucros operacionais, para certo horizonte de planejamento, empregando como taxa de desconto a taxa mínima de atratividade (FERREIRA, 2009, p. 60).	Em Bordeaux-Rego et al. (2013): $VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} + \frac{VR}{(1+r)^n}$

Fonte: Elaborado pelos autores

Com relação aos cálculos e a à análise dos dados, foi utilizado o Microsoft Excel para os devidos fins, com o propósito de verificar a viabilidade econômica do sistema.

2.4 Execução: avaliação para a tomada de decisão

Para contribuir com a avaliação e a tomada de decisão no estabelecimento de quais projetos eram viáveis, foram utilizados métodos da Engenharia Econômica que dão suporte para a avaliação de investimentos (Quadro 1). Os critérios de análise de decisão, baseados nos métodos de

⁴ Onde: TIR = Taxa interna de retorno; TMA = Taxa Mínima Atrativa = r = o custo de capital definido pela empresa; I = investimento inicial; VP = valor presente; VPL = Valor presente líquido; FC = CF = fluxo de caixa; t = tempo; n = n-ésimo período.

avaliação econômica, utilizados nesta pesquisa, são os seguintes:

- se o VPL for maior que zero (0) o projeto deve ser aceito e se o VPL for menor que zero (0) o projeto deve ser rejeitado (GITMAN, 2004). Se o VPL for igual a zero (0) é indiferente investir, ou não, mas ainda assim a alternativa é considerada viável.

- para a TIR, os investimentos com TIR maior que a TMA serão considerados rentáveis e são passíveis de análise (CASAROTTO FILHO, 2011); no caso de igualdade nesses métodos o projeto tem uma situação de indiferença e se for $(TIR) < (TMA)$ o projeto se mostra que não é econômico, se tornando não muito atrativo (BRITO, 2000).

- o *Payback* Simples e o *Payback* Descontado foram utilizados para verificar o tempo necessário para que se recupere o que foi investido.

3. Resultados

Neste capítulo estão apresentados os resultados do estudo de viabilidade técnica e econômica de implementação do sistema de energia fotovoltaica na Autarquia Municipal estudada neste trabalho.

Os resultados se referem a parte técnica, ao projeto do sistema em si (primeira prova) e ao estudo de viabilidade econômica do sistema (segunda prova), simulando as diferentes bandeiras tarifárias já citadas no trabalho, para um horizonte de 25 anos. Após estes resultados consta uma breve avaliação deles, conforme a metodologia de avaliação já apresentada nos procedimentos metodológicos.

3.1 Resultados da Primeira Prova

A potência fotovoltaica (FV) obtida foi de 22,51kWp; como o mercado não oferece um kit de valor fixo, foi escolhido um kit de 23,4kWp. Ademais, cabe frisar que é preciso ter a parte de proteção e segurança para o sistema. Tais elementos constam relacionados no Quadro 2 (página seguinte).

Quadro 2 – Componentes para o sistema fotovoltaico

Componentes do Kit	Componentes de proteção e segurança
1 inversor solar On Grid Refusol 867P020010 20kW TRIF 380V.	Disjuntor DC.
72 painéis solares Canadian CS6U-325P 325W.	Monitoramento de isolamento.
10 conectores MC4 machos/ 10 conectores MC4 fêmea.	Monitoramento de rede – Voltagem, frequência, anti-ilhamento, Injeção DC.
150 metros de cabo solar preto/150 metros de cabo solar vermelho.	Fusíveis de strings.
18 estruturas terrestres para 4 placas, com ângulo variável de 5 a 30 graus.	Separação de rede através de relé de rede redundante.
	Monitoramento de corrente residual
	Proteção interna contra sobre tensão tipo 3.

Fonte: Elaborado pelos autores

Com base nos resultados apresentados, identificou-se como necessário uma área mínima para esse sistema de 144m². O custo com equipamentos para este tipo de necessidade específica (para este projeto) era em torno de R\$87.989,00. Tomando como base o valor cobrado pelas empresas atuantes no mercado, o valor de instalação representa 15% do valor dos equipamentos necessários, o que resultou em R\$ 13.198,00, resultando em um investimento total de R\$ 101.187,35.

A ligação recomendada pelo fabricante indica 4 arranjos ligados em série de 18 painéis. Vale dizer que os itens principais de um sistema fotovoltaico são os inversores e os painéis fotovoltaicos. O inversor que compõe o kit chamou a atenção por apresentar em seu modelo 20kW, sendo realizada uma consulta em seu DataSheet, o qual apresentou as informações da Tabela 4.

Tabela 4 – Dados do inversor

Potência FV máxima recomendada (kWp)	30
Tensão DC máxima (V)	1000
Corrente DC operacional máxima (A)	41,8
Número de entradas DC	6
Potência AC nominal (kW)	20
Conexão à rede	L1, L2, L3, N, PE
Tensão AC nominal (V)	400
Frequência nominal (Hz)	50, 60
Corrente AC máxima (A)	3 x 29,2

Fonte: Elaborado pelos autores com base no Datasheet

É possível verificar que o mesmo suporta a energia gerada pelo sistema, visto que o valor de 20 kW representa a potência de nominal do mesmo e a máxima admitida é de 30 kW_p. O fator de dimensionamento do inversor (FDI) se refere a um valor tomado como base para análise de custo benefício do inversor, que caso estando sobre dimensionado acarreta um valor desnecessário de investimento. O FDI do objeto de estudo apresentou 0,854, o qual se encontra dentro dos níveis aceitos pelos fabricantes. Ao analisar o DataSheet do modelo de painel especificado foram obtidos os seguintes dados da Tabela 5.

Tabela 5 – Dados dos painéis fotovoltaicos

Potência nominal máx. (P _{max})	325 W
Tensão operacional (V _{mp})	37 V
Corrente operacional (I _{mp})	8,78 A
Eficiência do módulo	16,7%
Temperatura operacional	-40° ~ 85°
Dimensões	1960x992x40mm

Fonte: Elaborado pelos autores com base no Datasheet

Cabe dizer que este painel fotovoltaico apresenta um relatório de ensaio emitido pela Universidade de São Paulo, com relatório de ensaio número 80055, o qual recebeu selo do INMETRO e PROCEL.

3.2 Resultados da Segunda Prova

Os cálculos para a segunda prova foram realizados em Excel, tendo os parâmetros dispostos na Tabela 6. (página seguinte)

Tabela 6 – Dados de entrada

Dado	Parâmetro
Média do consumo mensal de energia elétrica: considerada para toda a vida útil do projeto	2759 kWh
Média de geração mensal de energia elétrica: potência gerada na melhor inclinação	3453,84 kWh
Degradação da capacidade do conjunto	De 10 – 12 anos - 90% De 13 – 25 anos - 80%
Custo com equipamentos	R\$ 87.989,00
Custo com instalação dos equipamentos	R\$ 13.198,00
Investimento inicial (equipamentos + instalação)	R\$ 101.187,35
Custo de manutenção anual de 1% do valor dos equipamentos	R\$879,89
Tarifa consumo utilizada	0,62 kWh
Custos das Bandeiras Tarifárias	Verde: Sem acréscimo Amarela: 0,01/kWh Vermelha Patamar 1: 0,03/kWh Vermelha Patamar 2: 0,05/kWh
Taxa empregada para correção dos valores da tarifa de energia elétrica	8,13% ao ano
Taxa de reajuste sobre o custo de manutenção do equipamento	6,07% ao ano
TMA	6,75% ao ano
Considerada a mesma vida útil para todos os equipamentos	25 anos

Fonte: Elaborado pelos autores

Primeiramente foi realizado o cálculo da viabilidade econômica baseado na tarifa verde. Os valores obtidos, de TIR, VPL, *Payback* Simples e *Payback* Descontado, conforme os métodos de cálculo já apresentado no Quadro 1, no horizonte de 25 anos, com tarifa verde, estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Dados econômicos obtidos simulando a bandeira verde

TIR	26,52%
VPL	R\$ 422.538,07
<i>Payback</i> Simples	4 anos e 6 meses
<i>Payback</i> Descontado	5 anos e 6 meses

Fonte: Elaborado pelo autor

O segundo cenário de estudo se refere ao horizonte de 25 anos com bandeira amarela, o que resulta em um acréscimo na fatura, conseqüentemente, aumentando os valores de entrada de caixa, visto que o valor a ser pago na fatura será a entrada no fluxo de caixa. Os valores de TIR, VPL, *Payback* Simples e *Payback* Descontado, obtidos no horizonte de 25 anos, com tarifa amarela, são apresentados na Tabela 8. (página seguinte)

Tabela 8 – Dados econômicos obtidos simulando a bandeira amarela

TIR	26,75%
VPL	R\$ 426.341,76
<i>Payback</i> Simples	4 Anos e 6 meses
<i>Payback</i> Descontado	5 Anos e 5 meses

Fonte: Elaborado pelo autor

O terceiro cenário de estudo foi simulado utilizando a tarifa vermelha no patamar 1. Os valores de TIR, VPL, *Payback* Simples e *Payback* Descontado, obtidos no horizonte de 25 anos, com tarifa amarela, estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Dados econômicos obtidos simulando a bandeira vermelha patamar 1

TIR	27,23%
VPL	R\$ 433.949,15
<i>Payback</i> Simples	4 Anos e 5 meses
<i>Payback</i> Descontado	5 anos e 3 meses

Fonte: Elaborado pelos autores

No quarto cenário de estudo foi simulado a utilização da bandeira vermelha no patamar 2, o que representaria um cenário de crise nos reservatórios hídricos do Brasil. A Tabela 10 representa os valores de TIR, VPL, *Payback* Simples e *Payback* Descontado utilizando a tarifa vermelha patamar 2. Este último cenário de estudo apresentou os melhores resultados com TIR, VPL, *Payback* Simples e *Payback* Descontado, visto que os gastos em energia seriam maiores se não fosse utilizado o sistema de geração solar. Ademais, a entrada de caixa é maior, pois os valores a serem pagos na conta de energia seriam maiores.

Tabela 10 – Dados econômicos obtidos simulando a bandeira vermelha patamar 2

TIR	27,70%
VPL	R\$ 441.556,53
<i>Payback</i> Simples	4 anos e 4 meses
<i>Payback</i> Descontado	5 anos e 2 meses

Fonte: Elaborado pelo autore

3.3 Avaliação das provas para a tomada de decisão

É importante dizer, com base nos resultados apresentados, que pela análise técnica e pela análise econômica o sistema é considerado como viável e passível de execução. Em todos os cenários de simulação aplicando-se as bandeiras tarifárias o projeto se mostrou viável e passível de ser executado, como pode ser observado na Tabela 11.

Tabela 11 – Comparativo de resultados para diferentes bandeiras tarifárias

	B. Verde	B. Amarela	B. Vermelha 1	B. Vermelha 2
TIR	26,52%	26,75%	27,23%	27,70%
VPL	R\$ 422.538,07	R\$ 426.341,76	R\$ 433.949,15	R\$ 441,556,53
<i>Payback</i>	4 anos e 6	4 anos e 6	4 anos e 5	4 anos e 4 meses
<i>Simple</i>	meses	meses	meses	
<i>Payback</i>	5 anos e 6	5 Anos e 5	5 anos e 3	5 anos e 2 meses
Descontado	meses	meses	meses	

Fonte: Elaborado pelo autore

Para todos os casos o VPL é maior que zero, bem como a TIR é maior que a TMA. Ademais, caso o investidor executar esse projeto, bem como, caso se tenha cenários de mudanças de bandeira tarifária, quanto maior o acréscimo do kWh consumido, melhor será para este investidor quanto ao retorno de investimento no que se refere a VPL, TIR, *Payback* Simple e *Payback* Descontado. Também, considerando a vida útil dos equipamentos em 25 anos, pode-se dizer que o prazo do retorno do investimento no período entre 5 e 6 anos é considerado como muito bom para a empresa.

5. Considerações Finais

Com este trabalho foi possível delinear um sistema de geração distribuída de energia elétrica produzida por painéis fotovoltaicos para um Departamento, de uma Autarquia Municipal responsável pelo abastecimento de água e esgoto de uma cidade do Rio Grande do Sul, na qual a Autarquia sofre com elevados gastos em energia elétrica. Primeiramente realizou-se uma revisão bibliográfica do tema em geral, onde foi possível

obter conhecimentos relacionados ao funcionamento do sistema, normas vigentes e dados primordiais para elaboração do trabalho.

Para a análise da viabilidade técnica, o primeiro passo foi reunir as faturas de energia elétrica do Departamento a ser estudado na Autarquia Municipal. Após isso, foi possível realizar o estudo do consumo médio anual deste consumidor, dado primordial para início do processo de escolha do sistema fotovoltaico necessário para suprir o consumo do objeto de estudo.

A partir dos dados de latitude e longitude, obtidos através do Google Maps, ao acessar o site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito e fornecer esses dados, foi montada a tabela referente a quantidade de irradiação solar, dado um certo ângulo de inclinação. Fato este que viabilizou o projeto do sistema, pois, como este seria instalado em solo, foi possível obter a maior quantidade de irradiação pelo fato de poder escolher o ângulo de inclinação dos painéis.

Todos os dados obtidos foram aplicados na equação para determinar o sistema do gerador fotovoltaico, o que possibilitou a escolha do sistema no fornecedor, junto com a lista de equipamentos e custos, os quais foram utilizados para o início do processo de análise de viabilidade econômica.

Na viabilidade econômica foram simulados 4 cenários diferentes, tendo entre eles sua principal diferença o valor que seria pago em faturas de energia elétrica, o qual aumentaria o valor do kWh conforme os anos e a influência das bandeiras tarifárias – verde, amarela, vermelha patamar 1 e vermelha patamar 2. Destaca-se que as três últimas apresentadas possuem acréscimo a cada kWh consumidos, fazendo com que o valor considerado na entrada de caixa se tornasse maior.

O estudo técnico se mostrou viável para instalação, visto que, o Brasil como um todo apresenta elevados índices de irradiação solar, o que, no sistema de estudo, foi um privilégio a escolha de ser instalado em solo, visto que seria possível aproveitar ao máximo a irradiação solar.

Conclui-se para o caso analisado que, quanto maior o valor do kWh, maior e mais rápido será o retorno econômico do investimento. Na aná-

lise dos dados econômicos todos os cenários de estudo obtiveram VPL maior que zero, o que já indicou que o projeto devia ser aceito. Ademais, a TIR em todos os cenários de estudo apresentou valores maiores que a TMA escolhida, mostrando que o investimento é passível de execução. O *Payback* Simples e o *Payback* Descontado dos cenários estudados não apresentaram grandes variações, mas se mostraram bem atrativos, visto que a vida útil dos equipamentos é consideravelmente grande.

Entende-se que ao final de uma pesquisa, outros trabalhos possam ser realizados com outros enfoques, bem como algumas recomendações são indicadas. Sabendo-se disso, fica as seguintes sugestões:

- Testar casos de estudos referentes a instalação em sistemas (comerciais, industriais ou residenciais) prevendo um financiamento, um aumento de consumo, a troca de inversor (visto que a literatura atual indica a necessidade da troca do mesmo no período de 15 anos), bem como com a utilização de dados mais exatos das bandeiras tarifárias (sendo considerados a vigência deles em cada período do ano);

- Que as pesquisas de instalação de sistemas fotovoltaicos, que elas abordem o uso do cálculo do retorno do investimento pelo *Payback* Descontado, por esta ferramenta proporcionar um valor mais confiável, considerando o valor do dinheiro no tempo.

Referências

ABREU FILHO, José Carlos. **Finanças corporativas**. José Carlos Franco de Abreu Filho, Cristóvão Pereira de Souza, Danilo Américo Gonçalves, Marcus Vinícius Quintella Cury. (Org.). Rio de Janeiro: Editora FGV, 2007.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482**, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

_____. **Resolução Normativa Nº 687**, de 24 de novembro de 2015a. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.

____. **Resolução Homologatória N° 1.859**, de 27 de fevereiro de 2015b. Estabelece as faixas de acionamento e os adicionais das bandeiras tarifárias, de que trata o submódulo 6.8 do PRORET, com vigência a partir de 2 de março de 2015b.

BORDEAUX-REGO, R. et al. **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. Rio de Janeiro: FGV, 2013.

BRITO, Paulo. **Análise e Viabilidade de Projetos de Investimentos**. São Paulo: Atlas, 2000.

BUARQUE, C. **Avaliação Econômica de Projetos: uma apresentação didática**. Rio de Janeiro: Campus, 1984.

CASAROTTO Filho, Nelson. **Elaboração de Projetos Empresariais: análise estratégica, estudo de viabilidade e plano de negócio**. São Paulo: Atlas, 2011.

CRESESB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: mai. 2018.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Nota Técnica EPE: Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em:<http://www.cogen.com.br/content/upload/1/documentos/Solar/Solar_COGEN/NT_EnergiaSolar_2012.pdf>. Acesso em: mai. 2018.

FERREIRA, Roberto G. **Engenharia Econômica e avaliação de projetos de investimento: critérios de avaliação, financiamentos e benefícios fiscais, análise de sensibilidade e risco**. São Paulo: Atlas, 2009.

GOOGLE MAPS. **Plataforma Google Maps**. Disponível em:<<https://cloud.google.com/maps-platform>>. Acesso em: mai. 2018.

FREZATTI, Fábio. **Gestão da viabilidade econômico-financeira dos projetos de investimento**. São Paulo: Atlas, 2008.

GITMAN, Lawrence Jeffrey. **Princípios de Administração Financeira**. Tradução técnica Antonio Zoratto Sanvicente. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2004.

INFLATION. **Inflação Histórica Brasil – IPC**. 2018. Disponível em: <<http://pt.inflation.eu/taxas-de-inflacao/brasil/inflacao-historica/ipc-inflacao-brasil.aspx>>. Acesso em: mai. 2018.

IPEA. **Taxa de juros - Selic - fixada pelo Comitê de Política Monetária**

(Copom). Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>>. Acesso em: mai. 2018.

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **Energia Solar no Brasil: Situação e Perspectivas**. Brasília, Câmara dos Deputados, Consultoria Legislativa, 2017.

PASSOS, F. L. L. **Metodologia e Ferramenta computacional para estudo da viabilidade técnica e econômica de um Sistema de Microgeração Fotovoltaica**. 2016. 173 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, Pelotas, 2016.

PINHO, J. T., GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014.