

# REFS

REVISTA  
ELETRÔNICA DA  
FACULDADE  
SINERGIA



VOLUME 10 – NÚMERO 16 – JUL./DEZ. - 2019

The logo for Sinergia, featuring a stylized white 'S' with a horizontal line through it, set against a dark blue background.

**SINERGIA**

# SINERGIA SISTEMA DE ENSINO LTDA. Faculdade Sinergia

**Presidente da Mantenedora e Diretor Geral da Faculdade Sinergia**  
Prof. João Batista Matos

**Vice-Diretor Geral e Coordenador Administrativo da Faculdade Sinergia**  
João Marcos Matos

**Coordenadora Acadêmica e Procuradora Educacional  
Institucional - PI**  
Professora Lucia Mateus

**Coordenadora Pedagógica e do Curso de Pedagogia**  
Profa. Marlete dos Santos Dacorregio

**Coordenadora do Ensino Superior e dos Cursos de  
Administração e Tecnologia em Logística**  
Profa. Marília Soares

**Coordenador do Curso de Direito**  
Profa. Cristiane Silva

**Coordenadora dos cursos de Engenharia Civil e de  
Engenharia de Produção**  
Profa. Josiane Elias Nicolodi

**Coordenadora dos cursos de Pós-Graduação *lato sensu***  
Profa. Viviane Frainer

## REFS

---

Revista Eletrônica da Faculdade Sinergia

e-ISSN 2595.9735

### **Sobre a Instituição...**

O Sinergia Sistema de Ensino Ltda., mantenedora da Faculdade Sinergia (cursos de Administração, Direito, Engenharia de Produção, Engenharia Civil, Pedagogia e Tecnologia em Logística) e também do Colégio Sinergia, é autorizado pela Portaria de Renovação de Recredenciamento MEC n.º 261, D.O.U. de 23/03/2018, tem seus atos constituídos, registrados pelo CNPJ 04.220.662/0001-28 e está localizado na Av. Prof. Cirino Adolfo Cabral, 199 – Bairro São Pedro – Cx. Postal 53 – CEP: 88.370-053 – Navegantes – SC, Fone: (0xx47) 3347-9700 – Fax: (0xx47) 3342-9723.



**Sinergia Sistema de Ensino LTDA. - Faculdade Sinergia**

O conteúdo apresentado na presente edição (apresentação de fatos, opiniões, etc.) é de inteira responsabilidade dos autores.

# REFS

Revista Eletrônica da Faculdade Sinergia

e-ISSN 2595.9735

## EQUIPE EDITORIAL

### Editora

Professora Viviane Frainer

### Comissão Editorial

Professor Ana Luíza Colzani

Professor Andrey Felipe Cé Soares

Professor Jader Rieffe de Almeida

Professora Josiane Elias Nicolodi

Professora Marlete dos S. Dacoreggio (Presidente)

## EQUIPE TÉCNICA

### Coordenação Editorial

Professora Viviane Frainer

### Projeto Gráfico e Editoração

Professora Viviane Frainer

### Capa

Fábio Borba

### Revisoras de Texto

Professora Nalba Lima de Souza

Professora Viviane Frainer

### Bibliotecária

Elem Rose Escalissi Damasceno

### Suporte Técnico

Ismael Carlos dos Santos

### Jornalista

Silvia Dalefe

Catálogo na fonte elaborada pela Bibliotecária - Elem Rose Escalissi Damasceno - CRB 14/1210

Revista Eletrônica da Faculdade Sinergia / Sinergia Sistema de Ensino - v.10, n.16, jul./dez. (2019) - Navegantes: Faculdade Sinergia, 2018- . v.

Semestral

e-ISSN 2595.9735

Anteriormente publicada como Revista Ponte.com Sinergia, v.1, n.1, jul./dez. (2004), até o v.9, n.13, jan./jun.2018, publicação impressa, com ISSN 1807-2712.

1. Argamassa. 2. Solos - Análise. 3. Recursos naturais renováveis. 4. Efeito estufa (Atmosfera). 5. Aço - Propriedades mecânicas. 6. Análise estrutural (Engenharia). 7. Complexo Portuário do Rio Itajaí-Açu. 8. Planejamento urbano. 9. Geometria na arquitetura. 10. Fractais. 11. Taludes (Mecânica do solo) - Estabilidade. 12. Aterro sanitário. 13. Cisalhamento. I. Sinergia Sistema de Ensino.

CDD 620

**PERIODICIDADE:** Semestral

Ano 2019 – volume 10 – número 16 – jul./dez.

### ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA

Av. Prefeito Cirino Adolfo Cabral, 199, Bairro São Pedro, Navegantes-SC. CEP 88.370-053.

Fone: (47) 3342.9738

E-mail: revistaonline@sinergia.edu.br

# EDITORIAL...

## DÉCIMA SEXTA EDIÇÃO

Caro(a) leitor(a)!

No segundo semestre do ano de 2019 temos mais uma edição da REFS - Revista Eletrônica da Faculdade Sinergia que é publicada para os(as) acadêmicos(as) da Faculdade Sinergia e para o público em geral.

Nessa edição temos a honra de apresentar algumas produções de professores e acadêmicos das Engenharias dessa Instituição.

Os textos apresentados abordam temáticas relevantes para o momento, na área da Engenharia Civil, a impressão 3D, as energias renováveis, argamassa e análise de solos, na área da Engenharia de Produção as propriedades mecânicas de um aço comum com baixo teor de carbono e, ainda, um estudo de caso sobre a infraestrutura precária de transposição da barreira geográfica do Itajaí-Açu.

A todos que contribuíram com suas publicações, nosso muito obrigado!

"Um ladrão rouba um tesouro, mas não furta a inteligência. Uma crise destrói uma herança, mas não uma profissão. Não importa se você não tem dinheiro, você é uma pessoa rica, pois possui o maior de todos os capitais: a sua inteligência. Invista nela. Estude!"  
Augusto Cury.



A sociedade hoje é para aqueles que pensam fora da caixa, vão além do que solicitado na sala de aula, buscam mais do que notas e tem sede de conhecimento, com certeza o sucesso profissional os aguarda.

Desejo a todos leitores uma boa leitura!

Prof<sup>a</sup> Josiane Elias Nicolodi  
Coordenadora dos cursos de Engenharia Civil e Engenharia  
de Produção da Faculdade Sinergia

# SUMÁRIO

A VIABILIDADE DA ARGAMASSA POLIMÉRICA NO ASSENTAMENTO DE TIJOLOS.....	7
COMNISKY, William Gispiela; SOUZA, Maicon Anderson de.....	7
CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM AÇO COMUM COM BAIXO TEOR DE CARBONO .....	16
COUTO, Duileu Edemilson; LOURENÇO, Adriano José; COSTA, Kelvin Guilherme; VIDAL, Douglas Ferreira .....	16
ENERGIAS RENOVÁVEIS - TIPOS, DEFINIÇÕES, IMPLEMENTAÇÃO.....	24
DECKER, Ricardo; SOUZA, Maicon Anderson de.....	24
GARGALOS PRODUTIVOS NO TERRITÓRIO INTERMUNICIPAL DE ITAJAÍ E NAVEGANTES - UM ESTUDO DE CASO.....	37
FLORES, Heloísa Cristina .....	37
GEOMETRIA FRACTAL - UMA ABORDAGEM NA ENGENHARIA CIVIL COM A IMPRESSORA 3D.....	49
NICOLODI, Roberto; NICOLODI, Josiane Elias.....	49
ANÁLISE BIDIMENSIONAL DA ESTABILIDADE DE TALUDE DE ATERRO SANITÁRIO NA PRESENÇA DE PLÁSTICO MOLE.....	60
TEIXEIRA, Wagner; FELTRIM, Fernanda; GAWLIK, Francismara Martins; IZZO, Ronaldo Luis dos Santos.....	60



# A VIABILIDADE DA ARGAMASSA POLIMÉRICA NO ASSENTAMENTO DE TIJOLOS

## RESUMO

Na construção civil, atualmente, variados são os tipos de materiais e formas de realizar um serviço, como a execução de uma parede de alvenaria, por exemplo. Que materiais usam-se para isso? Nota-se facilmente que o processo de obter o insumo principal, que seria a argamassa, é algo trabalhoso e quando executado de maneira convencional, gera muitos resíduos e desperdícios. Nesse contexto, é possível obter uma argamassa com viabilidade técnica, sustentável e econômica simultaneamente? Na busca de resposta para esta pergunta, utilizou-se como metodologia estudos bibliográficos, utilizando-se como referência obras literárias, análise de estudos e ensaios já executados deste produto e similares por Paul Filho (2016) e Rocha (2012), dentre outros, como também, questionamentos feitos a um gestor de obras de uma construtora, sobre seu conhecimento em relação à argamassa polimérica, sua utilização e consolidação nos canteiros de obras. Tem-se como objetivo, a partir desta pesquisa, verificar se há viabilidade econômica, sustentável, técnica na utilização da argamassa polimérica que se apresenta como uma inovação com capacidade de substituição das argamassas convencionais devido a otimização do tempo e segurança que proporciona. Mesmo com diversos benefícios econômicos de uso, sustentáveis e produtivos, constatou-se que é necessário aprofundar-se em estudos sobre sua resistência mecânica e flexibilidade para distribuição de forças, como também, deve ocorrer a capacitação da mão de obra regional para trabalhar com a argamassa polimérica de forma eficaz para obter-se garantia na qualidade do serviço.

**Palavras-chave:** Argamassa polimérica. Viabilidade. Assentamento.

## INTRODUÇÃO

A construção civil constantemente se adapta a mudanças, seja para promover a sustentabilidade, controle de desperdícios nos processos construtivos,

COMNISKY, William Gispuela.  
Acadêmico do Curso de  
Engenharia Civil. Técnico em  
Edificações (SENAI).  
william.gispuela@gmail.com  
<http://lattes.cnpq.br/2034302384099>  
191

SOUZA, Maicon Anderson de.  
Pós-Graduação em nível de  
Especialização em Engenharia  
de Segurança do Trabalho  
(FURB); Graduação em  
Engenharia Civil (FURB).  
Engenheiro de segurança do  
trabalho. Professor (SINERGIA).  
Coautor.  
eng\_maicon@hotmail.com  
<http://lattes.cnpq.br/2219870751291>  
343

COMNISKY, William Gispuela; SOUZA, Maicon Anderson de. A viabilidade da argamassa polimérica no assentamento de tijolos. **REFS – Revista Eletrônica da Faculdade Sinergia**, Navegantes, v.10, n.16, p. 07-15, jul./dez. 2019.

assim como algumas provenientes de exigências (novas ou atualizações) legais através das normas técnicas (ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas). Nesse cenário de mudanças, métodos e produtos industriais e químicos estão sendo cada vez mais implantados nesta área. Nesse contexto, é possível obter uma argamassa com viabilidade técnica, sustentável e econômica simultaneamente?

O presente artigo procura responder a essa pergunta, baseado em estudos bibliográficos, utilizando-se como referência obras literárias, análise de estudos e ensaios já executados deste produto e similares por Paul Filho (2016); Rocha (2012), dentre outros, como também, questionamentos feitos a um gestor de obras de uma construtora, sobre seu conhecimento em relação à argamassa polimérica, sua utilização e consolidação nos canteiros de obras, com o objetivo de verificar se há viabilidade econômica, sustentável e técnica na utilização da argamassa polimérica que se apresenta como uma inovação, com capacidade de substituição das argamassas convencionais ou cimentícia devido a otimização do tempo e por proporcionar maior segurança para quem a manuseia (SILVA et al., 2015).

Para tanto, tem-se como objetivos específicos, através desta pesquisa: a) contextualizar sobre a argamassa polimérica, suas propriedades e finalidades; b) apurar se a argamassa polimérica atende as normas técnicas vigentes de aplicação desse tipo de produto; c) identificar se a argamassa polimérica se apresenta como produto viável tecnicamente, sustentavelmente e economicamente para utilização nos canteiros de obras, principalmente para realização de assentamento de blocos cerâmicos.

A argamassa polimérica, apesar de suas variações, constitui-se na maior parte de resinas sintéticas, cargas minerais e aditivos. Apresentada comercialmente no Brasil somente em 2011 na FEICON (Feira Internacional da Construção), principalmente para realização de assentamento de blocos cerâmicos, despertou dúvidas sobre a viabilidade e atendimento às

funções básicas de solidarizar, transmitir e promover a uniformidade das tensões entre os blocos cerâmicos, sendo possível “absorver pequenas deformações e prevenir a entrada de água e de vento nas” construções (RAMALHO; COELHO, 2003, p. 7).

Caso detecte-se a inviabilidade de utilização deste produto no decorrer desse estudo, será apresentada justificativa da decisão, adicionando o ponto de vista de quem atua e possui experiência, um líder de obras formado em Engenharia Civil, e que possui conhecimento da importância de cumprir os prazos de produção e de manter a qualidade de trabalho, atendendo as normas técnicas e viabilizando o custo da execução de cada atividade.

Apesar da argamassa tratar-se de uma proposta atrativa, pouco se nota o produto em uso nas obras da região do Vale do Itajaí em Santa Catarina, gerando questionamentos quanto à viabilidade de utilização em empreendimentos, por motivos até mesmo de ordem cultural ou regional, todavia identifica-se diversos benefícios econômicos de uso, sustentáveis e produtivos. Assim, constata-se que é necessário aprofundar-se em estudos sobre sua resistência mecânica e flexibilidade para distribuição de forças, como também, capacitação da mão de obra regional para trabalhar com a argamassa polimérica de forma eficaz para obter-se garantia na qualidade do serviço.

## 1 ARGAMASSA POLIMÉRICA - PROPRIEDADES E FINALIDADES

A argamassa é um dos principais produtos do mercado atual responsável pela alta geração de resíduos no setor de construção civil. Por outro lado, é a que traz inovações para esse mercado com o intuito de melhorar o rendimento técnico, de produção, evitar desperdícios e priorizar a sustentabilidade em cada ação, minimizando impactos ambientais. Nesse contexto, a argamassa polimérica surge no mercado para atender os objetivos supracitados, com a proposta de melhorar o



manuseio e o rendimento, propriedades de resistência e aderência maior que as convencionais e menor custo para execução. Trata-se de um “[...] compósito sem a presença de cimento, feito de agregantes inorgânicos unido por uma resina aglomerante que tem a função de substituir o cimento” (MOTTA, 2014, p. 2) devido seu tempo de cura ser longo e pela produção de 7% da emissão de CO<sup>2</sup> ao meio ambiente (ALI; SAIDUR; HOSSAIN, 2011).

Apesar de suas variações, a argamassa polimérica constitui-se na maior parte de resinas sintéticas, cargas minerais e aditivos. Por conter polímeros em sua formulação, que contribuem para as propriedades mecânicas da argamassa, seja em seu estado fresco ou não, possui maiores resistências mecânicas, aderência e moldabilidade. Entre todas as propriedades, podemos identificar a tixotropia, que permite que a argamassa seja utilizada e moldada em superfícies verticais e inclinadas (HELENE, 1992).

A finalidade do uso do produto é variável. Pode ser utilizado em casos específicos como recuperações estruturais e em ambientes agressivos, onde demanda uma maior resistência química e mecânica, assim como em impermeabilizações, visto que na maioria dos casos se destaca e até mesmo substitui as mantas asfálticas, por exemplo (RECENA, 2015). Nesse caso, Souza e Bé (2014) afirmam que:

O impermeabilizante líquido (argamassa polimérica) possui como características principais a resistência a pressões hidrostáticas tanto positivas quanto negativas, fácil aplicação, não altera a potabilidade da água, é uma barreira contra sulfatos e cloretos, uniformiza e sela o substrato, reduzindo o consumo de tinta.

Em casos de recuperações estruturais, o produto é aplicado devido seu desempenho quanto à aderência com base acrílica obter resultados mais satisfatórios que argamassas para reparo sem adição de polímeros, provando que o uso de adesivos poliméricos proporciona benefícios aos materiais de reparo. Isso porque, com as propriedades existentes na argamassa tem-se uma boa aderência ao substrato, evitando o risco de que ocorra uma falha nesse

processo, o que permitiria o acesso de agentes deterioradores, fragilizando uma região já reparada (SOUZA; SOUZA, 2017).

Ainda, a argamassa polimérica é uma opção para assentamentos de blocos cerâmicos, todavia despertou desde seu surgimento dúvidas sobre a viabilidade e atendimento às funções básicas de solidarizar, transmitir e promover a uniformidade das tensões entre os blocos cerâmicos.

Enfim, com a inovação e competitividade constante do mercado, através do desenvolvimento de novos produtos, uma das principais exigências do mercado seriam por materiais mais sustentáveis e práticos, que apresentem maior resistência e durabilidade durante seu uso e após a finalização do serviço, com garantia da qualidade, o que torna a argamassa polimérica a escolha ideal para atender tais requisitos, cumprindo a proposta inicial.

Este produto pode ser denominado como um compósito que contem materiais agregados de pedra, brita e cascalho, combinado com um aglomerante polimérico, seja uma resina termoplástica ou termofixa, que é a mais comum (MOTTA, 2014).

### 1.1 ATENDIMENTO ÀS NORMAS TÉCNICAS EM RELAÇÃO À APLICAÇÃO DO PRODUTO

Indicada para alvenaria de vedação e refratária, após testes do Instituto Falcão Bauer (2011), foi constatado que a alvenaria assentada com argamassa polimérica da Empresa FCC atendeu os parâmetros da NBR 15575-4/2013 quanto aos ensaios de impacto de corpo mole, estanqueidade, cargas suspensas e impacto de corpo duro. Percebeu-se também que não houve influência de forma direta na resistência à compressão das paredes.

Os ensaios de durabilidade, estanqueidade e resistência mecânica foram feitos através de câmaras climáticas de envelhecimento acelerado. Com o produto sendo exposto a altas temperaturas até 1.200 °C durante cerca de 240 minutos, também se obteve a conclusão de que é impermeável, além

de apresentar ótimos resultados que atenderam a requisitos mínimos de desempenho, após ser submetido a impactos de corpos moles e duros de até 720 Jaules (FCC).

## 1.2 VIABILIDADE

Para ser possível a verificação da viabilidade de se adotar a argamassa polimérica em obras, ela deve atender algumas normas de trabalho de forma positiva, quando comparada as outras argamassas. Para tal constatação, são realizados ensaios em ambientes controlados, de acordo com especificações técnicas, com ensaios em estado fresco e endurecido, avaliando a consistência, taxa de retenção de água, resistência a compressão, prismas ocos (NBR 15961-2/2011), teor de ar encorpado e custo por m<sup>2</sup>, comparando com outras argamassas (ROCHA, 2012).

Com intuito de verificar a consistência para uso desta argamassa, seguindo o método de ensaio estabelecido pela NBR 13276/2016, Rocha (2012) em seu estudo utilizou um molde tronco-cônico com tampo e paredes umedecidas e “[...] preenchido em três camadas de 15, 10 e 5 golpes consecutivos [...]”, com o conjunto sendo centralizado na mesa de índice de consistência, procedendo para o rasamento com a manivela do equipamento, provocando 1 golpe por segundo, durante 30 segundos. O resultado leva em consideração a média de três medidas dos pontos equidistantes no diâmetro final da massa (ROCHA, 2012, p. 43).

A argamassa polimérica obteve o melhor resultado, conforme pode ser verificado no Quadro 1, com 56mm de espalhamento, contra a argamassa moldada *in loco* (traço 1:6) com 171mm e a argamassa industrializada com 110mm, provando assim, ser mais trabalhável e consistente que as demais, apesar das normas não estipularem limites ou medidas específicas para este tipo de ensaio realizado (ROCHA, 2012).

Quadro 1 - Resultados da determinação de consistência para argamassas de assentamento de bloco cerâmico.

Tipo de argamassa	Espalhamento (mm)
Argamassa não cimentícia	56

Argamassa moldada <i>in loco</i> (traço 1:6)	171
Argamassa industrializada	110

Fonte: Rocha (2012, p. 44).

A determinação da retenção de água de cada argamassa é um dado de extrema importância na pesquisa para atendimento da NBR 13277/2005. Dados que foram obtidos através de ensaios utilizando um molde cilíndrico de aço que possuía 100mm de diâmetro, ao qual foi inserido argamassa dos três tipos para comparação. Usando neste ensaio ainda duas telas de gaze, 12 discos de papel-filtro e uma placa centralizada de 2kg que foram colocados sobre as argamassas, levando os papéis-filtros para balança, após a contagem de dois minutos, foi calculada a retenção de água através da fórmula (ROCHA, 2012):

$$Ra = 1 - \frac{(Mf + Mse)}{AF \times (Mma - Mm)} \times 100$$

Sendo:

Ra - Retenção de água, em porcentagem.

M - Massa de argamassa industrializada ou soma das massas dos componentes Anidros no caso de argamassa de obra, em gramas.

AF - Fator água/argamassa fresca.

Mf - Massa do conjunto de discos molhados de papel-filtro, em gramas.

Mse - Massa do conjunto de discos secos, em gramas.

Mma - Massa do molde com argamassa, em gramas.

Mm - Massa do molde vazio, em gramas (ROCHA, 2012, p. 45).

Conforme NBR 13281/2005, valores acima de 90% após aplicação de ensaio, consistem em argamassas de alta retenção de água. Os dados obtidos no estudo de Rocha (2012) comprovam que a única que se classifica de retenção normal é a industrializada com 89%, já a moldada *in loco* chegou a 98% e a com maior retenção de água, sendo a polimérica, atingiu 100%.

A perda de água de forma rápida prejudica a obra, pois provoca a perda de aderência, resistência, diminuindo sua capacidade de absorver as deformações por forças externas. Assim, a argamassa polimérica torna-se a escolha ideal para melhor trabalhabilidade.

Em estudos no estado endurecido, para realizar ensaio de compressão e teor de ar

encorpado com a argamassa polimérica, o estudo de Paul Filho (2016) identificou problemas de cura, devido a mesma ter contato com o ar. Nesse caso, utilizou-se recipientes normatizados e não se obteve uma cura perfeita por serem grandes, sendo necessário aplicar corpos de prova 2x2x2cm para tais argamassas devido esta dificuldade de moldagem.

Nesse contexto, foi possível chegar a este resultado, após 28 dias: tanto a argamassa industrializada utilizada, quanto à polimérica obtiveram uma resistência à compressão muito alta para finalidade de vedação, pois com valores nesta margem, as argamassas não teriam flexibilidade suficiente para distribuir os esforços de maneira ideal como forma de vedação. Desta maneira, percebeu-se que não é viável aplicar a argamassa não cimentícia para encunhar, por exemplo, devido a esses altos valores de resistência, consequentemente aumentando o valor de seu módulo e ocasionando possivelmente, o aparecimento de fissuras ao longo do tempo (PAUL FILHO, 2016).

Para reprodução do ensaio de prismas ocós, foi criado um ambiente que representou, da forma mais fiel possível, as condições do dia a dia em uma obra. Para tanto, foi realizado o assentamento dos prismas em uma tábua nivelada e por tempo pré-determinado, os quais, após organizados de forma adequada, foram submetidos a testes de compressão, obtendo-se o resultado pela divisão da carga de ruptura pela área líquida dos blocos (ROCHA, 2012).

Constata-se que, devido a uma característica de assentamento que a argamassa polimérica possui, que seriam duas linhas de aproximadamente 1 cm de diâmetro cada, aplicadas sobre o bloco cerâmico, ocorre a distribuição de tensões através dessas linhas, demonstrando que, nesse caso, o comportamento desse produto apresenta-se inferior, quando comparado às outras argamassas que cobrem uma área maior do bloco e, consequentemente, possuem melhor distribuição de tensões ao ocorrer esforços de compressão (ROCHA, 2012).

Em relação à composição dos custos de aplicação deste em obras, apesar do alto custo

do produto, quando comparado com outras argamassas, foi possível observar no estudo de Rocha (2012) valor total de R\$ 18,67 (Quadro 2) por m<sup>2</sup> de blocos cerâmicos assentados com argamassa polimérica, levando em consideração a mão de obra para conclusão, também. Enquanto a argamassa convencional (traço 1:6) somada a 400ml de aditivo por saco de cimento somou um total de R\$ 26,24 (Quadro 3) por m<sup>2</sup>, a argamassa industrializada teve um custo total de R\$ 25,31 (Quadro 4) m<sup>2</sup>. Quanto aos custos por m<sup>2</sup>, a polimérica obteve destaque pelo baixo custo de produção.

Quadro 2 - Composição de custo para um metro quadrado de alvenaria de bloco cerâmico, assentado com argamassa não cimentícia.

ITEM	COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	P. UNIT	SUB TOTAL
MATERIAIS	Argamassa não cimentícia	Kg	1,70	2,00	3,40
	Tijolo (9x14x19)	um	35,00	0,26	9,10
	SUB-TOTAL PARCIAL DOS MATERIAIS				12,50
MÃO-DE-OBRA	Pedreiro	h	0,40	4,86	1,94
	Servente	h	0,20	3,37	0,67
	ENCARGOS SOCIAIS	%	135,72		2,62
	SUB-TOTAL PARCIAL DA MÃO DE OBRA				6,17
	CUSTO TOTAL DO SERVIÇO				18,67

Fonte: Rocha (2012, p. 72).

Quadro 3 - Composição de custo para um metro quadrado de alvenaria de bloco cerâmico, assentado com argamassa traço 1:6 e 400 mL de aditivo por saco de cimento.

ITEM	COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	P. UNIT	SUB TOTAL
MATERIAIS	Cimento Portland CPII-E-32	kg	7,10	0,34	2,41
	Areia média	m <sup>3</sup>	0,05	50,00	2,30
	Aditivo plastificante	l	0,07	4,20	0,29
	Tijolo (9x14x19)	um	30,00	0,26	7,80
	Betoneira	h	0,17	0,83	0,14
	SUB-TOTAL PARCIAL DOS MATERIAIS				12,94
MÃO-DE-OBRA	Pedreiro	h	0,70	4,86	3,38
	Meio oficial	h	0,30	3,71	1,09
	Servente	h	0,35	3,37	1,17
	ENCARGOS SOCIAIS	%	135,72		5,64
	SUB-TOTAL PARCIAL DA MÃO DE OBRA				13,30
CUSTO TOTAL DO SERVIÇO				26,24	

Fonte: Rocha (2012, p. 71).

Quadro 4 - Composição de custo para um metro quadrado de alvenaria de bloco cerâmico, assentado com argamassa industrializada.

ITEM	COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	P. UNIT	SUB TOTAL
MATERIAIS	Argamassa Industrializada	kg	18,00	0,50	8,91
	Tijolo (9x14x19)	um	30,00	0,26	7,80
	Betoneira	h	0,17	0,83	0,14
	SUB-TOTAL PARCIAL DOS MATERIAIS				16,85
MÃO-DE-OBRA	Pedreiro	h	0,60	4,86	2,92
	Servente	h	0,20	3,37	0,67
	ENCARGOS SOCIAIS	%	135,72		3,59
	SUB-TOTAL PARCIAL DA MÃO DE OBRA				8,46
CUSTO TOTAL DO SERVIÇO				25,31	

Fonte: Rocha (2012, p. 72).

### 1.3 SUSTENTABILIDADE

Calcula-se que a cada tonelada de cimento produzido no Brasil é liberado mais de 600kg de CO<sup>2</sup> na atmosfera, o que o torna um dos principais materiais responsáveis por emissão de gases prejudiciais ao meio ambiente no ramo da construção civil (SILVA et al., 2015; FAPESP, 2016).

Pensando na argamassa polimérica como opção para assentamentos de blocos

cerâmicos, substituindo, assim, o cimento, o ganho em relação à impacto ambiental é imenso, pois a argamassa polimérica não emite gás algum na atmosfera durante sua produção. Minimizando, desta forma, impactos nos leitos dos rios devido a sua composição livre de gases poluidores, o consumo de areia na construção é reduzido, como também de água, visto que o produto já é fornecido pronto para uso diretamente de fábrica, geralmente em bisnagas de 3kg (SILVA et al., 2015).

## 2 A ARGAMASSA POLIMÉRICA NO CANTEIRO DE OBRAS - PESQUISA DE CAMPO COM ENGENHEIRO CIVIL E LÍDER DE OBRA

Para fins de pesquisa e coleta de dados a respeito do produto em estudo, um profissional ativo, atualmente na gerência de obras no litoral do Vale do Itajaí, foi procurado para compartilhar sua experiência em relação ao uso da argamassa polimérica no assentamento de blocos cerâmicos em alvenaria.

Em pesquisas similares, anteriormente, 32 pessoas foram questionadas quanto ao manuseio da argamassa polimérica para assentamento de blocos cerâmicos. Destas, 23 responderam que não, devido à falta de estudos técnicos para garantia da qualidade do produto a médio e longo prazo, o fornecimento dificultoso para área onde se desenvolveu o estudo (Grande Vitória/ES), e, ainda, por reprovação dos gestores da empresa (MOREIRA; VERMELHO; ZANI, 2017).

Quanto aos 9 profissionais submetidos à pesquisa supracitada, que afirmaram já terem utilizado a argamassa polimérica, relataram vantagens e desvantagens na sua utilização, conforme apresenta-se no Quadro 5.

Quadro 5 - Vantagens e desvantagens relatadas na entrevista.

VANTAGENS	DESVANTAGEM
Redução de mão de obra	Maior consumo de blocos
Aumento de produtividade	Tratamento da mão de obra
Redução na quantidade de insumos e equipamentos	Resistência por parte da mão de obra
Diminuição na quantidade de resíduo	Exigência de blocos de maior qualidade
Simplificação da logística no canteiro de obras	Uso de argamassa convencional na primeira fiada

Redução nos custos referentes a alvenaria	Não é recomendada para alvenaria estrutural
---	---

Fonte: Moreira; Vermelho; Zani (2017, p. 18).

Tal resultado será levado em consideração e comparado com as conclusões do gestor de obra entrevistado para averiguar se consolida-se a afirmação em ambos os casos.

A entrevista em questão ocorreu em uma obra no município de Penha/SC, com um Engenheiro Civil formado pela UDESC (Joinville/2013-II). Os questionamentos aplicados referiam-se ao conhecimento e também em relação a sua opinião quanto ao uso de argamassa polimérica no assentamento de blocos cerâmicos.

Em sua carreira profissional até o momento da entrevista, declarou nunca ter usado a argamassa em atividades contínuas, somente para teste de viabilidade, no qual foram obtidos resultados similares aos verificados, somando-se pontos positivos, como a maior produtividade, menor geração de resíduos e menor carga na estrutura. Porém, por outro lado, averiguou que o produto possui baixa absorção de tensões e compressão e acentua as falhas nos tijolos devido ao método de aplicação da argamassa e suas propriedades, exigindo maior qualidade dos blocos cerâmicos a serem usados para que se obtenha um assentamento perfeito.

As características que inviabilizam o uso da argamassa, de acordo com o que foi identificado pelo entrevistado, foi a falta de vazios assumido, resultando na impossibilidade de uso do produto para encunhamento, por

exemplo, pois ocasiona fissuras ao longo do tempo e com tendência de surgimento, principalmente, após os carregamentos que serão absorvidos no local aplicado.

Quando questionado a respeito do que seria necessário para a aplicação da argamassa polimérica em assentamento de blocos cerâmicos nas obras, na opinião do entrevistado, a implantação desse método de trabalho necessita de estudos mais conclusivos quanto à resistência à compressão e em relação à garantia de qualidade a médio e longo prazo, pois, até o presente momento, ainda não foi possível tal comprovação, e ainda, uma mudança na cultura da mão de obra contratada, pois no atual contexto, onde o mercado trabalha com contratações terceirizadas, na maior parte dos casos, implica em um processo burocrático definir como a empreiteira deve trabalhar. Como

## CONCLUSÃO

Em busca de argumentos para aumentar o manuseio e a aplicação, conclui-se que a argamassa polimérica possui melhor retenção de água e consistência que as demais, melhorando o processo de aplicação nos tijolos. Porém, não foi possível obter resultados satisfatórios quanto à viabilidade técnica, conforme foi apresentado nos ensaios de compressão e teor de ar encorpado, devido a problemas com o corpo de prova e o processo de cura do produto, necessitando adotar outro método de ensaio que seria o de prisma oco. Tal situação origina resultados inferiores neste meio de ensaio em razão de características de aplicação da argamassa polimérica que, como consequência, não provoca uma boa distribuição de tensões entre os blocos cerâmicos, quando ocorre esforços de compressão.

Quanto à viabilidade econômica, comprovou-se que adotar a argamassa polimérica é um meio mais econômico que os demais produtos similares, visto que os testes aplicados nas mesmas condições com várias argamassas tem-se, através dos resultados encontrados, uma grande diferença de custo na produção por m<sup>2</sup> de alvenaria.

sugestão, acredita que seria possível ocorrer incentivos por parte dos fornecedores do produto, com oferta de treinamento para a mão de obra ou incentivo de melhores preços e métodos eficazes de fornecimento.

Enquanto este quadro não é alterado, o assentamento de blocos cerâmicos é executado com argamassa industrializada, pois se obtém todas as garantias necessárias e exigidas pelas NBR's, devido a não ocorrer problemas de distribuição pelo fato do fornecedor estar próximo aos empreendimentos e também pelo encunhamento ser executado com a mesma argamassa. Ainda, há otimização no fornecimento do produto, facilidade na contratação de mão de obra, além de garantia de atendimento do serviço em prazo determinado.

Fica claro que, em relação à sustentabilidade, o produto atende os requisitos, pois apresenta imenso ganho em relação a impacto ambiental uma vez que a argamassa polimérica não emite gás algum na atmosfera durante sua produção.

Através dos estudos analisados, adquiridos por entrevistas com profissionais da área, torna-se possível afirmar que a argamassa polimérica possui propriedades ótimas e é usada para diversas atividades, porém, para assentamento de tijolos, a viabilidade técnica não foi comprovada efetivamente, sendo necessário obter uma melhor forma de aplicação, além da alta resistência que dificulta a distribuição das tensões na parede. Com os resultados dos ensaios constata-se que a aplicação de duas linhas com 1 cm de diâmetro em blocos cerâmicos que geralmente são irregulares nesta região, não se supre a necessidade de um bom assentamento de uma estrutura de vedação.

Para sua devida implantação como a argamassa principal no assentamento de tijolos, devem ser executados estudos, de preferência através de outras metodologias e alterações na sua resistência mecânica a ponto de promover

melhor distribuição de esforços. Como também aproximações mais eficazes e efetivas com os profissionais que executam tais tipos de serviços, para capacitação adequada da mão de obra na região, pois muitos a utilizam com colher de pedreiro e não com bisnaga, que seria a forma ideal de distribuição da argamassa polimérica. Para alterar o quadro atual dos serviços, seria ideal, também, divulgação da argamassa polimérica na região que ainda não é muito conhecida para este fim de assentamento de blocos cerâmicos, somado a oferta de bons preços e descontos para incentivar as empresas a adotarem a mesma, como produto principal.

Aliado ao que já foi concluído por ora, constata-se a incerteza da garantia da qualidade do serviço, o receio a problemas com relação a fornecimento, assim como cumprimento de

prazos das obras, fazendo com que esse produto não seja adotado como insumo principal para assentamento de blocos cerâmicos.

Em suma, com a análise dos resultados identificados através da metodologia proposta pela pesquisa, foi possível constatar que a viabilidade na utilização da argamassa polimérica no assentamento de blocos cerâmicos é possível, porém devem ser realizados estudos mais conclusivos, por meio de aplicações reais em ambientes controlados, envolvendo especialistas. Com a contribuição do profissional de engenharia entrevistado, parte da metodologia deste estudo, foi possível observar, também, que a cultura de trabalho deve ser modificada, ou seja, os fornecedores devem começar a adotar a prática de aproximação com a mão de obra atual da região.

## REFERÊNCIAS

ALI, M. B.; SAIDUR, R.; HOSSAIN, M. S.; A review on emission analysis in cement industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, vol. 15(5), p. 2252-2261, June, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 28 set. 2016.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 30 set. 2005.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 30 set. 2005.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15575-4**: Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 19 fev. 2013.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 159615-2**: Alvenaria estrutural — Blocos de concreto. Parte 2:

Execução e controle de obras. Rio de Janeiro: ABNT, 18 set. 2011.

FAPESP. **Especialistas discutem papel da indústria do cimento nas emissões de CO2**. 27 jun. 2016. Disponível em: <<http://agencia.fapesp.br/especialistas-discutem-papel-da-industria-do-cimento-nas-emissoes-de-co2/23449/>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

FCC. Disponível em: <<https://www.fcc.com.br/produtos/argamassas-polimericas/>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

HELENE, Paulo R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de Estruturas de Concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992.

MOREIRA, André Araujo Amato; VERMELHO, Lázaro Colodette; ZANI, Matheus Carreiro. Estudo da Argamassa Polimérica de Assentamento de Blocos e Tijolos Segundo Aspectos Técnicos, Econômicos, Mercadológicos e de Clima Organizacional. **Espacios**, Grande Vitória, v. 38, n. 53, p. 14-28, jul. 2017. ISSN 0798.1015.

MOTTA, Eduardo Pereira. **Caracterização mecânica de argamassas poliméricas de óleo de mamona reforçadas com fibra**

**natural de piaçava.** 2014. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.

PAUL FILHO, Farlei. **Estudo exploratório do comportamento mecânico de argamassas poliméricas e argamassas industrializadas ensacadas para assentamento de blocos de vedação.** 2016. 76 f. TCC (Graduação Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

RAMALHO, Marcio. A.; CORRÊA, Márcio R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural.** São Paulo: Editora Pini Ltda, 2003.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo Argamassa** [Recurso eletrônico]. 2. ed. reimpr. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2015.

ROCHA, Rebeca Silva. **Avaliação e comparação das propriedades mecânicas de uma argamassa pronta não cimentícia para alvenaria com e sem função estrutural frente às argamassas convencionais.** 2012.

84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2012.

SILVA, Alan da et al. **Utilização de Argamassa Polimérica no Assentamento de Tijolos ou Blocos.** 9p. AEDB – Engenharia Civil, Resende, 2015. Disponível em: <<https://www.aedb.br/wp-content/uploads/2015/05/101114.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

SOUZA, Daniel Augusto Silva de; BÉ, Gabriel Lemos. **Comparativo técnico entre manta asfáltica e impermeabilizante líquido.** 2014. 26 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2014.

SOUZA, Mateus Henrique de; SOUZA, Rafael Alves de. Análise das propriedades de uma argamassa de reparo de base acrílica. **Revista Técnico-Científica do CREA**, Paraná, Ed. Especial, set. 2017. ISSN 2358-5420.



# CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM AÇO COMUM COM BAIXO TEOR DE CARBONO

## RESUMO

O presente artigo tem como objetivo caracterizar uma liga de aço empregada na fabricação de componentes para a indústria naval. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, através de realização de uma revisão bibliográfica sobre o tema, assim como ensaios e análises a partir de amostras extraídas de um lingote aço de características desconhecidas. As amostras foram preparadas e submetidas à análise química, caracterização microestrutural e ensaios de tração com o emprego de técnicas e equipamentos adequados. A caracterização estrutural revelou se tratar de um aço ferrítico/perlítico, com elevada predominância de ferrita. Os ensaios mecânicos apontaram para um conjunto satisfatório de propriedades mecânicas. Os dados mostram resistência à tração ( $\sigma_R$ ) de 461,20 MPa, alongamento ( $\epsilon$ ) de 35,30 %, tensão de escoamento ( $\sigma_{esc}$ ) de 242,84 MPa, e módulo de elasticidade (E) de 240,00 GPa. A análise química apontou a presença dos elementos C (0,125 %p), Si (0,159 %p), Mn (0,732 %p), P (0,011 %p) e S (0,019 %p). A análise do conjunto de resultados obtidos mostrou que a aplicação adequada dos métodos de caracterização da liga permitiu determinar suas características químico-composicionais, microestruturais e de propriedades mecânicas, que demonstraram a correlação existente entre processamento, estrutura e propriedades do aço analisado, permitindo concluir se tratar de uma liga de aço-C de baixo teor de carbono, possivelmente da classe SAE 1010.

**Palavras-chave:** Microestrutura e propriedades. Caracterização estrutural. Análise química do aço.

## INTRODUÇÃO

Os aços são ligas metálicas à base de ferro-carbono largamente produzidas no mundo todo. Esse material possui uma vasta gama de propriedades mecânicas, que associadas a fatores, como o baixo custo de produção, motivam o seu emprego nos mais diversos projetos de

COUTO, Duileu Edemilson.  
Graduação em Construção Naval  
(UNIVALI). Acadêmico do Curso  
de Engenharia de Produção  
(SINERGIA).  
duileu@hotmail.com  
<http://lattes.cnpq.br/9185701963819>  
458

LOURENÇO, Adriano José.  
Acadêmico do Curso de  
Engenharia de Produção  
(SINERGIA).  
adrianojoselourenco@hotmail.com  
<http://lattes.cnpq.br/6985461835150>  
225

COSTA, Kelvin Guilherme.  
Acadêmico do Curso de  
Engenharia de Produção  
(SINERGIA).  
keld1111@hotmail.com

VIDAL, Douglas Ferreira.  
Doutorado em Engenharia e  
Ciência dos Materiais (UENF);  
Mestrado em Engenharia e  
Ciência dos Materiais (UENF);  
Pós-Graduação em nível de  
Especialização em Engenharia  
de Segurança do Trabalho  
(UCAM); Graduação em  
Engenharia de Produção  
(UNIVERSO). Professor  
(SINERGIA). Coautor.  
vidaltst@hotmail.com  
<http://lattes.cnpq.br/1582450655625>  
961

COUTO, Duileu Edemilson et al.  
Caracterização estrutural e propriedades  
mecânicas de um aço comum com baixo  
teor de carbono. **REFS – Revista  
Eletrônica da Faculdade Sinergia**,  
Navegantes, v.10, n.16, p. 16-23, jul./dez.  
2019.



engenharia. Seu conjunto de propriedades mecânicas está intimamente ligado às suas características estruturais, sendo essas totalmente dependentes dos parâmetros de fabricação das ligas, tais como a composição química, as taxas de resfriamento e o emprego de tratamentos térmicos e mecânicos.

Dentre os diferentes tipos de aço, destacam-se os aços-C de baixo teor de carbono, também conhecidos como aços para conformação mecânica. Esses aços constituem uma parcela significativa da produção mundial de metais, e são destinados a produtos planos (folhas, tiras e chapas) mecanicamente conformados para a posterior aplicação como painéis de carrocerias de automóveis, embalagens para alimentos, componentes para indústria da construção civil e construção naval, entre outras (SILVA; MEI, 2010).

Os aços-C são obtidos por via líquida, sendo elaborados no estado de fusão, e além do carbono apresentam em sua composição concentrações residuais de manganês, silício, fósforo e enxofre. Sua microestrutura típica é formada pelos constituintes estruturais ferrita e perlita. Aços-C com baixo teor de C, em estado bruto de fundição apresentam predominantemente estrutura ferrítica (CALLISTER, 2008; COLPAERT, 2008).

A caracterização estrutural e das propriedades mecânicas dos aços se configuram como importante instrumento de controle da qualidade da fabricação deste material, possibilitando maior segurança em sua seleção, e atendimento das condições de desempenho esperadas, por meio do estabelecimento da correlação entre os fatores processamento, estrutura e propriedades da liga (CALLISTER, 2008; COLPAERT, 2008; SILVA; MEI, 2010).

Com o objetivo de caracterizar uma liga de aço empregada na fabricação de componentes para a indústria naval, elencou-se como objetivos específicos: a) obter informações sobre o comportamento mecânico da liga estudada por meio de valores indicativos da resistência à tração, tensão de escoamento, ductilidade e módulo de elasticidade; b)

determinar a composição química; c) realizar a caracterização estrutural por meio de análise metalográfica qualitativa.

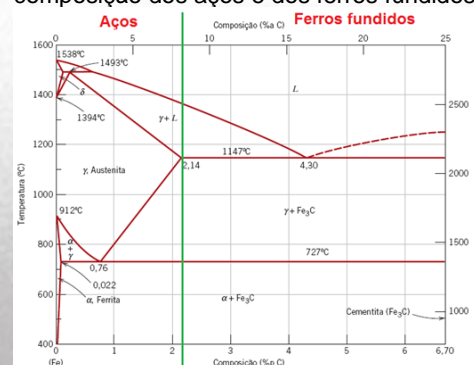
Assim, o presente artigo foi desenvolvido através de pesquisa qualitativa e quantitativa, com revisão bibliográfica sobre o tema, com base em autores como: Callister (2008), Silva e Mei (2010), entre outros, assim como ensaios e análises a partir de amostras extraídas de um lingote aço de características desconhecidas, possíveis graças ao apoio das empresas Keppel Singmarine que fez a doação do material estudado, grupo GMEG que oportunizou a usinagem dos corpos de prova e a Acearia Frederico Missner que permitiu a realização dos ensaios de tração e análise química.

A análise do conjunto de resultados obtidos mostrou que a aplicação adequada dos métodos de caracterização da liga permitiu determinar suas características químico-composicionais, microestruturais e de propriedades mecânicas, que demonstraram a correlação existente entre processamento, estrutura e propriedades do aço analisado, permitindo concluir se tratar de uma a liga de aço-C de baixo teor de carbono, possivelmente da classe SAE 1010.

## 1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Denomina-se aço-C, a liga ferro-carbono contendo, geralmente, de 0,008%p até aproximadamente 2,11%p de carbono (Figura 1), além de certos elementos residuais (Mn, P, S e Si), resultantes do processo de fabricação (CHIAVERINI, 2008).

Figura 1 - Diagrama Fe-C e identificação da faixa de composição dos aços e dos ferros fundidos

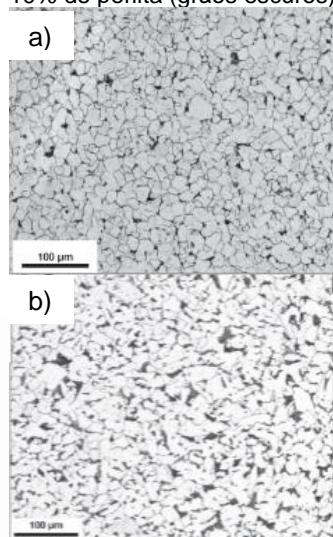


Fonte: Callister (2008).

As propriedades mecânicas dos aços são influenciadas, entre outros fatores, pela concentração de C na liga, que comumente não ultrapassa 1,0 %p. Aços que contêm menos de 0,25 %p C são classificados como aços de baixo teor de carbono (CALLISTER, 2008).

Esses aços apresentam estrutura ferrítica/perlítica, com predominância de grãos de ferrita (Figura 2). Do ponto de vista das propriedades mecânicas, os aços-C de baixo teor de carbono se caracterizam por apresentar, baixa dureza, resistência à tração que varia em uma faixa de 325 a 485 MPa, aliada à tensão de escoamento entre 180 e 260 MPa, e ductilidade entre 28% e 21% (Tabela 1). Essas ligas são tipicamente empregadas na fabricação de pregos, painéis automotivos, tubos, aços estruturais, chapas e vasos de pressão (CALLISTER, 2008).

Figura 2 - Microestrutura de aços comuns de baixo teor de carbono atacadas com nital 2%: a) um aço AISI 1005 normalizado, com estrutura de 95% ferrita (grãos claros) e 5% perlita (grãos escuros) b) um aço AISI 1010 normalizado, com estrutura de 90 % ferrita (grãos claros) e 10% de perlita (grãos escuros).



Fonte: Colpaert (2008).

Tabela 1 - Características mecânicas e aplicações típicas de aços-carbono comuns com baixo teor de carbono.

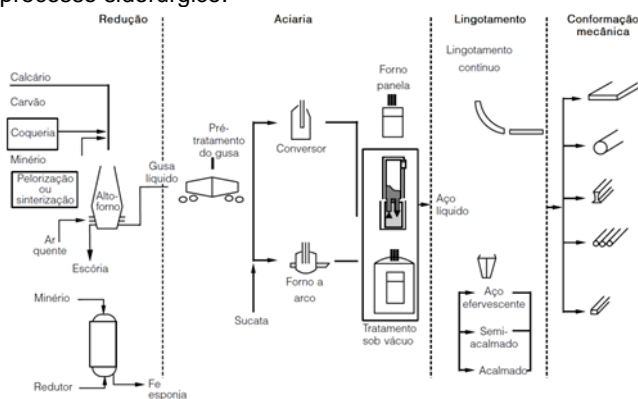
Aços – carbono comuns com baixo teor de carbono				
Liga	Limite de resistência a a tração (MPa)	Limite de escoamento (MPa)	Ductilidade (%)	Aplicações típicas.
1010	325	180	28	Painéis de automóveis, pregos e arames.
1020	380	210	25	Tubos, aço estrutural e em chapas.

A36	400	220	23	Estrutural (pontes e edificações).
A516 Classe 70	485	260	21	Vasos de pressão para baixas temperaturas.

Fonte: Adaptado de Callister (2008).

A fabricação dos aços ocorre pelo emprego de uma sequência de operações de transformação, que compõem o processo siderúrgico, denominadas etapas de redução, refino, lingotamento e conformação (Figura 3).

Figura 3 - Representação esquemática das etapas do processo siderúrgico.



Fonte: Silva e Mei (2010).

A operação de redução mais comum resulta na fabricação de ferro gusa, em alto forno. O alto forno é carregado com minério de ferro, coque e fundente. A mistura é aquecida e atinge temperaturas superiores a 1400 °C. Ocorre, então, uma sequência de reações termoquímicas, que resultam na produção do ferro gusa líquido, com aproximadamente 4,3%p de C em sua composição (SILVA; MEI, 2010).

Na etapa de refino, o objetivo é transformar o ferro gusa em aço através da oxidação do banho metálico. Essa etapa é executada na aciaria, com o emprego de um equipamento conversor. O conversor é carregado com ferro gusa, e na sequência, quantidades controladas de oxigênio são introduzidas no banho. O oxigênio se combina com o C e com outros elementos indesejados, formando óxidos que deixam o sistema na forma de gases, ou passam a integrar a escória. O resultado é a produção do aço líquido, com composição química desejada (Tabela 2), avaliada por controles de qualidade (SILVA; MEI, 2010).

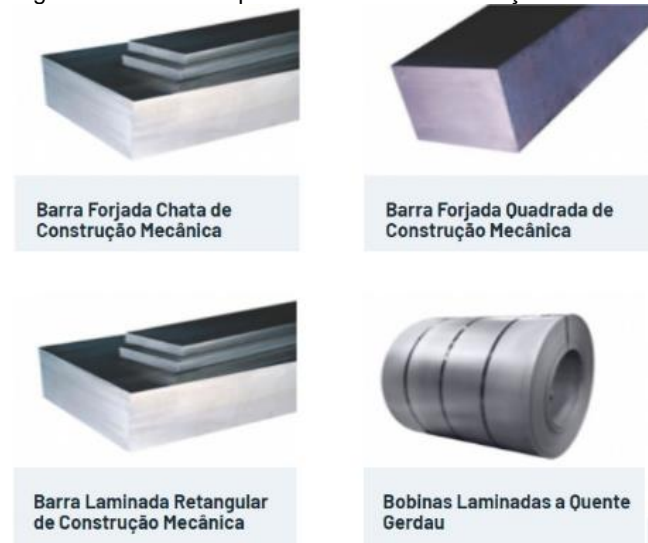
No lingotamento contínuo, o aço líquido é vazado nos distribuidores do lingotamento e solidificado na forma de tarugos, blocos ou placas que, posteriormente, são conformadas mecanicamente por um conjunto de operações, que resultam na produção de barras, vergalhões, trilhos, chapas, tubos, entre outros produtos (Figura 4).

Tabela 2 - Composição química de alguns aços-C e aços de baixa liga.

Liga	Composição química (%p)						
	Fe (min)	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo
A36	98,0	0,29	1,00	0,28	-	-	-
1010	99,1	0,10	0,45				
1020	99,1	0,20	0,45	-	-	-	-
1040	98,6	0,40	0,75	-	-	-	-
4140	96,8	0,40	0,90	-	-	0,90	0,20
4340	95,2	0,40	0,70	-	1,80	0,80	0,25

Fonte: Adaptado de Açovisa (2019); Callister (2008).

Figura 4 - Diferentes produtos fabricados em aço.



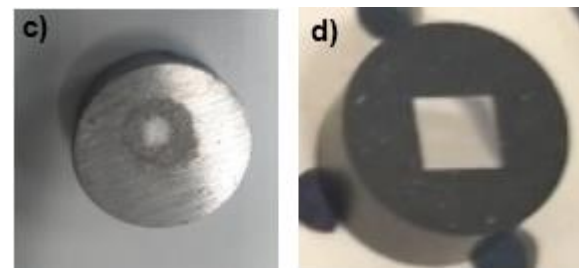
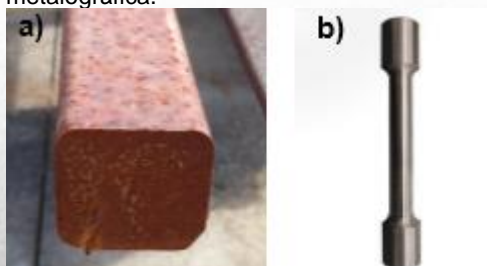
Fonte: Gerdau (2019).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

Para a realização deste trabalho utilizou-se um lingote de aço de baixo teor de carbono (Figura 5a), empregado na fabricação de componentes para indústria naval. O material foi obtido junto à empresa Keppel Singmarine Brasil, em seu estaleiro localizado na cidade de Navegantes, SC. O lingote foi seccionado e usinado para a produção de corpo-de-prova submetido a ensaio tração. Outras duas amostras foram retiradas e utilizadas para realização de análises química e metalográfica (Figuras 5b, c e d).

Figura 5 - a) Características do estado bruto do material estudado; b) corpo-de-prova para ensaio de tração, usinado a partir do material bruto; c) amostra empregada na análise química; d) amostra utilizada na análise metalográfica.



Fonte: Elaborado pelos autores.

### 2.2 MÉTODOS

#### 2.2.1 Ensaio mecânico de tração

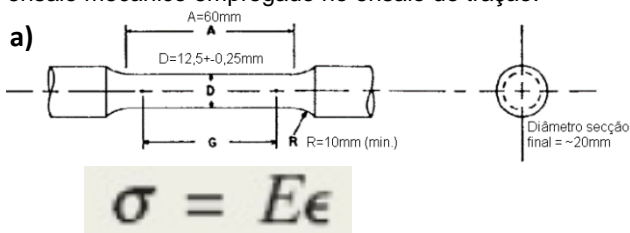
O ensaio mecânico de tração foi realizado com o objetivo de se obter informações sobre o comportamento mecânico da liga estudada. Buscou-se obter valores indicativos da resistência à tração, tensão de escoamento, ductilidade e módulo de elasticidade da amostra.

Utilizou-se corpo-de-prova padronizado (CP), que foi usinado, utilizando equipamento CNC, disponível na empresa GMEG, de acordo com os padrões dimensionais estabelecidos na norma ASTM A370-17 (*Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*), com secção transversal circular, de

12,5 mm de diâmetro, e comprimento útil de 60 mm.

O ensaio de tração foi realizado com o emprego de equipamento de ensaio universal EMIC GR048, disponível na Aciaria Frederico Missner (Figura 6). Os resultados referentes à resistência à tração e alongamento foram obtidos diretamente da curva tensão x deformação, fornecida no laudo do ensaio. O módulo de elasticidade (E) foi obtido pela aplicação da equação da lei de Hooke, tomando como base, dados de tensão e deformação extraídos da região linear da curva de engenharia.

Figura 6 - a) Esquema de CP para ensaio de tração estabelecido na ASTM A370-17, e equação usada para calcular o módulo de elasticidade (E), e b) equipamento de ensaio mecânico empregado no ensaio de tração.

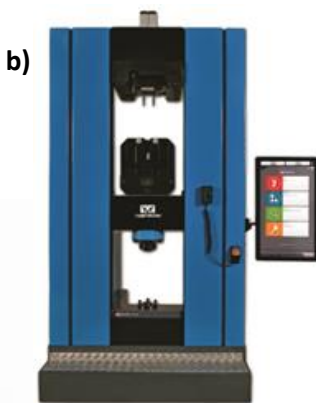


Onde:

$\sigma$  = Tensão (MPa)

E = Módulo de elasticidade (GPa)

$\epsilon$  = Deformação



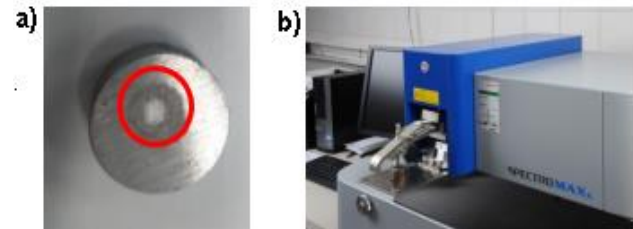
Fonte: ASTM (Figura 6a, adaptado pelos autores); EMIC (2018, figura 6b).

## 2.2.2 Análise química

A análise química feita na Aciaria Frederico Missner, determinou a composição da liga estudada. A análise foi executada com emprego das amostras preparadas e o uso do equipamento espectrômetro SpectroMaxx (Figura 7). O analisador avaliou os dados da composição química da liga por meio da queima

superficial da amostra, apontando automaticamente os resultados em porcentagem de peso para cada elemento identificado.

Figura 7 - a) detalhe da queima superficial da amostra utilizada para a realização da análise química; b) equipamento analisador SpectroMaxx.



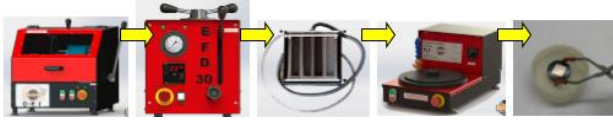
Fonte: Elaborado pelos autores.

## 2.2.3 Preparação e análise metalográfica

A preparação metalográfica foi realizada com o emprego dos recursos disponíveis no Laboratório de Produção da Faculdade Sinergia (SILAPRO), seguindo método clássico de preparação de amostras metálicas. A sequência operacional utilizada envolveu as etapas de corte, embutimento a quente, lixamento, polimento e ataque químico (Figura 8).

A etapa de corte foi realizada com o emprego da cortadora metalográfica CFI – Fortel. Para o embutimento, utilizou-se baquelite e a prensa embutidora metalográfica EFD – Fortel. Após embutida, a amostra foi submetida ao processo de lixamento. O lixamento a úmido foi realizado na lixadeira manual – LMF, utilizando-se uma sequência de lixas de carbetto de silício, com granulometria de 100, 220, 320, 400, 600 e 1000 mesh. Depois de lixada, a amostra foi polida com o emprego sequencial de pastas de alumina de granulometrias de 1  $\mu$ m e 0,5  $\mu$ m, na politriz metalográfica PLF. Ao término do polimento, a amostra foi atacada quimicamente com o uso do reagente nital 3% (97 ml de álcool etílico e 3 ml de ácido nítrico), através da técnica de imersão, com tempo de ataque de aproximadamente 10 segundos, revelando a microestrutura do material, o que possibilitou a realização da análise metalográfica.

Figura 8 - Equipamentos empregados na sequência operacional da preparação metalográfica da amostra analisada.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Após preparada, a amostra foi analisada de forma qualitativa através de técnicas de microscopia ótica, com o objetivo de identificar as fases presentes na estrutura da amostra estudada. A análise qualitativa foi realizada com o emprego do microscópio ótico Fortel (Figura 9), e seus recursos de obtenção de fotomicrografias digitais. As micrografias

analisadas foram obtidas sob regime de iluminação de campo claro, com aumentos de 40x, 100x, 200x e 400x.

Figura 9 - Microscópio ótico Fortel e seus recursos de obtenção de imagem utilizados para realização de análise qualitativa da amostra estudada.



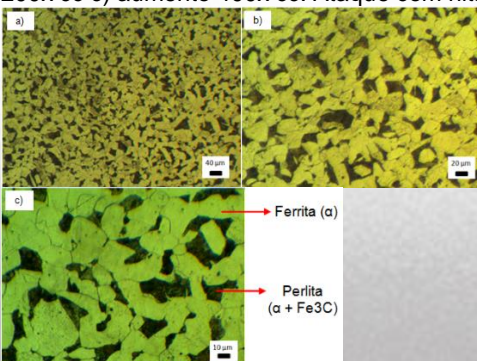
Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 ANÁLISE MICROESTRUTURAL QUALITATIVA

A análise microestrutural qualitativa foi realizada com imagens das amostras metalograficamente preparadas e quimicamente atacadas, obtidas em aumentos de 100x, 200x e 400x, em regime de iluminação de campo claro (Figura 10). As micrografias mostram que a liga é composta de grãos equiaxiais dos constituintes ferrita ( $\alpha$ ) e perlita ( $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ), com grande predominância de ferrita (regiões claras) e menor participação da perlita (regiões escuras) distribuídos por toda a amostra. As características estruturais apresentadas são indicativas de que se trata de um aço de baixo teor de carbono.

Figura 10 - Micrografias da liga de aço analisada. Observe a distribuição dos grãos equiaxiais de ferrita (regiões claras) e perlita (regiões escuras) por toda a extensão da amostra. a) aumento 100x, campo claro (cc), b) aumento 200x cc c) aumento 400x cc. Ataque com nital 3%.

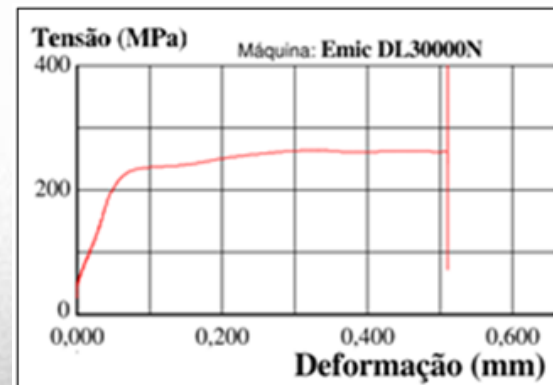


Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 3.2 ANÁLISE MECÂNICA

A curva de engenharia resultante do ensaio mecânico de tração está apresentada na Figura 11. Os dados obtidos no ensaio mostram que a liga apresenta resistência à tração ( $\sigma_R$ ) de 461,20 MPa e alongamento ( $\epsilon$ ) de 35,30 %. A tensão de escoamento ( $\sigma_{esc}$ ) é de 242,84 MPa, e o módulo de elasticidade (E) calculado é de 240,00 GPa (Tabela 3). O conjunto de propriedades apresentado pela liga estudada é bem semelhante às propriedades dos aços de baixo carbono apresentadas por Callister (2008), reforçando a tese de que a liga estudada trata-se de um aço de baixo teor de carbono.

Figura 11 - Curva de engenharia da amostra de aço estudada.



Fonte: Adaptado do relatório de ensaio de tração AFM.

Tabela 3 - Propriedades mecânicas do aço estudado, obtido através do ensaio de tração.

Propriedades mecânicas			
$\sigma_R$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	$\sigma_{esc}$ (MPa)	E (GPa)
461,50	35,30	242,84	240,00

Fonte: Adaptado do relatório de ensaio de tração AFM.

### 3.3 ANÁLISE QUÍMICA

Os resultados da análise química são mostrados na Tabela 4. Os dados apontam a

## CONCLUSÃO

Conclui-se, a partir da análise dos resultados, que a aplicação adequada dos métodos empregados para a caracterização da liga estudada (liga de aço), permitiu determinar suas características químico-composicionais, microestruturais e de propriedades mecânicas, demonstrando a correlação existente entre processamento, estrutura e propriedades do aço analisado. Os resultados mostram que a liga estudada apresenta uma estrutura ferrítica-perlítica, com grande predominância de ferrita. Os grãos se mostram equiaxiais e distribuídos uniformemente ao longo da amostra. A grande predominância de grãos ferríticos indica se tratar

presença dos elementos C (0,125 %p), Si (0,159 %p), Mn (0,732 %p), P (0,011 %p) e S (0,019 %p). O resultado indica que se trata de um aço-C de baixo teor de carbono, possivelmente da classe SAE 1010.

Tabela 4 - Composição química da liga de aço analisada.

Composição química (%p)				
C	Si	Mn	P	S
0,125	0,159	0,732	0,011	0,019

Fonte: Adaptado do relatório de ensaio químico AFM.

de um aço de baixo teor de C. O ensaio mecânico apontou  $\sigma_R$  de 461,50 MPa,  $\epsilon$  de 35,30%,  $\sigma_{esc}$  igual a 242,84 MPa e E de 240,00 GPa. Trata-se de uma gama de propriedades mecânicas típicas de um aço-C de baixo teor de carbono, que apresenta ainda um bom conjunto de resistência e ductilidade. A análise química mostra a presença dos elementos C (0,125 %p), Si (0,159 %p), Mn (0,732 %p), P (0,011 %p) e S (0,019 %p). A análise sistemática do conjunto de resultados obtidos corrobora com os dados pesquisados na literatura, permitindo afirmar que se trata de um aço de baixo carbono, possivelmente da classe SAE 1010.

## REFERÊNCIAS

AÇOVISA. Aços carbono. Disponível em: <<http://www.acovisa.com.br/aco/acos-carbono/>>. Acesso em: 31 maio 2019.

ASTM. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Corpo-de-prova-de-tracao-de-acordo-com-norma-ASTM-370-26-Teste-de-Impacto\\_fig2\\_278329449](https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Corpo-de-prova-de-tracao-de-acordo-com-norma-ASTM-370-26-Teste-de-Impacto_fig2_278329449)>. Acesso em: 15 jul. 2019.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia dos materiais**: uma introdução. Tradução Sérgio Murilo Stamile Soares. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

\_\_\_\_\_; RETHWISCH, D. G. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais**. Tradução Sérgio Murilo Stamile Soares. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**. 8. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materias, 2008.

COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4. ed. rev. ampl. André Luiz V. Costa e Silva. São Paulo: Blücher, 2008.

EMIC. 2018. Disponível em: <<http://www.emic.com.br/>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

GERDAU. 2019. Disponível em: <<https://www2.gerdau.com.br/produtos/naval>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 5. ed. Tradução Joaquim Pinheiro Nunes da Silva. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

MOURÃO, M. B. (Coord.). **Introdução à Siderurgia**. São Paulo: ABM, 2007.

PONTES, T. O. **Caracterização da microestrutura e microdureza de um aço SAE 1010 laminado a quente em planta industrial**. 2013. 47f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Metalúrgica) - Universidade Federal do Ceará, Curso de Engenharia Metalúrgica, Fortaleza, 2013.

SILVA, A. L. V. da C.; MEI, P. R. **Aços e ligas especiais**. 3. ed. São Paulo: Blücher, 2010.

USIMINAS. **Usiminas retoma produção do alto-forno 1 em Ipatinga**. 2018. Disponível em: <<https://www.usiminas.com/blog/usiminas-retoma-producao-do-alto-forno-1-em-ipatinga/>>. Acesso em: 30 maio 2019.



## ENERGIAS RENOVÁVEIS - TIPOS, DEFINIÇÕES, IMPLEMENTAÇÃO

### RESUMO

O aquecimento global é uma preocupação constante, assim, atualmente, a discussão sobre sustentabilidade e energias renováveis são tópicos muito debatidos. Pretende-se com este artigo identificar tipos de energias renováveis existentes, descobertas mais recentes sobre o tema, como forma de substituição aos combustíveis fósseis utilizados na geração de energia elétrica para atendimento à demanda da sustentabilidade (relação produção e consumo). Para tanto, levantou-se a seguinte questão: Existe viabilidade na utilização de energias de fontes renováveis para produção de eletricidade em substituição a combustíveis fósseis utilizados atualmente? Como forma de responder a essa pergunta, o presente estudo será embasado por uma pesquisa de natureza qualitativa, por meio de revisão bibliográfica. Devido à dificuldade de encontrar estudos idênticos, a pesquisa foi realizada de forma fragmentada, sem uma análise precisa, principalmente em relação a custos de investimento atual. Considerando o território brasileiro, sua geografia e sua localização no globo, bem como suas estações do ano, o Brasil é privilegiado para aplicação, na sua grande maioria, das energias renováveis analisadas, comparado com outros países, devido sua posição de excelência - clima, extensão de território, etc. Todas as fontes de energia estudadas são renováveis, nem todas apresentam-se totalmente limpas, todavia sobressaem-se aos recursos fósseis. A dificuldade de implementação em larga escala se dá, principalmente, devido a custos altos e investimentos paupérrimos, seja por incentivo governamental, seja por conhecimento técnico ou até mesmo escassez tecnológica.

**Palavras-chave:** Energias renováveis. Sustentabilidade. Efeito estufa.

### INTRODUÇÃO

Este artigo científico surgiu como trabalho final da disciplina de Materiais de Construção Civil II, ministrada pelo professor Maicon A. de Souza, tendo como base uma dissertação acerca do assunto energias renováveis.

DECKER, Ricardo.  
Acadêmico do Curso de  
Engenharia Civil (SINERGIA).  
vinhab26@hotmail.com

SOUZA, Maicon Anderson de.  
Pós-Graduação em nível de  
Especialização em Engenharia  
de Segurança do Trabalho  
(FURB); Graduação em  
Engenharia Civil (FURB).  
Engenheiro de segurança do  
trabalho. Professor (SINERGIA).  
Coautor.  
eng\_maicon@hotmail.com  
<http://lattes.cnpq.br/2219870751291>  
343

DECKER, Ricardo; SOUZA, Maicon  
Anderson de. Energias renováveis –  
tipos, definições, implementação. **REFS –  
Revista Eletrônica da Faculdade  
Sinergia**, Navegantes, v.10, n.16, p. 24 -  
36, jul./dez. 2019.



Optar por algum desse tipo de energia, torna-se evidente ao se observar sua importância e seu debate atual em nossa sociedade, com projetos criados para diminuir o uso de combustíveis fósseis e sua consequente poluição do meio ambiente. Sua substituição por uma forma mais limpa de energia, que não agrida o meio ambiente é sustentavelmente importante.

No intuito de responder a questão: Existe viabilidade na utilização de energias de fontes renováveis para produção de eletricidade em substituição a combustíveis fósseis utilizados atualmente?, tem-se como objetivo: identificar tipos de energias renováveis existentes, descobertas mais recentes sobre o tema, como forma de substituição aos combustíveis fósseis utilizados na geração de energia elétrica para atendimento à demanda da sustentabilidade (relação produção e consumo). Elencou-se, então, como objetivos específicos: a) compreender o funcionamento de conversão de cada energia renovável estudada; b) identificar a viabilidade de implementação dessas fontes renováveis no Brasil como fonte de energia elétrica; c) averiguar se todas as fontes de energia renovável estudadas são limpas e

atendem critérios de sustentabilidade; d) verificar a possibilidade de implementação de cada energia renovável em larga escala.

Este artigo tem natureza qualitativa, por meio de revisão bibliográfica, sendo utilizados livros (PHILIPPI JR; REIS, 2016; RASHID, 2014; REIS, 2011; SPIRO; STIGLIANI, 2009) e trabalhos científicos (ARBOIT et al., 2013; BIANCHINI, 2013; NASCIMENTO, 2015; QUEIROZ et al., 2013; SOUZA, CUNHA, SANTOS, 2013, dentre outros), como base para fundamentação teórica.

Fica claro que o território brasileiro, sua geografia (clima, extensão de território, etc.) e sua localização no globo, privilegia o Brasil para aplicação, na sua grande maioria, das energias renováveis analisadas, comparado com outros países. Todas as fontes de energia estudadas são renováveis, nem todas apresentam-se totalmente limpas, todavia sobressaem-se aos recursos fósseis. A dificuldade de implementação em larga escala se dá, principalmente, devido a custos altos e investimentos paupérrimos, seja por incentivo governamental, seja por conhecimento técnico ou até mesmo escassez tecnológica.

## 1 ENERGIAS RENOVÁVEIS

A alteração das formas de fabrico de energia, juntamente com a ampliação de fontes renováveis, que possibilitam, ao decorrer desta nova fase, modificar de uma matriz energética baseada em recursos fósseis para uma matriz energética predominantemente renovável (recurso que se reabastece naturalmente: chuva, sol, vento, maré, energia geotérmica), eventualmente sejam o tema mais discutido e popular deste cenário junto à sustentabilidade, observando as discussões relacionadas ao aquecimento global e às mudanças climáticas (PHILIPPI JR; REIS, 2016).

A crescente expansão da discussão acerca da sustentabilidade no mundo, hoje, se deve ao fato dos “[...] impactos causados ao meio ambiente, principalmente, na queima de combustíveis fósseis, como o petróleo, carvão

mineral, gás natural, etc. (BIANCHINI, 2013, p. 02).

Sustentabilidade, de acordo com Martins e Cândido (2010 apud NASCIMENTO, 2015, p. 16) baseia-se “[...] no crescimento das relações de produção e consumo, tem como principais implicações o aumento da poluição e aumento nos níveis de desigualdade social e de concentração de riquezas.”

A Declaração de Joanesburgo (2010) concebeu o conceito de desenvolvimento sustentável com base em três pilares: econômico, social e ambiental, “[...] prosperidade econômica, equidade social e qualidade ambiental, sendo igualmente importantes.” (TRIBESS-ONO; PANUCCI-FILHO, 2012, p. 05).

Nesse contexto, para que empresas obtenham destaque no cenário mundial, precisam demonstrar preocupação com questões sustentáveis, o que as obriga a traçar planos de metas que abarquem, integrem e mantenham equilíbrio de suas ações em relação a estes pilares, como forma de garantir a sustentabilidade do desenvolvimento.

No pilar social, a preocupação está concentrada nas relações, responsabilidades, transformações, planejamentos, impactos, desigualdades sociais. Para as empresas o produto é pensado nesse contexto, por exemplo; sua colocação no mercado levará em consideração o ambiente, a localização, as pessoas, como essa vertente fabril se comporta, como influencia o dia a dia das pessoas, etc.

No pilar econômico, a preocupação é, obviamente, com a viabilidade financeira da empresa e suas implementações sustentáveis. Naturalmente, qualquer empreendimento precisa de lucro para se manter competitivo no mercado, sendo assim, todo empreendimento deve levar em consideração, de modo harmônico e eficiente, o crescimento e a prosperidade econômica da organização. Este, conseqüentemente, influenciará no desenvolvimento dos demais pilares do desenvolvimento sustentável.

Por fim, o pilar ambiental. Aqui reside o assunto ao qual se tem interesse neste artigo científico, visto que, tudo que se relaciona a cuidados com a natureza se relaciona com este pilar, como: destinação correta de resíduos, reciclagem de lixo, energias renováveis, entre outras. A preocupação com as futuras gerações é real e urgente, pois percebe-se cada vez mais “[...] a limitação dos recursos naturais, a degradação ambiental e o consumismo desenfreado, então as alternativas para conter o desequilíbrio do sistema, se apoiam no conceito de desenvolvimento sustentável.” (TRIBESSONO; PANUCCI-FILHO, 2012, p. 02). Constatase, assim, que o meio ambiente tem participação direta no processo de gerenciamento de uma organização e relação direta com os outros pilares.

O Brasil é, segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 (ano base 2016), líder

entre os países que utilizam fontes renováveis em sua matriz (MINISTÉRIO..., 2017).

A seguir serão demonstrados tipos de energias renováveis que estão sendo estudados e aplicados recentemente, como funcionam, viabilidade de implementação, preocupações em relação à sustentabilidade e quais as dificuldades de implementação em larga escala. Os tipos de energias que serão abordadas neste estudo são: solar, eólica, oceânica, hidrelétrica, geotérmica e de biomassa.

## 1.1 ENERGIA SOLAR

O sol é a maior fonte de energia existente, desta forma, é o meio mais favorável, sustentável para conversão de energia térmica. Pode-se dizer, que é o principal tipo de energia renovável, visto que, as demais formas de energia necessitam da radiação solar para existir, com exceção da energia geotérmica (NASCIMENTO, 2015).

Trata-se de uma forma de energia concebida a partir do calor do sol ou da luz solar, fornecendo “[...] anualmente para a atmosfera terrestre cerca de  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia. Esse valor corresponde a 104 vezes o consumo mundial de energia neste período.” (BIANCHINI, 2013, p. 6). Assim, esse recurso energético vem ganhando cada vez mais notoriedade, apesar de tornar-se uma fonte cara, devido à exigência de tecnologia para aproveitamento e armazenagem (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

Sua implementação demanda medições e cálculos matemáticos para demonstrar os locais de maior incidência dos raios sobre a terra, onde a variação depende da altitude, amplitude do local e até mesmo da própria temperatura, para facilitar a melhor forma de captação da energia.

Para Pereira et al. (2006 apud TSURUDA et al., 2017, p. 1), “[...] o aproveitamento da energia solar é vantajoso em todo o território, mesmo nas regiões menos favorecidas pela irradiação solar.” Conforme já mencionado, pode ser vista como uma fonte cara em relação a combustíveis fósseis, todavia se refletido que o pico de consumo de energia está ligado a dias quentes, esse calor é propício para geração maior de energia solar térmica, tornando esta

bem mais atrativa como investimento (SPIRO; STIGLIANI, 2009) e desfrute futuro.

Spiro e Stigliani (2009, p. 54) detalham que a implementação desse tipo de energia pode ocorrer por meio de projetos passivos ou ativos:

Um projeto passivo maximiza a captura da energia solar direta para suprir a maior parte das necessidades [...] de um ambiente. Para isso, a edificação e suas janelas devem estar orientadas de modo a permitir a radiação solar no inverno e repeli-la no verão. Materiais densos, tais como concreto e pedra, são capazes de absorver radiação solar e armazená-la de forma a evitar flutuações de temperatura.

A ‘Parede Trombe’, revestida de material escuro acumula calor e somada a uma fachada de vidro separada por um vão de 2 a 4 cm é um exemplo de projeto passivo (SPIRO; STIGLIANI, 2009). Ao passar pela vidraça, o calor é atraído pela superfície escura e, automaticamente, armazenado e direcionado “[...] para o interior do ambiente através da parede de alvenaria.”, assim, o ambiente fica aquecido e confortável por um tempo, à noite, após um dia de irradiação (SPIRO; STIGLIANI, 2009, p. 54).

Já o projeto ativo constitui-se como outra alternativa, na qual:

[...] uma fonte de energia que não a solar move o sistema. [...] a água circula através de coletores de placa plana sobre o telhado, onde é aquecida pelo sol e bombeada para um tanque de armazenamento, que fornece calor e água quente. Esses edifícios também funcionam melhor quando a demanda de calor e água quente é minimizado por isolamento e conservação de água adequados (SPIRO; STIGLIANI, 2009, p. 54).

Esse tipo de energia minimiza gastos, representando uma economia de até 85% em uma conta mensal no consumo de água quente, mesmo assim, seu uso fica quase que restrito às residências e escritórios para aquecer a água e iluminar (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

Além desta forma de captação de energia solar, existem mais duas variações, como poderá ser averiguado a seguir. A primeira tecnologia utiliza-se da energia do sol para produção de energia térmica que aquece o fluido e gera potência mecânica ou elétrica; já a

segunda, transforma a energia do sol em energia térmica prontamente, com ajuda de determinados materiais.

Independente de como a luz solar será aproveitada, a fatura desse recurso é inegável e faz com que a utilização deste, para geração de energia, cresça em ritmo acelerado para atender programas de desenvolvimento sustentável.

No entanto, apesar de energia limpa e renovável, sua utilização requer alguns cuidados em relação a impactos ambientais. Apesar desse processo gerar menos resíduos, processos industriais sempre utilizam reagentes tóxicos e nocivos, “[...] além de um grande desprendimento energético para a aferição de elevadas temperaturas.” (NASCIMENTO, 2015, p. 69).

### 1.1.1 Eletricidade solar térmica

Com os estudos adequados, a ampliação da coleta dos raios solares pode ser expandida e utilizada para abastecimento industrial e até mesmo municipal, passando para uma utilização em larga escala.

A eletricidade solar térmica trata-se de aproveitamento da radiação solar para aquecimento do fluido de transferência localizado no interior dos coletores da luz solar, que em seguida é acumulado num tanque térmico e gera a eletricidade, servindo para aquecimento de água, de ambientes, dentre outros.

Spiro e Stigliani (2009) destacam três tipos de projetos de eletricidade solar térmica: calhas parabólicas, torres solares e sistemas de disco. Bianchini (2013) coaduna-se aos autores supracitados, todavia intitula as tecnologias de forma diferente em seu estudo: a) sistema cilindro parabólico (calhas parabólicas), b) sistema de torre de receptor central (torres solares), c) sistema de pratos parabólicos concentradores (sistemas de disco) e, ainda, acrescenta: d) concentradores Fresnel. Em ambos os tipos empregam-se espelhos que concentram os raios solares em até 5.000 vezes e, desta forma, geram altas temperaturas.

A calha parabólica ou sistema cilindro parabólico apresenta-se como a tecnologia mais testada e comprovada dentre esses tipos, sendo considerada com probabilidade de aplicação em menor prazo (SPIRO; STIGLIANI, 2009). Consiste em uma tubulação curvada que recebe e absorve o calor dos raios solares, organizada em fileiras coexistentes e ligadas entre si. O fluido que passa “[...] pela tubulação é aquecido a cerca de 400 °C e o calor é utilizado para gerar eletricidade em um gerador a vapor convencional” (SPIRO; STIGLIANI, 2009, p. 54). Esse fluido “[...] pode ser óleo, sal fundido, ou alguma outra substância que retenha bem o calor (BIANCHINI, 2013, p. 15).

A torre solar ou sistema de torre de receptor central refere-se a um campo de helióstatos, instrumento móvel que permite que os espelhos receptores girem, fazendo com que a “[...] a radiação solar direta seja refletida de forma constante em uma direção, direcionando os raios solares refletidos para o receptor central no alto da torre” localizado próximo ao campo de helióstatos (BIANCHINI, 2013, p. 22). O calor absorvido queimar o fluido (sal fundido) aproximadamente a 565 °C, podendo este já ser utilizado, como armazenado para utilização futura na geração de vapor, e, conseqüentemente de energia térmica. Essa tecnologia, apesar de menos ‘madura’ comercialmente, chega a suprir uma demanda de 65% do ano, sendo estimado que sua eficiência possa ser mais explorada e a menor custo quando comparado ao armazenamento das calhas parabólicas (BIANCHINI, 2013; SPIRO; STIGLIANI, 2009).

Os discos solares, a mais eficiente de todas as tecnologias solares, podem chegar a temperaturas de 800° C e geram de 5 KW a 50 KW, convertendo a [...] energia solar em eletricidade da ordem de 29,4%, no pico de eficiência” (SPIRO; STIGLIANI, 2009, p. 55).

Nesta tecnologia:

O prato parabólico concentrador é normalmente constituído por um coletor (espelhos parabólicos independentes), um receptor, um motor Stirling e um gerador. O coletor foca a radiação normal direta para o receptor, que transfere calor para o fluido de trabalho que aciona um motor de ciclo Stirling,

para acionar o gerador (BIANCHINI, 2013, p. 24).

Por sua vez, converte a energia solar em energia térmica.

Este projeto pode tanto trabalhar de forma independente, como numa composição de vários discos. Apresenta eficiência em concentração de calor e baixa perda térmica.

A eletricidade solar precisa ainda ser submetida a estudos, desta forma, mais experiência sobre será adquirida, conseqüentemente, melhoras significativas na produção de energia serão implementadas, reduzindo custos de implantação e aumento da escala energética. Ações que contribuirão para maior adesão desta forma de energia no futuro.

### 1.1.2 Energia solar fotovoltaica

Através do efeito fotovoltaico, os raios solares coletados por painéis solares são convertidos em eletricidade, diferente da eletricidade solar térmica, devido, à utilização de células fotovoltaicas. Essas células (dispositivo composto de material semicondutor), ao receberem a luz solar fazem com que os elétrons absorvam fótons que são transportados pelo semicondutor e ficam disponíveis para serem usados como energia elétrica.

Composta na sua grande maioria de silício (óxido de Silício SiO<sup>2</sup>, componente principal da cerâmica, do cimento e do vidro, etc.), as células foram desenvolvidas para uso em estação espacial e, ainda, passaram por mais quatro décadas por estudo para utilização nessa tecnologia de conversão em energia. A escolha do silício como matéria-prima se deve por seu maior rendimento para aplicação em larga escala, além de serem encontradas facilmente no Brasil jazidas de quartzo, de boa qualidade e, ainda pelos avanços tecnológicos em relação a sua manipulação serem recorrentes (DUPONT; GRASSI; ROMITTI, 2015; SPIRO; STIGLIANI, 2009).

Além do Silício, seja monocristalino, policristalino e amorfo, pesquisas recentes demonstram tecnologias diferentes sendo utilizadas na fabricação de células fotovoltaicas:

a) disseleneto de cobre, índio e galio; b) telureto de cádmio; c) semicondutores orgânicos.

A tecnologia fotovoltaica pode ser instalada em quase qualquer lugar do planeta. Seu sistema opera de forma silenciosa e pode durar até 25 anos, podendo fornecer energia para as coisas mais simples do nosso dia a dia (calculadores, relógios, pequenos utensílios, etc.), assim como para “[...] satélites de comunicação, bombas hidráulicas, iluminação, eletrodomésticos e máquinas em residências e locais de trabalho.” (RASHID, 2014, p. 727), sinais de trânsito e de rodovias.

Spiro e Stigliani (2009) apontam como vantagens da energia fotovoltaica: a versatilidade e simplicidade; menor custo quando comparado à construção de extensões de rede; não dependência de alta irradiação, todavia requer, através de cálculos e análise, identificar onde o nível de radiação incide, para apontar onde os painéis serão implantados.

Apesar deste sistema ser oneroso devido ao alto investimento inicial, houve expressiva redução do custo desta fonte de energia ao longo dos anos. Ainda, se levado em consideração a necessidade de implementação de novas energias que não as fósseis e as vantagens que esta apresenta, somado a estudos constantes realizados, percebe-se que é uma tecnologia que expressa grande possibilidade de expansão.

Nesta monta, dentre tudo já explanado, valida-se a viabilidade da utilização em larga escala desta forma de energia, tendo potencial para uma melhora e uma ampliação de uso exponenciais devido a alguns incentivos governamentais e ao amplo território existente no Brasil para aproveitamento.

## 1.2 ENERGIA EÓLICA

Utilizado há mais de 2000 anos como forma de energia, seja para impulsionar embarcações, engrenagens de moinhos, dentre outros, o vento como fonte para geração de eletricidade - a energia eólica, é algo recente, mas com crescente expansão (SOUZA, CUNHA, SANTOS, 2013; SPIRO; STIGLIANI, 2009).

Resultante do ar em movimento, a tecnologia da energia eólica se utiliza do vento que é formado pelas “[...] diferenças de temperatura do ar associadas às diferenças nas taxas de aquecimento solar” (SPIRO; STIGLIANI, 2009, p. 64), para formação de energia elétrica (RASHID, 2014; SOUZA, CUNHA, SANTOS, 2013; SPIRO; STIGLIANI, 2009). Ainda, pode ser utilizada para fins mais simples como “[...] carregar baterias, bombear água, moer grãos, [...]”, etc. (RASHID, 2014, p. 736).

A implementação desta fonte de energia depende da escala que se pretende ter. Sua utilização pode ser para aplicações em lugares isoladas, bem como associadas à rede elétrica. Para geração em escala maior, a quantidade de turbinas a serem empregadas, agrupamento em parques eólicos, assim como a disposição das mesmas, são pontos chave (RASHID, 2014). Essas turbinas comumente têm formato de moinho ou cata-vento, com pás propulsoras e estão localizadas sobre as torres, podendo ser encontradas em dois tipos: as de eixo horizontal e as de eixo vertical (mais raras devido ao pouco aproveitamento do vento).

Quanto mais alta for a torre, maior proveito é tirado do vento e menor turbulência é propiciada, todavia, em casos de ventos muito fortes, estarão suscetíveis a falhas na estrutura (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

Sua implementação requer estudo quanto ao lugar “[...] onde o vento sopra com uma força significativa e consistente” (RASHID, 2014, p. 736), pois ventos turbulentos e falta de estabilidade podem diminuir a sua eficiência. Para Rashid (2014), a velocidade do vento e sua qualidade são fatores críticos. Grubb e Meyer (1993 apud SOUZA, CUNHA, SANTOS, 2013, p. 13) expressam que, “[...] para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m<sup>2</sup>, a uma altura de 50 m, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s.”

De fonte natural e com característica renovável, a energia eólica “[...] não polui durante sua operação, portanto é vista como uma contribuição para a redução de emissão de

gases de efeito estufa e na redução da concentração de CO<sub>2</sub>” (SOUZA, CUNHA, SANTOS, 2013, p. 12) e na sua implantação o impacto ocorre na área de instalação da base do concreto, de forma pontual, com redução ou porcentagem quase nula de contaminação do solo, tanto na sua operação, quanto na sua manutenção. No entanto, devido ao funcionamento mecânico e pelo fluxo de ar nas pás, produz ruído que se intensifica conforme a força do vento.

Economicamente falando,

A energia gasta para produzir, instalar e para operação e manutenção de um aereogerador típico é produzida por esse mesmo aerogerador em menos de meio ano. Este fato torna a energia eólica uma das energias mais atrativas em termos de planejamento energético mundial (SOUZA, CUNHA, SANTOS, 2013, p. 15).

O investimento inicial reduziu em até 5 vezes, quando comparado ao ano de 1980, com potencial de redução maior. Atualmente, quando comparada à eletricidade gerada por combustível fóssil, é a alternativa com custo mais baixo, segundo Spiro e Stigliani (2009).

Assim, fica, claramente demonstradas as vantagens de uma implantação em larga escala desta forma de energia e de se aprofundar ainda mais os estudos a seu respeito.

### 1.3 ENERGIA OCEÂNICA

Dentre as várias fontes de energia estudadas, a energia oceânica ou híbrida (como também é conhecida), do mesmo modo é uma fonte renovável, pois causa menos impacto ao meio ambiente, não contribuindo para o aquecimento global, todavia, ainda está em fase de desenvolvimento, principalmente no Brasil, apesar dos avanços tecnológicos. Devido ao grande potencial energético, o Conselho Mundial de Energia (2000) aponta vantagens em sua utilização como: acessibilidade, aceitabilidade e disponibilidade do recurso (ESTEFEN et al., 2006).

O oceano contém energia térmica do Sol que afeta as atividades oceânicas, as marés e ondas produzem então energia mecânica, mas é a lua, através da atração gravitacional “[...] que

provoca as marés, e são os ventos que impulsionam as ondas oceânicas.” (RASHID, 2014, p. 749).

A energia oceânica refere-se à conversão da água do oceano em eletricidade. Segundo Spiro e Stigliani (2009, p. 67), “grande quantidade de energia está armazenada nos oceanos do mundo, sob a forma de marés e ondas, e em gradientes de temperatura e concentração de sal.”

A energia proveniente das ondas trata-se da extração direta da energia “[...] das ondas na superfície ou das flutuações de pressão abaixo desta.” Sua conversão em eletricidade se dá por sistemas instalados na costa litorânea, e também por sistemas em alto-mar.” (RASHID, 2014, p. 749). Para Estefen (2006), a energia presente nas ondas é em torno de 10 TW (1.000 Gigawatt), proporcionalmente a todo o consumo de eletricidade do planeta. Esta energia é captada por dispositivos de armazenagem. A energia da maré é convertida em eletricidade, atualmente, através do sistema de fluxo livre e do sistema de represa. Levando em consideração que “[...] as áreas costeiras passam por duas marés altas e duas baixas durante um período de pouco mais de 24 horas”, essa diferença pode ser aproveitada desde que o valor entre as marés seja de mais de 16 pés, o que não é encontrado com facilidade. Apesar da lentidão em frequência, apresenta quantidade enormes do maior recurso energético inexplorado, a energia cinética (RASHID, 2014, p. 752). Aproveitar a energia térmica do oceano para gerar eletricidade, significa utilizar “[...] a energia do calor armazenado nos oceanos”. A conversão será mais eficiente se a diferença de temperatura das águas profundas (fria) e as camadas superiores do oceano (quente) estiverem mais ou menos a 20 °C. Para tanto, usinas de conversão são implantadas, as quais trazem a água fria para a superfície através de um tubo de aspiração submerso a mais de 1.600 m no oceano. Trata-se de um tubo de grande diâmetro, com alto custo, mas, se mais acessível fosse, essa tecnologia poderia gerar “[...] bilhões de watts de energia elétrica (RASHID, 2014, p. 755).

Para Spiro e Stigliani (2009, p. 67):

Em razão das extensões oceânicas, o total de energia armazenada nos gradientes de superfície é enorme, cerca de duas ordens de magnitude maior do que a energia de todas as mares e ondas. Entretanto, a captura dessa energia não é tarefa fácil. Não só pela ampla extensão, mas também pelo fato de que o gradiente de 20 °C limita a eficiência teórica dos motores térmicos a menos de 7%. Conseqüentemente, um considerável suprimento de eletricidade proveniente dessa fonte requer uma usina de grande porte e custos de capital elevados.

Os autores ainda aludem que este tipo de energia se equipara muito à energia em quedas d'água. “Constrói-se uma represa com eclusas para permitir a entrada da maré até um reservatório, que é esvaziado por intermédio de turbinas quando a maré baixa” (SPIRO; STIGLIANI, 2009, p. 67).

Além da eletricidade, uma usina de conversão da energia térmica dos oceanos [...] leva água fria do mar para a superfície, a qual pode ser usada para refrigeração do ar em edifícios próximos. A água do fundo do oceano é também rica em nutrientes e poderia sustentar a agricultura e a maricultura. Por fim, se a água do mar for usada como fluido operacional da usina, teremos água doce como subproduto. As oportunidades de integração entre energia, água, refrigeração do ar e atividades de cultivo podem existir em muitos locais das costas tropicais (SPIRO; STIGLIANI, 2009, p. 67).

Além do alto custo de implementação, já afirmado por Spiro e Stigliani (2009), Silva e Rossi (2018), apontam como desvantagem dessa fonte de energia sua instalação, que deve ser sólida o suficiente para aguentar as tempestades e, simultaneamente, altamente sensível para captar a energia, como também grandes chances de deterioração dos materiais devido a exposição à água do mar.

Nesse âmbito, implementações desta tecnologia devem levar em consideração reduções correlacionadas ao rendimento de conversores, regiões turísticas e o curso de navegações.

#### 1.4 ENERGIA HIDRELÉTRICA

A energia hidrelétrica utiliza-se do fluxo da água para gerar energia. Requer, portanto, a construção de usinas em rios que possuam

grande volume de água, e que tenham desníveis em seu percurso, “[...] sejam eles naturais, como as quedas d'água, ou criados artificialmente”, pois é produzida pela força do movimento das águas (QUEIROZ et al., 2013, p. 2774). Bortoleto (2001 apud QUEIROZ et al., 2013, p. 2775), versa que “[...] a energia hidráulica provém da condensação, precipitação e evaporação das águas, fatores estes causados pela irradiação solar e pela energia gravitacional [...]”.

Este tipo de energia pode ser encontrado em grande, como em pequena escala. As de pequena porte produzem pequenos potenciais, através de desvio ou de reservatório (RASHID, 2014) e aproveitam, segundo Spiro e Stigliani (2009), o fluxo dos rios. Já as de grande escala são responsáveis por “[...] produzir eletricidade em projetos do governo ou de concessionárias de energia elétrica”, utilizando-se de barragem (que interrompe o curso normal da água) e de um reservatório que represa a água do rio e, ainda, possibilita que a vazão do rio seja adequada (seja em período chuvoso, quanto de estiagem) (RASHID, 2014, p. 755). Quando liberada, a energia da água se transforma em energia mecânica, passa pelas turbinas que são acionadas e começam a girar, e por estarem conectadas ao gerador, começam a movimentar o mesmo, produzindo eletricidade (QUEIROZ et al., 2013; RASHID, 2014), ou seja, transforma-se energia cinética em energia elétrica.

Trata-se da fonte de energia mais comum, é renovável e limpa, não contribui para emissão de CO<sub>2</sub>, nem para outros tipos de gases à atmosfera; possui disponibilidade do recurso e, quando comparada as outras fontes renováveis, representa ser a menos onerosa (RASHID, 2014). Por outro lado, apresenta certo sacrifício ao meio ambiente (alteração na característica do rio, do habitat, da qualidade da água, prejuízos à fauna e à flora, etc.), assim como representa perigo para a população em caso de rompimento de uma barragem, (SPIRO; STIGLIANI, 2009), possibilidade de transmissão de doenças, etc. Devido a esses impactos serem locais, é possível ações mitigatórias para sua redução.

Mundialmente, a energia hidrelétrica é responsável pelo fornecimento de cerca de 20% de eletricidade (SPIRO; STIGLIANI, 2009). Já no Brasil, segundo a ANEEL (2008, p. 52), “o aproveitamento do potencial hidráulico é da ordem de 30%”. Kotleski (2015) afirma que a eficiência energética gira em torno de 95%.

Em suma, o custo com o recurso é nulo, todavia o investimento para implementação é grande, assim como o de manutenção (QUEIROZ et al., 2013).

### 1.5 ENERGIA DE BIOMASSA

A biomassa, forma de energia solar indireta, é um recurso natural renovável, originária de matérias orgânicas (animal ou vegetal) que tem o objetivo principal de produzir energia através de sua combustão em fornos, caldeiras etc. Como este processo resulta em gases tóxicos e outros gases que influenciam no efeito estufa, tecnologias de conversão mais eficientes estão em desenvolvimento como “[...] processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, transesterificação, etc.) ou de processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação)”. (ANEEL, s.d, p. 87). De acordo com Rashid (2014), quando uma biomassa é queimada, o volume chega a reduzir em até 90%, perdendo competitividade em comparação a combustíveis fósseis.

Quando por meio de combustão direta, a transformação da biomassa em energia através de combustão se dá por meio da queima em altas temperaturas, “[...] na presença abundante de oxigênio, produzindo vapor a alta pressão (REIS, 2016, n.p.). Esse vapor geralmente é usado em caldeiras ou para mover turbinas”. A eficiência desse processo é de cerca de 20 a 25%. Na conversão através de pirólise “[...] a biomassa é exposta a supramaximas temperaturas sem a presença de oxigênio, mirando o acelerar da decomposição da mesma. O que sobra da decomposição é uma mistura de gases, líquidos (óleos vegetais) e sólidos (carvão vegetal)” (REIS, 2016, n.p.). Na técnica de gaseificação, há semelhanças com a técnica pirólise, produzindo um gás inflamável que pode ser filtrado para que alguns componentes químicos

residuais sejam removidos. “A diferença básica em relação à pirólise é o fato de a gaseificação exigir menor temperatura e resultar apenas em gás” (REIS, 2016, n.p.; ANEEL, s.d). Transesterificação trata-se de “um processo químico que consiste na reação de óleos vegetais com um produto intermediário ativo (metóxido ou etóxido), oriundo da reação entre álcoois (metanol ou etanol) e uma base (hidróxido de sódio ou de potássio)” (RIBEIRO et al., 2001 apud ANEEL, s.d, p. 88). Por se assemelhar ao óleo diesel, pode ser utilizado em motores de combustão interna. A digestão anaeróbia ocorre pela decomposição do material devido à ação de bactérias que ocorre de forma natural e simples (ANEEL, s.d). A fermentação é um processo anaeróbico, biológico “[...] em que os açúcares de plantas [...] são convertidos em álcool, por meio da ação de microrganismos (usualmente leveduras)”, podendo ser usados como combustível (ANEEL, s.d).

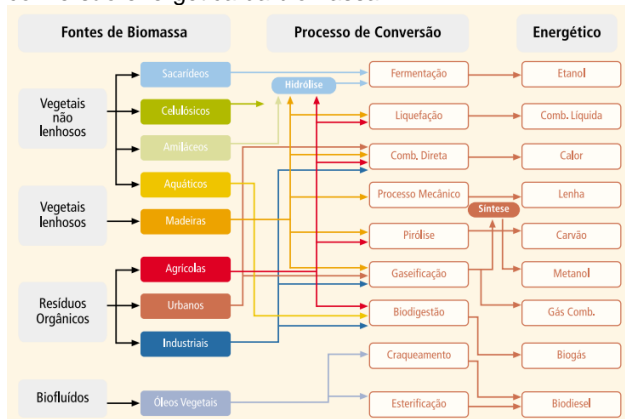
O material produzido pela biomassa pode ser transformado em energia elétrica, em calor e também em biocombustíveis sólidos. Os principais derivados são: Biogás, Etanol, Biodiesel, Carvão vegetal, dentre outros, sendo o bagaço de cana-de-açúcar o recurso com maior potencial para geração de energia elétrica (ANEEL, s.d).

A biomassa pode ser classificada em florestal, agrícola e ainda oriunda de rejeitos urbanos e industriais (sólidos e líquidos), etc. A biomassa florestal provém de matéria orgânica, como carvão vegetal, lenha, madeira, etc. Quando se trata de biomassa agrícola, são utilizadas matérias-primas como: casca de arroz, sabugo e palha de milho, palha e bagaço de cana-de-açúcar, casca de algodão, soja, casca de castanha de caju, etc. Biomassas oriundas de rejeitos (lixo) urbanos são metais, plásticos, resíduos celulósicos e vegetais descartados e os industriais relacionam-se a rejeitos de destilarias, abatedouros, fábricas de laticínio, criadouros, etc. Apesar de resíduos, estes possuem grande potencial energético.

Através da Figura 1 é possível compreender o processo energético perpassado pela biomassa.



Figura 1 - Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa.



Fonte: ANEEL (s.d, p. 87).

A utilização da biomassa, como energia apresenta grandes vantagens como: recurso renovável; variedade de material à disposição; baixo custo de operação e para aquisição da matéria-prima; menor intensidade de agressão ao meio ambiente; os equipamentos utilizados (caldeiras/fornos) são expostos a menor corrosão; etc. No entanto, o excesso e/ou uso indevido podem desencadear desmatamento, ocasionando destruição de habitats; menor aproveitamento do calor calorífico (quando comparada a outras fontes); dificuldades no transporte e no armazenamento da biomassa sólida; assim como a dioxina formada na incineração pode causar cânceres, além de defeitos genéticos (RASHID, 2014), etc.

A geração de eletricidade a partir da energia biomassa é relativamente pequena, comparada com a sua capacidade total de desenvolvimento no Brasil, tendo em vista a grande extensão de áreas que podem ser utilizadas para cultivo e também as condições climáticas, fato que se assemelha à situação mundial que também apresenta reduzido aproveitamento na matriz energética. O consumo deste tipo de energia gira em torno de 14%, segundo a ANEEL.

## 1.6 ENERGIA GEOTÉRMICA

A energia geotérmica não necessita da radiação solar para existir. Sua energia provém do interior da terra, através de calor limpo e sustentável.

Esta fonte de energia vem sendo utilizada há séculos, através do uso das águas quentes para banho e devido seu poder curativo ou o vapor geotérmico sendo utilizado como combustível (SPIRO; STIGLIANI, 2009), embora mais recente. Atualmente, essa fonte de energia pode ser utilizada para gerar eletricidade e para outros fins mais diretos.

Como recurso inclui-se: “[...] (a) o calor retido no solo superficial, (b) a água e as rochas quentes encontradas a poucos quilômetros abaixo da superfície terrestre e (c) as rochas fundidas com temperaturas extremamente elevadas, chamadas *magna*, localizadas a grandes profundidades.” (RASHID, 2014, p. 770).

Ao identificar-se o local onde o recurso está disponível em grande quantidade, este é perfurado, drenado para a superfície por meio de tubos e transportado para uma central elétrica geotérmica que movimentará as lâminas da turbina. Essa energia mecânica é convertida, por meio de geradores, em eletricidade.

Rashid (2014, p. 770) descreve que o vapor gerado pela energia térmica é convertido em energia elétrica através de turbinas presente em usinas de três tipos devido à dificuldade de “[...] concepção de um projeto de usina de energia geotérmica para todas as condições”.

As usinas de energia de vapor a seco são utilizadas quando se encontra vapor facilmente e com temperaturas de 300 °C. Já as usinas de energia de vapor *flash* são usadas “[...] quando a temperatura do reservatório é superior a 200 °C, o fluido dele é arrastado para o interior de um tanque de expansão que diminui a pressão do fluido” (RASHID, 2014, p. 770), fazendo-o evaporar aceleradamente e produzir o vapor que gerará a eletricidade. Por fim, as usinas de energia de ciclo binário operam quando a temperatura fica abaixo de 200 °C, onde “o calor da água geotérmica faz o fluido secundário se transformar rapidamente em vapor, que é, então, utilizado para acionar as turbinas.” (RASHID, 2014, p. 770).

Para Spiro e Stigliani (2009, p. 67), “A energia geotérmica pode ser dividida em três categorias de temperatura: alta (>150 °C), moderada (de 90 °C a 150 °C) e baixa (< 90 °C).”

A eletricidade é gerada através de recursos de altas temperaturas; a temperatura moderada poder ser utilizada para aquecer ambientes e gerar vapor a ser utilizado em indústrias, estufas, etc.; na faixa de baixa temperatura vem se destacando como recurso para refrigeração e aquecimento de residências (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

A eletricidade gerada por recursos geotermiais, conforme aponta Gomes (2009 apud ARBOIT et al., 2013), em 2008 era empregada em 25 países. Já no Brasil, por não haver estudos para conversão desta em eletricidade, sua utilização para fins

[...] diretos se mostra bastante promissora, destacando-se o aproveitamento da água do Aquífero Guarani para atividades agroindustriais, como integrante de processos

industriais e como meio de desenvolver o turismo e também a utilização de bombas de calor geotérmicas, tanto para utilização industrial quanto para aquecimento de espaços (ARBOIT et al., 2013, p. 165).

Enfim, para se tornar viável em larga escala, a energia geotérmica precisa ser muito discutida e estudada, principalmente em relação ao seu real potencial de aplicação, assim como desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias para este fim (ARBOIT et al., 2013). Embora seja quase nula a emissão de gases poluentes, sua implantação possa ser em local pequeno, seja uma fonte limpa de energia, este tipo de energia se torna cara devido ao alto investimento, retorno a longo prazo, eficiência pequena, e, ainda, contribui para o aumento da temperatura do ambiente local.

## CONCLUSÃO

Evidentemente, os combustíveis fósseis são formas de energia mais baratas, mas seu custo ambiental é muito superior e relevante para se permanecer com pensamentos arcaicos.

Com base no estudo realizado, percebe-se que é inegável relacionar as fontes de energias renováveis com o desenvolvimento sustentável: prosperidade econômica, equidade social e qualidade ambiental. Que para ser renovável necessita ser um recurso que se reabastece naturalmente, seja a chuva, o sol, o vento, a maré, energia geotérmica, não causando impactos ao meio ambiente, aos seres humanos, nem desequilíbrio ao sistema.

Constata-se que todas as fontes analisadas são sim renováveis, mas nem todas são limpas; que há viabilidade no uso dessas fontes de energia em substituição aos combustíveis fósseis, todavia a eliminação total de resíduos ainda é utopia por exigir conscientização humana, estudos muito mais eficazes e conclusivos, tecnologias mais avançadas para exploração, em alguns casos, investimentos governamentais para implementação em larga escala; que houve redução de custos na maioria das implementações de energias renováveis, como

fonte de energia elétrica, com o passar dos anos, tornando-as um pouco mais viáveis.

Percebeu-se que as hidrelétricas, comumente utilizadas hoje para gerar eletricidade, também se enquadram nesse contexto, demonstram-se ser menos onerosas, todavia representam sacrifício ao meio ambiente e perigo para os seres humanos, fazendo com que outras fontes de energia elétrica mais eficazes sejam pensadas.

Embora encontrem-se muitos estudos sobre cada fonte de energia renovável aqui pesquisada, as mesmas são encontradas de forma isolada ou fragmentada. Não encontrou-se nenhum estudo deste mesmo teor, onde fosse possível analisar e comparar a viabilidade de ambas, muito menos custos atualizados no mesmo período para fins de comparação. Mas, denotou-se que o Brasil é sim, devido sua geografia (clima, extensão de território, etc.) e sua localização no globo, privilegiado para implementação de novas fontes de energia e renováveis, devido a abundância de recursos naturais, consolidando o Brasil como líder entre os países que utilizam fontes renováveis em sua matriz, de acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017. Destaca-se a geotérmica

como a fonte mais difícil de ser explorada no Brasil.

Enfim, todas as fontes de energia estudadas são renováveis, nem todas apresentam-se totalmente limpas, todavia

sobressaem-se aos recursos fósseis. Recomenda-se, portanto, não uma fonte única por não detectar-se qual a melhor, mas um equilíbrio entre as mesmas e/ou atendimento à realidade local.

## REFERENCIAS

ANEEL. **Biomassa**. [s.l], [s.d]. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)>. Acesso em: 02 jul. 2019.

\_\_\_\_\_. **Energia Hidráulica**. Fontes renováveis. Parte II, Cap. 3. [2008]. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas\\_par2\\_cap3.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par2_cap3.pdf)>. Acesso em: 30 jul. 2019.

ARBOIT, Nathana Karina Swarowski et al. Potencialidade de utilização da energia geotérmica no Brasil – uma revisão de literatura. **Revista do departamento de Geografia – USP**, v. 26, p. 155-168, 2013.

BARBOSA, Adriana Silva et.al. **Energia e sustentabilidade**. Coleção Ambiental, v.19. Barueri, SP: Manole, 2016.

BIANCHINI, Henrique Magalhães. **Avaliação comparativa de sistemas de energia solar térmica**. 2013. 63f. Projeto (Graduação em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

DUPONT, Fabrício Hoff; GRASSI, Fernando; ROMITTI, Leonardo. Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. **REGET - Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria - Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**, v. 19, n. 1, Ed. Especial, p. 70 – 81, 2015.

ESTEFEN, Segen et al. Geração de Energia Elétrica pelas Ondas do Mar. **COPPE UFRJ**, 2006. Disponível em: <<http://www.coppe.ufrj.br/pt-br/geracao-de-energia-eletrica-pelas-ondas-do-mar-0>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

FADIGAS, Elaine A. Faria Amaral. **Energia eólica**. Série Sustentabilidade. Coordenador Arlindo Philippi Jr. Barueri, SP: Manole, 2011.

KOTLESKI, Liliane Oliveira. **Esgotamento do potencial hidrelétrico no Brasil: tendências para a reestruturação da matriz energética**. Monografia (Bacharelado em Economia) - Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Anuário estatístico de energia elétrica 2017** (ano base 2016). Brasília-DF, 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2019.

NASCIMENTO, Adriana de Souza. **Energia solar fotovoltaica: estudo e viabilidade no nordeste brasileiro**. 2015. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

PHILIPPI JR., Arlindo; REIS, Lineu Belico dos. **Energia e sustentabilidade**. Barueri, SP: Manole, 2016.

QUEIROZ, Rosemar de et al. Geração de energia elétrica através da energia hidráulica e seus impactos ambientais. **Revista do centro do ciências naturais e exatas – UFSM**, Santa Maria, v. 13, n. 13, ago., p. 2774- 2784, 2013. Disponível em: <<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Ht3FxRi0BToJ:https://periodicos.ufsm.br/reget/article/download/9124/pdf+&cd=7&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>. Acesso em: 16 jun. 2019.

RASHID, Muhammad H. **Eletrônica de potência**. Tradução Leonardo Abramovicz; Revisão técnica Carlos Marcelo de Oliveira Stein. 4. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014.

REIS, Pedro. O que é a energia da Biomassa: Tudo sobre Biomassa. **Portal energia**. 2016.

Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/o-que-e-energia-biomassa/>>. Acesso em: 02 jul. 2019.

REIS, Lineu Belico dos. **Matrizes energéticas:** conceitos e usos em gestão e planejamento. série sustentabilidade. Coordenador Arlindo Philippi Jr. Barueri, SP: Manole, 2011.

\_\_\_\_\_; FADIGAS, Elaine A. Amaral; CARVALHO, Cláudio Elias. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável.** Barueri, SP. Manole, 2005.

SILVA, Tauane Karine Baitz da; ROSSI, Fabrício. Energia das ondas no Brasil. **Portal subsistemas do Brasil - USP**, 2018. Disponível em: <<http://www.usp.br/portalsubsistemas/?p=7953>>. Acesso em: 16 jun. 2019.

SOUZA, Luciano Laignier de; CUNHA, Rafael Borges da; SANTOS, Mario Henrique Pereira. **Análise da geração de energia eólica.** Semana acadêmica, Centro Universitário de

Belo Horizonte UNI-BH, 2013. Disponível em: <[https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo\\_cientifico\\_eolica\\_1\\_0.pdf](https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_cientifico_eolica_1_0.pdf)>. Acesso em: 05 maio 2019.

SPIRO, Thomas G.; STIGLIANI, William M. **Química ambiental.** Tradução Sonia Midori Yamamoto. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

TRIBESS-ONO, Fabiane Zoraia; PANUCCI-FILHO, Laurindo. Contabilidade social para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPEP, Simpósio de Engenharia de Produção, Sustentabilidade na cadeia de suprimentos, XIX, 2012. **Anais...** Bauru-SP, 2012.

TSURUDA, L. K. et al. A importância da energia solar para o desenvolvimento sustentável e social. **6th International Workshop | Advances in Cleaner Production—Organizational Report.** “ten years working together for a sustainable future”. São Paulo, maio, 2017.



## GARGALOS PRODUTIVOS NO TERRITÓRIO INTERMUNICIPAL DE ITAJAÍ E NAVEGANTES - UM ESTUDO DE CASO

### RESUMO

Este estudo investiga os principais gargalos produtivos do território intermunicipal de Navegantes e Itajaí, analisa seus impactos e introduz hipóteses de análise das causas, bem como de intervenções espaciais para solucioná-las através do planejamento. Desde a integração da Portonave ao complexo logístico originado com o Porto de Itajaí, os municípios de Navegantes e Itajaí intensificaram suas dinâmicas intermunicipais através da troca de mercadorias e trabalhadores em seus cotidianos urbanos. No entanto, esta vivência comum é atravancada pela infraestrutura precária de transposição da barreira geográfica do Itajaí-Açu, rio que conecta a economia das cidades, mas separa seus tecidos viários, os quais são ligados em alguns pontos por nós supersaturados como o Ferry Boat, as rodovias federais B.R. 470 e B.R. 101, e as vias transversais a estas rodovias. Estes nós viários são intensificados pela concentração de empresas, instituições e serviços às margens das rodovias e vias de acesso aos dois Municípios, formando gargalos que impedem o livre escoamento da crescente demanda logística de circulação da produção, sendo ainda uma das causas de acidentes entre veículos de cargas e de passageiros que transitam entre as cidades. Tem-se como hipótese que a situação dos gargalos produtivos surge da sobreposição das demandas econômicas imediatas em detrimento da qualidade de vida dos habitantes das cidades e do planejamento urbano, o qual não só garantiria uma maior produtividade e desenvolvimento a longo prazo da economia local, mas também corroboraria na preservação da vida da população.

FLORES, Heloísa Cristina.  
Mestrado em Urbanismo, História e  
Arquitetura da Cidade (UFSC);  
Graduação em Arquitetura e  
Urbanismo (UNIVALI). Arquiteta e  
Urbanista.  
arqheloisaflores@gmail.com  
<http://lattes.cnpq.br/9216422954814717>

FLORES, Heloísa Cristina. Gargalos produtivos no território intermunicipal de Itajaí e Navegantes – um estudo de caso. **REFS – Revista Eletrônica da Faculdade Sinergia**, Navegantes, v.10, n.16, p. 37-48, jul./dez. 2019.

**Palavras-chave:** Complexo portuário do Rio Itajaí-Açu. Gargalos Produtivos. Planejamento Urbano.

### INTRODUÇÃO

Através de um estudo de caso descritivo, o presente artigo tem como objetivo geral investigar os principais gargalos produtivos no território intermunicipal de Itajaí e Navegantes, a partir da implantação da Portonave (2007).

Como objetivos específicos, foram elencados: a) analisar, dentro dos recortes espacial e temporal de estudo, os impactos dos gargalos produtivos na vida urbana e na circulação de mercadorias; b) introduzir hipóteses de análise e intervenção na dinâmica socioespacial entre as cidades através do planejamento urbano.

As cidades de Itajaí e Navegantes são vizinhas e exercem juntas um relevante papel logístico em escalas regional, estadual, nacional e internacional, e cujos cotidianos urbanos interdependentes suscitam a necessidade de serem analisadas e planejadas em conjunto.

O complexo logístico portuário, aeroportuário e rodoviário, composto pelos municípios de Itajaí e Navegantes, nos delimita um recorte espacial contornado pelo Oceano Atlântico, pelas rodovias federais B.R.101 e B.R.470 e, especialmente, pelo paradoxo limite do Rio Itajaí-Açu que, ao mesmo tempo, une e

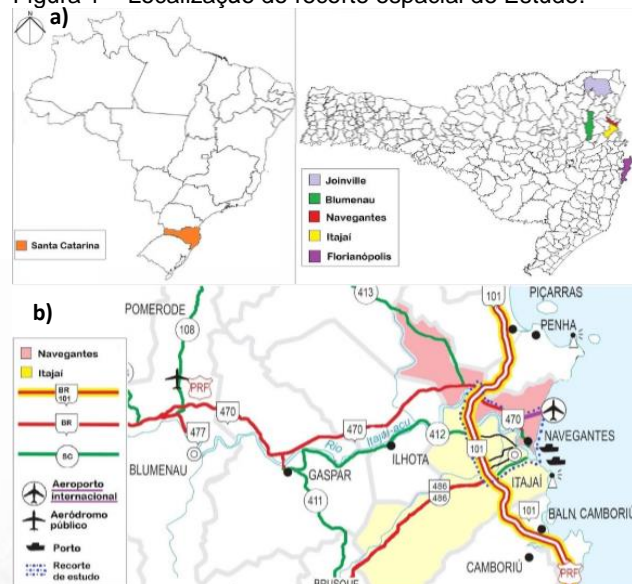
separa as cidades (Figura 1). O recorte temporal se delineia entre a atualidade e o ano de 2007, quando é inaugurado o terminal portuário em Navegantes e a cidade passa de dependente à parte do arranjo econômico originado com o Porto de Itajaí. O Porto de Itajaí e a Portonave integram, hoje, um único complexo, e as cidades trocam mercadorias e força de trabalho entre si; no entanto, esta interdependência não se dá de forma fluida e equilibrada, apresentando freios e contradições intrinsecamente espaciais de ocupação e circulação urbanas.

A ausência de planejamento intermunicipal se reflete na ocupação e circulação desordenada do território das cidades, afetando a qualidade de vida da população e a produtividade logística do complexo, problemáticas que serão abordadas neste artigo.

## 1 O TERRITÓRIO INTERMUNICIPAL DE ITAJAÍ E NAVEGANTES – DADOS GERAIS E BREVE HISTÓRICO

As cidades de Itajaí e Navegantes estão localizadas no litoral norte de Santa Catarina, a aproximadamente 90km de Joinville (norte), o município mais populoso e industrializado do Estado, a 50km de Blumenau (oeste), a principal cidade do Vale Industrial do Itajaí, e a 100km de Florianópolis (sul), a capital catarinense. Os dois Municípios se encontram, portanto, estrategicamente centralizados em relação às três maiores cidades catarinenses, por onde se cruzam as principais rodovias federais no território de Santa Catarina, a B.R.101 e a B.R.470. Sendo vizinhos, dividem ainda os limites geográficos do Oceano Atlântico e da foz do Rio Itajaí-Açu: às margens norte do rio está Navegantes e, às margens sul, Itajaí (Figura 1). Ambos os Municípios compõem o núcleo metropolitano da Foz do Rio Itajaí-Açu, juntamente de Penha, Balneário Camboriú e Camboriú.

Figura 1 – Localização do recorte espacial de Estudo.



Fonte: a) Google Images (2019). b) DNIT (2009). Adaptado pela autora.

Itajaí foi fundada em 1860, apesar da ocupação europeia ter iniciado em 1658, na margem norte do rio, onde hoje se encontra Navegantes. Enquanto eram um povoado único até meados do século XX, o desenvolvimento das duas cidades está relacionado às conexões

econômicas fluviais regionais, principalmente, entre o vale e a foz do Rio Itajaí-Açu. Devido ao comércio itajaiense da madeira, a cidade possui funções portuárias primitivas nas margens sul do rio desde o século XIX, realizando também desde então trocas comerciais nacionais com os portos de Santos e do Rio de Janeiro. Internacionalmente, o Porto de Itajaí foi uma das vias por onde, na primeira metade do século XIX, imigrantes alemães e italianos entraram no Brasil e fundaram, por exemplo, as colônias de Blumenau e Brusque (D'ÁVILA, 1982,). Portanto, o leito do rio se estabelece como um importante caminho e desembocadouro históricos por onde as mercadorias do vale e do restante do Brasil escoam para o interior e o exterior.

Com a integração nacional dos anos 50 (SANTOS, 2014), fomentada pela construção da B.R. 101 no final desta década, logo o porto público de Itajaí amplia sua relevância nacional e se integra territorialmente ao restante do país, para então ser considerado porto organizado pelo decreto 58.780/66 (PORTO DE ITAJAÍ, 2019). Desde então, sua importância se reflete em dados estatísticos: nos últimos anos, o porto oscila entre as 5ª e 6ª posições do ranking nacional de maior movimentação de contêineres, estando, por isso, entre os principais portos brasileiros (ANTAQ, 2019).

Embora emancipada em 1962, Navegantes se manteve historicamente numa situação dependente da variedade de empregos, comércios, serviços e instituições de Itajaí, a qual se atenua somente na última década. Diariamente, o deslocamento de pessoas e mercadorias entre as cidades através do Rio Itajaí era motivado por esta dependência. Ainda que Itajaí se mantenha maior e mais desenvolvida até os dias atuais, Navegantes alcançou sua própria relevância econômica a partir de 2007, com a instalação de um terminal portuário privado, a Portonave. De acordo com a ANTAQ (2019), entre 2010 e 2018, a Portonave se manteve em 1º lugar na movimentação de contêineres em terminais de uso privado no Brasil. A partir deste período, a cidade produziu uma seletividade espacial própria que atraiu indústrias, ampliou seu

comércio e serviços, e obteve um boom no seu crescimento demográfico. Ademais, Navegantes ainda conta com o Aeroporto Internacional Ministro Victor Konder, com movimentação de cargas e passageiros. De acordo com o ranking de movimentação nacional de cargas e passageiros, em 2017, o aeroporto se posicionou em 4º lugar na região sul (INFRAERO, 2017). O aeroporto de Navegantes também se relaciona com os portos na logística de cargas nacionais e internacionais e é uma das vias de acesso mais utilizadas pelas classes gerenciais e proprietárias que realizam negócios na região.

Considerados conjuntamente, o complexo portuário do Rio Itajaí-Açu, formado pelos portos de Itajaí e Navegantes, mantém-se como o 2º maior movimentador de contêineres do país, atrás somente do Porto de Santos. Conforme a revista britânica Container Management e o ranking dos 120 maiores portos em movimentação de contêineres no mundo (World Top 120 Container), em 2017, o complexo do Rio Itajaí estava em 114º e, junto do Porto de Santos, eram os únicos complexos portuários brasileiros a integrarem o ranking, destacando a relevância internacional do complexo portuário local (PORTO DE ITAJAÍ, 2018).

A partir da inserção da Portonave no complexo portuário, Navegantes e Itajaí se tornaram também o polo da construção naval catarinense, dividindo entre si trabalhadores da maioria das 64 empresas catarinenses do setor localizadas nas duas cidades (FIESC, 2015). Em Navegantes, entre as novas empresas que surgiram na última década e estão localizadas às margens ou próximas da B.R. 470 estão a holandesa Huisman (instalada em 2015), que produz guindastes e guinchos offshore, o estaleiro Keppel (2014), de Singapura, as estadunidenses Lear (2011), que fabrica partes automotivas, o estaleiro Navship (2006), a austríaca AHT Cooling System (2014), de armazenagem, e outras diversas empresas catarinenses e nacionais, relacionadas à armazenagem e logística de contêineres, à fabricação de motores, ao ramo têxtil, etc. Estas empresas, em maioria inauguradas no mesmo período que o recorte temporal proposto ao

estudo (2007/2019), apontam também a transformação funcional que a cidade de Navegantes tinha em relação a Itajaí: de dependente a interdependente e parte do complexo logístico e industrial.

Esta relevante seletividade espacial produzida pela rede portuária e aeroportuária é complementada ainda pela rede rodoviária: as duas cidades são cortadas no sentido norte-sul pela maior rodovia brasileira, a B.R. 101 - via de saída e entrada de mercadorias dos portos para o resto do Brasil e mundo -, e no sentido leste-oeste pela B.R. 470 - a principal rodovia federal entre o complexo portuário local e o interior de

Santa Catarina -, sendo esta uma artéria rodoviária que contorna o Rio Itajaí-Açu da sua foz até o alto e médio vale. Finalmente, para as trocas intermunicipais de trabalhadores e pequenas cargas, há ainda o transporte fluvial entre as cidades via Ferry Boat. Portanto, considerando a predominância da lógica rodoviária em detrimento do sistema ferroviário no transporte de cargas e pessoas no Brasil, Navegantes e Itajaí acumulam em seu território os principais modais de transporte vigentes no país: o viário, o aeroviário e o aquaviário (Figura 1).

## 2 OS GARGALOS PRODUTIVOS INTERMUNICIPAIS E A VIVÊNCIA URBANA

Devido à histórica vivência urbana diária que Itajaí e Navegantes mantêm entre si desde que eram uma única cidade, e às atuais dinâmicas econômicas que dividem a partir da integração da Portonave ao complexo portuário, as relações espaciais entre Itajaí e Navegantes devem ser pensadas e planejadas em conjunto. Porém, para contribuir no debate de soluções urbanísticas, reconhecendo o aspecto favorável do crescimento econômico no recorte, é preciso propor também a análise e a crítica dos aspectos desfavoráveis, abordado por Harvey e Gottdiener (GOTTDIENER, 1993, p. 41) como a “[...] produção interna de desenvolvimento desigual nos padrões espaciais do ambiente construído [...]”, a qual é inseparável do crescimento. Esta produção desigual e contraditória se manifesta nas práticas espaciais não-fluidas e contraprodutivas entre Itajaí e Navegantes, as quais serão aqui descritas com fins de se introduzir hipóteses para os futuros estudos destas relações intermunicipais. Para tal, a seguir serão pontuadas algumas situações críticas que ocorrem entre as cidades, da forma como nos aparece nesta pesquisa: através do espaço.

O Rio Itajaí-Açu une as cidades pela economia e as separa pela geografia e pelo planejamento precário. A impermeabilidade do desenho espacial entre as duas cidades, delimitado decisivamente pelo rio, provoca entraves na vida urbana e no ciclo produtivo,

especialmente no processo econômico intermediário entre a produção e o consumo: a circulação (MARX, 2011). No viver cotidiano do habitar e trabalhar, é perceptível que a circulação entre as cidades de Navegantes e Itajaí, seja de pessoas ou de cargas, é atravancada pela precária infraestrutura dos dois modais de transporte mais utilizados: o rodoviário e o aquaviário (fluvial). Da mesma forma, os modos de ocupar e de produzir a vida urbana tomam características hostis contra os habitantes e trabalhadores em função de uma lógica econômica imediatista e não-planejada.

Acerca do transporte fluvial de pessoas e pequenas cargas, historicamente o deslocamento entre os núcleos urbanos de Itajaí e Navegantes é feito através da travessia aquaviária do Rio Itajaí-Açu, por meio do ferry-boat, cujas estações estão localizadas em dois pontos das cidades: a principal nos centros, próximas aos portos, e outra em bairros periféricos de ambos os Municípios, próxima ao Rio Itajaí-Mirim (Figura 2).

Operado pela mesma empresa desde a década de 70, sob uma lucrativa permissão pública sem o devido processo licitatório, a NGISUL Ferry Boat oferece, na verdade, uma balsa precária, lenta e cara para a travessia de pessoas e veículos leves: o transporte não é confortável, emite alto volume de ruídos, vibrações e fumaça nos usuários e navega em baixa velocidade. Para o cruzamento de,

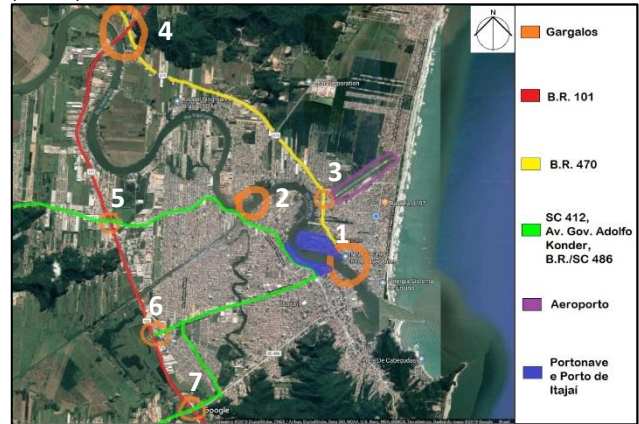


aproximadamente, 300 metros de rio, a balsa leva um tempo médio de 20 minutos, passível de atraso e sem horários pré-definidos de partida e chegada, apesar do funcionamento por 24 horas na estação do centro. As quatro balsas do ferry-boat central - operantes das 06h às 23h e, após as 23h, reduzidas para somente duas - ainda dividem o rio com as entradas e saídas diárias de navios de contêineres entre a foz do Itajaí-Açu e os portos, o que pode estender este tempo de travessia para 30 minutos (ou mais) durante a passagem de, aproximadamente, 200 navios por mês (aproximadamente 10 navios por dia) (RBS, 2013a). Além do tempo de travessia, há ainda o tempo dispendido nas filas do ferry-boat, o qual, durante os horários de pico - entradas de saídas de trabalhadores em horário comercial, 07h às 08h, 11h às 14h, 17h às 19h -, pode levar cerca de 20 a 30 minutos extras. Esta situação se agrava durante a temporada, com o aumento de 30% no uso das balsas (G1, 2019), deixando os trabalhadores e turistas reféns de horas de fila nas rodovias e no ferry-boat. Ademais, dias de chuva ou com incidentes na B.R. 470 e 101 também aumentam o tempo dispendido nas filas.

Outro fator a se considerar é o preço. Com um transporte público inexistente entre as cidades, para este curto trajeto (somente ida, volta não inclusa), automóveis pagam R\$9,05, motocicletas R\$2,30, bicicletas R\$1,85 e pedestre R\$1,45. Considerando que os trabalhadores realizam o percurso de ida e volta diariamente, estes preços devem ser considerados sempre duplicados e ainda somados ao transporte público ou privado dos trabalhadores no interior das duas cidades. Devido a estes entraves físicos nos ramais fluviais de circulação as cidades, sem a liberdade de ir e vir que proporcionariam, por exemplo, uma ponte e uma adequada infraestrutura viária subjacente nos núcleos urbanos onde estão localizadas as estações de ferry-boat, criam-se os gargalos produtivos 1 e 2 no território dos dois Municípios:

Figura 2 – Gargalos no recorte: 1) Ferry-boat entre os centros de Itajaí e Navegantes. 2) Ferry-boat entre bairros periféricos das cidades. 3) Cruzamento entre B.R. 470 e acesso ao aeroporto. 4) Cruzamento da B.R. 101 e a B.R. 470, acesso à Blumenau (oeste). 5) Cruzamento entre B.R.

101 e S.C. 412, destino Ilhota e Gaspar (oeste). 6) Cruzamento entre a Av. Adolfo e a B.R. 101. 7) Cruzamento entre a B.R. 486/S.C. 486 e a B.R. 101, acesso à Brusque (oeste).



Fonte: Google Maps (2019). Adaptado pela autora.

Acerca do modal viário/rodoviário, o estabelecimento da Portonave, no Centro de Navegantes, sem um prévio planejamento do escoamento imediato dos caminhões de contêineres, isto é, a carência inicial de uma via portuária dentro da área urbana da cidade e a não-duplicação da B.R. 470 fora da área urbana, gerou uma sobrecarga do sistema viário pelos grandes e pesados veículos de contêiner que, além da supersaturação do trânsito, provocaram a deterioração das vias existentes e um modelo urbano agressivo: a vulnerabilidade das ruas locais residenciais, dos pedestres, dos ciclistas e dos motociclistas, ante às enormes, pouco manobráveis e poluidoras carretas de cargas, torna-se ainda mais ameaçadora diante da ausência ou precariedade dos passeios públicos em Navegantes. Mesmo com a via portuária inaugurada em dezembro de 2010, ainda é comum que as ruas da cidade sejam utilizadas tanto para circulação das carretas, como têm sua utilidade pública de circulação deturpada ao servirem de estacionamento privado destes veículos no estreito sistema viário disponível (Figura 3).

Sobre esta deturpação, reclamações acerca dos ruídos destes veículos de carga em horário de descanso nas zonas residenciais, e da trepidação provocada por estes, passíveis de causarem danos à pavimentação e rachaduras nas residências, motivaram a câmara municipal a regulamentar a circulação dos caminhões na cidade através do Decreto 1069/2013, que 'Regulamenta o tráfego e o estacionamento de

caminhão para transporte de container e caminhão-trator por vias do município'. No entanto, as precárias fiscalização municipal e infraestrutura do estreito sistema viário existente que dá suporte à via portuária (por onde estes veículos podem circular), acabam perpetuando estas situações.

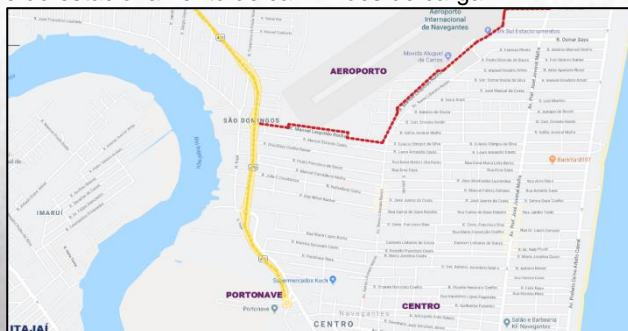
Figura 3 – Circulação e estacionamento de caminhões-trator em ruas residenciais centrais ainda fazem parte do cotidiano urbano de Navegantes e Itajaí.



Fonte: ClicRBS (2013b). Adaptado pela autora.

As trocas realizadas entre o complexo portuário e o aeroporto internacional de cargas e passageiros de Navegantes, por exemplo, não foi suportada por uma adequação da infraestrutura dos corredores de circulação entre os portos e o aeroporto. Entre estas vias, destaca-se a Rua Manoel Leopoldo da Rocha, que coleta o trânsito de veículos de cargas e passageiros da via portuária e da B.R. 470 para o aeroporto e a área urbana do Município: seu leito não é duplicado, não possui ciclovias, e as calçadas, quando não são ausentes, são precárias e frequentemente cheias de lama ou de veículos de carga:

Figura 4 – Acima, em amarelo, B.R. 470 e Via Portuária. a) Em vermelho, Rua Manoel Leopoldo da Rocha, de acesso ao aeroporto e a centralidades urbanas de Navegantes, como os bairros Centro e Gravatá. b) a mesma Rua Manoel Leopoldo da Rocha, a situação precária de suas calçadas e do estacionamento de caminhões de carga.



Fonte: Google Maps, 2019. Adaptado pela autora.

O acúmulo de funções urbanas residenciais, comerciais vicinais e até mesmo institucionais desta rua, a qual possui intensa circulação de pedestres e veículos leves, é sobrecarregado ainda por suas funções logísticas, produzindo uma vivência agressiva que oprime pessoas e pequenos veículos pelos massivos caminhões de carga e contêineres. Ademais, além de afetar a vida de moradores e trabalhadores, o tráfego lento e não fluido das vias urbanas de suporte ao porto, como a Rua Manoel Leopoldo da Rocha, diminui a produtividade e celeridade das empresas de transporte de cargas, e atravanca a circulação intermunicipal de passageiros do aeroporto, cujos destinos finais não se atêm a Navegantes, mas a outras cidades da região, principalmente Itajaí, Balneário Camboriú e Blumenau, formando o gargalo produtivo número 3 (Figura 2).

Fora da área urbana, a situação é ainda mais crítica nas rodovias. O crescimento econômico gerou empregos no complexo portuário e nas empresas atraídas pela posição logística estratégica, intensificando não somente a circulação de cargas, mas de pessoas. As B.R. 101 e 470 acumulam em seus leitos o tráfego de todas as escalas territoriais, do acesso regional ao aeroporto e da troca diária de trabalhadores entre as cidades. Somente às margens da B.R. 470 estão as grandes empresas transnacionais já citadas, como a Huisman, Keppel, Lear, Navship e AHT, entre outras locais, catarinenses e nacionais, cujos negócios estão diretamente relacionados à rodovia e também geram tráfego. Este crescimento associado à demorada duplicação da B.R. 470, em obras desde 2013, produz quilômetros de fila e tráfego lento até a

desembocadura na B.R. 101, formando o gargalo produtivo número 4 (Figura 2), o principal gargalo no recorte espacial de estudo.

Considerando a conjuntura apresentada, o aumento no tempo de deslocamento dentro e fora das áreas centrais da cidade foi, portanto, outro impacto de vizinhança imediato à instalação do terminal portuário no centro da cidade. Na mídia, o tráfego lento e a não-duplicação da B.R. 470 são pautados como as causas comuns de ultrapassagens perigosas e cruzamentos irregulares da rodovia, os quais diariamente geram acidentes e mortes. As notícias mais comuns sobre esses acidentes envolvem especialmente trabalhadores em locomoção para o local de trabalho, através do choque de veículos leves, como motos e carros, contra as carretas de contêiner, refletindo também a hostilidade do modelo e a precariedade do transporte público das cidades.

Soma-se a isso a evidente saturação da B.R. 101 que, mesmo duplicada, mostra-se insuficiente para o escoamento da nova demanda de circulação, especialmente no trecho entre Itajaí e Navegantes. Segundo a apuração do jornal O Município junto ao FIESC e ao complexo portuário do Rio Itajaí, publicada em 12/09/2018 (BORGES, 2018), sob a matéria 'Crescimento dos portos depende das rodovias', cerca de 1,5 mil caminhões de contêineres são recebidos apenas pela Portonave diariamente, chegando até a picos de 2,1 mil. Estes dados ilustram a sobrecarga da B.R. 470 e, por tabela, da B.R. 101, à qual deve ser somada, ainda, a circulação simultânea de caminhões indo e saindo do Porto de Itajaí através da 101.

Além da B.R. 101 exercer a função estrutural de circulação entre o norte e o sul do país, sendo a principal rodovia federal brasileira, e de coletar o tráfego leste-oeste das rodovias federais e estaduais do interior catarinense e dos demais estados, também em seu entorno, especialmente nos cruzamentos e nas vias de acesso às áreas urbanas, se distribuem inúmeras empresas de transporte e logística, como o porto seco e os armazéns, indústrias navais e de pescados, entre outras variadas, as quais movimentam e são movimentadas pela rede rodoviária e pelos terminais do complexo

portuário do Rio Itajaí, formando gargalos nas entradas e no interior das duas cidades.

Logo, esta junção conflituosa entre cargas, pessoas e vida urbana se repete em Itajaí, onde, assim como em Navegantes, o porto se localiza numa área central e atrai o tráfego pesado da B.R. 101 e das demais rodovias para dentro do espaço urbano. O cruzamento entre a B.R. 101, a SC 412 - acesso alternativo a Gaspar e Blumenau, passando por Ilhota - e a sinuosa Rua Dr. Reinaldo Schmithausen, representado pelo gargalo 5 na Figura 2, não proporciona um acesso fluido e sem desvios dos caminhões de contêiner ao porto; não à toa, este trecho viário que contorna o rio Itajaí é conhecido popularmente por 'caninana', comparando-se as curvas das vias às de uma cobra. A Rua Reinaldo Schmithausen atravessa ainda o grande bairro residencial, Cordeiros, e os bairros Barra do Rio e São João, onde a intensa concentração comercial, principalmente de venda e troca de veículos e peças automotivas, produz centralidades urbanas paralelas ao Centro de Itajaí, configurando-se como fortes polos geradores de tráfego que interceptam o caminho ao porto. Após esta longa travessia por bairros predominante residenciais e comerciais, cujos próprios tráfegos internos tornam moroso o acesso aos terminais portuários, chega-se à Rua Blumenau, a qual, nos últimos quinze anos, devido à concentração e ao aumento do trânsito de cargas pesadas em seu leito, aniquilou a vida urbana residencial e comercial presentes anteriormente e se tornou uma das principais vias utilizadas pelas carretas de contêiner.

O gargalo 6 da Figura 2, onde a B.R. 101 encontra a Avenida Gov. Adolfo Konder, e esta última, por sua vez, desemboca na Rua Heitor Liberato, seria um acesso direto e em linha reta ao Porto de Itajaí. No entanto, o leito desta avenida abarca, conflituosamente, o intenso tráfego urbano comum, com grandes redes de supermercado e uma faculdade, lado a lado do tráfego pesado dos armazéns de contêiner. Na Av. Adolfo Konder também se localiza o Terminal Rodoviário Internacional de Itajaí – TERRI, que atende o transporte coletivo intermunicipal, interestadual e internacional,

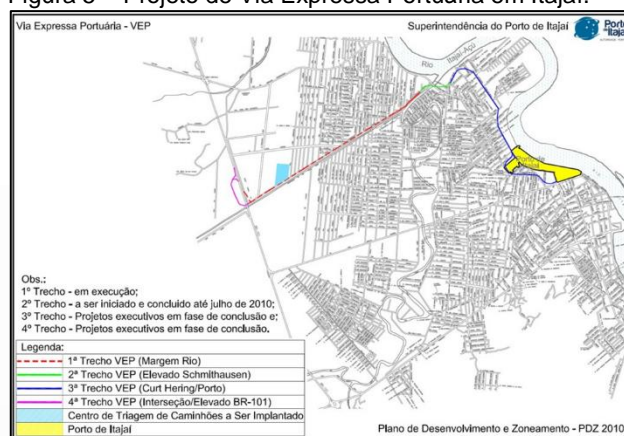
produzindo um fluxo acentuado de ônibus de grande e pequeno portes e sendo, por si próprio, outro polo gerador de tráfego acessado por pedestres, ciclistas, motociclistas e motoristas de veículos leves, que transitam entre a rodoviária e as áreas urbanas, as rodovias e o Aeroporto de Navegantes. Deve-se considerar ainda que para a Av. Adolfo Konder reflui o trânsito intenso de uma das principais artérias urbanas de Itajaí, representada pela Rua Heitor Liberato, que capta a circulação dos bairros mais populosos e do Centro itajaienses e direciona à B.R. 101. Portanto, mesmo sendo um potencial acesso em linha reta ao porto, em oposição à sinuosidade da Rua Reinaldo Schmithausen, o acesso pela Av. Adolfo Konder também é interceptado em diversos pontos pelo tráfego urbano comum, retardando especialmente a logística portuária e dando forma à uma vivência urbana insegura, cotidianamente marcada pelo choque de veículos pesados e leves e pelo aumento progressivo do número de vítimas fatais no trânsito.

Outro nó viário, representado pelo gargalo 7 (Figura 2), se encontra entre a Rodovia Antônio Heil, também conhecida por B.R. 486 e S.C. 486 (acesso à Brusque) e a B.R. 101. Neste trevo se acumulam o tráfego local, regional, estadual, nacional e internacional de veículos leves e de carga, que fazem a travessia para outros destinos do território ou que vêm de/vão à Itajaí: acesso ao Porto de Itajaí, ao porto seco, às empresas, ao Centro e aos bairros, à Universidade do Vale do Itajaí/UNIVALI, e ainda à Brusque/SC. A presença da UNIVALI, maior instituição privada de ensino do Estado, com cerca de 24 mil alunos (UNIVALI, 2019), atrai isoladamente para si um tráfego regional de estudantes, professores e trabalhadores da instituição, e cujo acesso rodoviário pela Antônio Heil, à leste da 101, divide o trevo com o trânsito de caminhões entre os portos molhados e o porto seco. Na Rod. Antônio Heil, à oeste da 101, localiza-se um dos maiores portos secos do país, a Multilog, uma Estação Aduaneira do Interior (EADI), que recebe, transporta, armazena e faz os trâmites alfandegários de mercadorias importadas e destinadas à exportação que circulam no complexo portuário,

sendo, tanto quanto os portos em si, um enorme polo gerador de tráfego e de negócios. A presença destas instituições de grande porte às margens leste e oeste da B.R. 101 torna, portanto, o gargalo da Antônio Heil no mais obstruído de Itajaí.

As obras de uma Via Expressa Portuária (VEP) entre a B.R. 101 e o Porto de Itajaí estão há 5 anos paralisadas. A VEP se conformaria em um caminho exclusivo para transporte de cargas portuárias, cujo trecho iniciaria na B.R. 101, sobreposta por um elevador, seguindo em linha reta pelas margens norte do Rio Itajaí Mirim, encontrando a Rua Reinaldo Schmithausen, esta transposta também por um elevador, o qual se direciona até a Rua Curt Hering, para então desembocar na Rua Blumenau e chegar ao Porto (Figura 5). Construída pelo exército brasileiro e recursos do PAC, as obras da VEP, iniciadas em 2006, estão paralisadas desde 2012, devido a atrasos nos trâmites de desapropriações. Ademais, seu projeto, aprovado em 2005, já é considerado desatualizado: isoladamente, não resolve a situação dos gargalos produtivos do complexo portuário como um todo (NSC TOTAL, 2019).

Figura 5 – Projeto de Via Expressa Portuária em Itajaí.



Fonte: Porto de Itajaí - PDZ (2010, p. 10).

Todos os gargalos abordados se relacionam e exercem uma interdependência entre si, devendo ser pensados em conjunto, e não isoladamente, na construção de soluções urbanísticas para desafogamento dos mesmos. A reportagem do jornal O Município (BORGES, 2018), citada anteriormente, apurou que, além do processo de duplicação da Rod. Antônio Heil, em andamento no trecho mais movimentado

(Itajaí-Brusque), e da B.R. 470, é necessário pensar no próprio eixo da B.R. 101, como afirmou o secretário-executivo da FIESC ao jornal O Município. Na mesma reportagem, o diretor-superintendente da Portonave, Osmari Ribas, alertou ainda que todos os pontos de retenção a caminho do complexo portuário do Rio Itajaí-Açu são importantes e devem ser considerados: 'Qualquer obstrução da via é um problema muito sério para cumprir prazos na operação dos navios. A operação é muito

rápida, e ela precisa que essa carga tenha um fluxo regular. Qualquer diminuição, interrupção ou redução do volume pode afetar a produtividade dos terminais.' E: 'Temos o impacto direto da B.R. 470 que chega à Portonave. E temos essa malha viária local, como a Antônio Heil e a B.R. 101. Qualquer lugar com ponto de retenção, um gargalo, prejudica o escoamento tanto na importação quanto na exportação. Toda malha viária chegando próximo ao porto é importante.'

### 3 HIPÓTESES E MÉTODOS DE ANÁLISE DA PROBLEMÁTICA - A FORMAÇÃO DOS GARGALOS PRODUTIVOS E A VIVÊNCIA URBANA HOSTIL

Este estudo de caso descritivo foi a introdução de uma futura análise crítica da situação exposta, na qual se pretende destrinchar as múltiplas determinações espaciais, sociais e econômicas que sintetizam a realidade espacial apontada, porém, desde já, lança algumas hipóteses e possíveis caminhos metodológicos.

Ainda que a aparência contraditória e desequilibrada das relações espaciais entre Navegantes e Itajaí seja o ponto de partida deste estudo e nos suscite imediatamente ações concretas para equilibrá-lo, estas ações só serão realmente concretas se o próprio espaço for apreendido e reproduzido concretamente através da análise de suas múltiplas determinações:

O concreto é concreto por ser a síntese de múltiplas determinações, logo, unidade da diversidade. É por isso que ele é para o pensamento um processo de síntese, um resultado, e não um ponto de partida, apesar de ser o verdadeiro ponto de partida e portanto igualmente o ponto de partida da observação imediata e da representação. [...] as determinações abstratas conduzem à reprodução do concreto pela via do pensamento (MARX, 2003, p. 248).

Inicialmente aparente, o espaço então apreendido em sua totalidade, ou seja, reproduzido concretamente pela via do pensamento, nos fornece os elementos necessários para a reflexão da intervenção. No entanto, este esforço de análise não deve ser finito, mas uma constante mantida também ao longo da intervenção. Análise e intervenção,

simultaneamente, se constroem e acompanham o movimento das múltiplas determinações, isto é "[...] a análise já não precede a regra e o projeto, mas está presente permanentemente" (ASCHER, 2010, p. 97-98).

Entre os determinantes que dão forma ao espaço, o principal é o metabolismo econômico, sobre o qual também, dialeticamente, o espaço exerce sua influência. Os processos econômicos do complexo portuário do Rio Itajaí-Açu agem sobre o território das cidades e, ao mesmo tempo, dependem dele: o problema espacial não é de mera forma, mas de forma-conteúdo, ou seja, "ele se liga, de um lado, à lógica da forma, e, de outro, à dialética dos conteúdos" (LEFEBVRE, 2008, p. 110). Isto quer dizer que o espaço não é apenas síntese, mas fator social, ou força produtiva, que atua sobre a realidade (SANTOS, 1978); sob esta visão lefebviana seguida por Milton Santos, o espaço é considerado um ente ativo, que não apenas acumula passivamente em forma física as dinâmicas socioeconômicas; devido ao seu aspecto durável é, ao mesmo tempo, produto e produtor "Face à durabilidade das formas, a construção da paisagem converte-se em um legado aos tempos futuros. Por isso, as transformações da sociedade são, em certa medida, limitadas e dirigidas pelas formas preexistentes (SANTOS, 1997, p. 54).

A resistência da forma orienta as transformações, sua presença é feita de tempos cristalizados, ao mesmo tempo passado e presente, que influenciam o futuro. No entanto,

devido à força dos imperativos econômicos que se move 'para além de todas as barreiras espaciais' (MARX, 2011) em um esforço de 'anulação do espaço pelo tempo' (Idem), a forma não é absoluta, é relativamente maleável ao constante movimento das determinações, sendo esta também transformada pelas necessidades de um dado momento.

Ainda assim, os imperativos econômicos são contraditórios, pois tentam ignorar os limites da maleabilidade do espaço, causando sua saturação e improdutividade. Ao mesmo tempo que o metabolismo da economia se movimenta em prol da acumulação progressiva de capital, seu esforço de acelerar o tempo do circuito de produção, circulação e consumo, o qual alimenta a acumulação, exclui tanto as necessidades humanas, moldando um espaço

hostil para viver, trabalhar, ocupar e circular, quanto as necessidades de planejamento que garantiriam sua produtividade e lucratividade ao longo do tempo, formando gargalos produtivos no território.

São visíveis as contradições econômicas nas relações espaciais entre Itajaí e Navegantes: além da natureza finita do espaço e da barreira do Rio Itajaí, a sua impermeabilidade, causada pela ausência prévia de infraestrutura e planejamento territorial, são limitantes à fluidez total do processo, como nos mostram, por exemplo, os gargalos produtivos apresentados previamente neste estudo. Isto é, a ausência do planejamento está, ao mesmo tempo, associada à extração e concentração de valor a curto prazo, quanto aos seus entraves a longo prazo.

## CONCLUSÃO

O complexo portuário do Rio Itajaí-Açu, localizado nas margens opostas de Itajaí e Navegantes, une pela economia o que o rio separa pela geografia e, sendo a matriz econômica que estrutura e junte os negócios locais, deve também ser o ponto de partida para investimentos em planejamento que atenuem a barreira da geografia e da precária infraestrutura espacial, melhorando as relações interdependentes que estas duas cidades mantêm entre si. Para isso, as duas cidades devem ser pensadas considerando seu cotidiano em comum. Atualmente, Navegantes e Itajaí não consideram este cotidiano nos seus projetos e obras de infraestrutura, isolando-se legalmente e espacialmente em seus próprios

planos diretores e atuando pontualmente em seus territórios, sem pensar na dinâmica mais ampla que sustentam entre si. Através do planejamento intermunicipal, seria possível tornar mais permeável a malha viária entre as cidades, otimizando e acelerando o circuito portuário, bem como garantindo a qualidade de vida dos habitantes e trabalhadores que ocupam e circulam entre as cidades. Isto é, o planejamento integrado não só desobstruiria os gargalos entre os municípios, mas também atuaria positivamente na redução das fatalidades no trânsito decorrentes dos embates urbanos diários entre a frágil vida humana e a robustez dos veículos de carga.

## REFERÊNCIAS

ANTAQ-Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Estatístico aquaviário**. 2019. Disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/Anuario/>>. Acesso em: jun. 2019.

ASCHER, François. **Os novos princípios do urbanismo**. São Paulo: Romano Guerra, 2010.

BORGES, Marcos. Crescimento dos portos depende das rodovias. **O Município**, 2018. Disponível em: <<https://omunicipio.com.br/crescimento-de-portos-depender-das-rodovias/>>. Acesso em: jan. 2019.

CLICRBS. **Apito dos navios faz parte da rotina dos moradores de Itajaí**. 2013a. Disponível em:

<<http://osoldiario.clicrbs.com.br/sc/noticia/2013/06/apito-dos-navios-faz-parte-da-rotina-dos-moradores-de-itajai-4170756.html>>. Acesso em: jan. 2019.

\_\_\_\_\_. **Categoria vê prejuízo em nova regra para caminhões em Navegantes.**

2013b. Disponível em: <<http://osoldiario.clicrbs.com.br/sc/noticia/2013/08/categoria-ve-prejuizo-em-nova-regra-para-caminhoes-em-navegantes-4235853.html>>. Acesso em: jan. 2019.

\_\_\_\_\_. **Promessa de uma Via Expressa Portuária para Itajaí se arrasta há 10 anos.**

2014. Disponível em: <<http://osoldiario.clicrbs.com.br/sc/noticia/2014/02/promessa-de-uma-via-expressa-portuaria-para-itajai-se-arrasta-ha-10-anos-4415428.html>>. Acesso em: fev. 2019.

D'ÁVILA, Edison. **Pequena história de Itajaí.** Itajaí: Fundação Genésio Miranda Lins, 1982.

DNIT. **Mapa do Brasil.** 2015. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/mapas-multimodais>>. Acesso em: jan. 2019.

FIESC. **Santa Catarina em dados. 2015.** Federação das indústrias do estado de Santa Catarina. Disponível em: <[https://fiesc.com.br/sites/default/files/inline-files/sc\\_em\\_dados\\_site\\_2015.pdf](https://fiesc.com.br/sites/default/files/inline-files/sc_em_dados_site_2015.pdf)>. Acesso: jan. 2019.

G1. **Movimento no ferryboat, entre Itajaí e Navegantes, aumenta 30% na temporada de verão.** 2019. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/jornal-do-almoco/videos/t/edicoes/v/movimento-no-ferry-boat-entre-itajai-e-navegantes-aumenta-30-na-temporada-de-verao/7274600/>>. Acesso: jan. 2019.

GOTTDIENER, Mark. **A produção social do espaço.** São Paulo: Edusp, 1993.

HARVEY, David. **A produção capitalista do espaço.** 2. ed. São Paulo: Annablume, 2006.

\_\_\_\_\_. **Condição pós-moderna.** 21. ed. São Paulo: Loyola, 2011.

\_\_\_\_\_. **A justiça social e a cidade.** São Paulo: Hucitec, 1980.

INFRAERO. **Estatísticas.** 2017. Disponível em: <[https://transparencia.infraero.gov.br/wp-content/uploads/2019/02/anuario-operacional/anuario\\_2017.pdf](https://transparencia.infraero.gov.br/wp-content/uploads/2019/02/anuario-operacional/anuario_2017.pdf)>. Acesso em: jan. 2019.

LEFEBVRE, Henri. **A Revolução Urbana.** 3. ed. reimp. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2008.

\_\_\_\_\_. **O direito à cidade.** 4. ed. reimp. São Paulo: Centauro Editora, 2013.

MARX, Karl. **Contribuição à crítica da economia política.** São Paulo: Martins Fontes, 2003.

\_\_\_\_\_. **Grundrisse.** São Paulo: Boitempo, 2011.

\_\_\_\_\_. **O Capital: Crítica da economia política.** Livro primeiro. O processo de produção do capital. vol. II. 23. ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2009.

MASCARO, Alysson Leandro. **Estado e forma política.** São Paulo: Boitempo, 2013.

NAVEGANTES. Decreto n.º 1069 de 14 de outubro de 2013. **Regulamenta o tráfego e o estacionamento de caminhão para transporte de container e caminhão-trator por vias do município.** Navegantes, 2013.

NSC TOTAL. **Via Expressa Portuária de Itajaí tem verba de R\$ 10 milhões mas depende de novo projeto.** 2019. Disponível em: <<https://www.nsctotal.com.br/colunistas/dagmar-a-spautz/via-expressa-portuaria-de-itajai-tem-verba-de-r-10-milhoes-mas-depende-de>>. Acesso em: jun. 2019.

PORTO DE ITAJAÍ. **Histórico.** Disponível em: <<http://www.portoitajai.com.br/novo/c/historia>>. Acesso em: jan. 2019.

\_\_\_\_\_. **Plano de Desenvolvimento e zoneamento - PDZ-2010.** Itajaí, 2010. Perfil do Porto/PDZ 2010 (Em Revisão). PDF. Disponível em: <<http://www.portoitajai.com.br/novo>>. Acesso em: jun. 2019.

\_\_\_\_\_. **Porto de Itajaí investe em melhorias de infraestrutura.** Itajaí, 2018. Disponível em: <<http://www.portoitajai.com.br/novo/noticia/1101>>. Acesso em: jan. 2019.

SANTOS, Milton. **A Urbanização Brasileira**. 5. ed. São Paulo: Edusp, 2009.

\_\_\_\_\_. **Espaço e método**. 4. ed. São Paulo: Nobel, 1997.

\_\_\_\_\_. **Pensando o espaço do homem**. 5. ed. São Paulo: Edusp, 2007.

\_\_\_\_\_. **O Brasil: Território e Sociedade no início do séc. XXI**. São Paulo: Record, 2014.

\_\_\_\_\_. **Por uma geografia nova**. São Paulo: Hucitec, 1978.

UNIVALI. **Sobre a UNIVALI**. Disponível em: <<https://www.univali.br/institucional/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: jun. 2019.





## GEOMETRIA FRACTAL - UMA ABORDAGEM NA ENGENHARIA CIVIL COM A IMPRESSORA 3D

### RESUMO

A Geometria Fractal tornou-se possível pelo surgimento dos computadores, o que possibilitou a interação prolongada das equações matemáticas, gerando não somente as sequências de números, mas composições gráficas (formas) diferentes das já conhecidas até então, as não lineares. Essa pesquisa tem como objetivo geral viabilizar um exemplo da geometria fractal com a impressora 3D para exemplificação na Engenharia Civil. Para isso são necessários os seguintes objetivos específicos: compreender os fractais para aprofundar o estudo relacionado à geometria fractal na Engenharia Civil; verificar qual software específico representa o uso da Geometria Fractal na Engenharia Civil e identificar um exemplo da geometria fractal que será viabilizados na impressora 3D. A pesquisa classifica-se como qualitativa, explicativa, bibliográfica, pois foi feito o levantamento bibliográfico sobre a geometria fractal, e experimental devido o propósito de viabilizar o exemplo na impressora 3D. Na fundamentação teórica foram evidenciados os autores Mandelbrot (1997), Sallum (2005), Capra (1998), Barbosa (2002), Nunes (2006). Com os resultados da pesquisa foi possível viabilizar exemplo da geometria fractal com a impressora 3D para a Engenharia Civil.

**Palavras-chave:** Geometria Fractal. Exemplos. Engenharia Civil.

### INTRODUÇÃO

Através da geometria fractal é possível estudar propriedades e comportamentos que não são detectados com a geometria euclidiana, por exemplo, a descrição de algumas formas/fenômenos da natureza, como: planetas, nuvens, costas geográficas, conchas, folhas de plantas e a morfologia urbana.

Ao objeto matemático que pode ser dividido em partes, sendo essas partes semelhantes ao objeto original,

NICOLODI, Roberto.  
Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática ( FURB);  
Graduação em Matemática (FURB). Professor (SINERGIA).  
nicolodiprof@gmail.com.  
<http://lattes.cnpq.br/0034995605095>  
32

NICOLODI, Josiane Elias.  
Mestrado em Educação (UNIVALI); Especialização em Metodologia do Ensino da Matemática (IBPEX); Graduação em Matemática (FURB).  
Professora e Coordenadora dos cursos de Engenharia Civil e de Engenharia de Produção (SINERGIA).  
josianenicolodi@ig.com.br  
<http://lattes.cnpq.br/8891106975756>  
079

NICOLODI, Roberto; NICOLODI, Josiane Elias. Geometria fractal – uma abordagem na Engenharia Civil com a impressora 3D. REFS – Revista Eletrônica da Faculdade Sinergia, Navegantes, v.10, n.16, p. 49-59, jul./dez. 2019.

denomina-se fractal, o qual tem infinitos detalhes e podem ser autossimilares e de escala.

Na maioria das situações, o fractal é gerado por um padrão repetitivo que remete à ideia de infinito, devido suas formas repetirem similarmente, em escalas cada vez menores, contendo cópias de si mesmas.

Essa denominação foi estabelecida em 1975 pelo matemático francês Benoît Mandelbrot, a partir do adjetivo latino *fractus*, do verbo frangere que significa quebrar, o que levou a descoberta da Geometria Fractal.

Na atualidade, quando observadas edificações, pavimentações (ladrilhos de ruas), é possível identificar algumas relações com a geometria fractal devido à aplicação dos fractais incluírem a compreensão de imagens ou modelagem de terrenos e texturas. Na arquitetura, tem gerado resultados agradáveis ao olho humano, embora ainda tenham polêmicas e discussões entre arquitetos, matemáticos e pesquisadores da área.

A questão central deste estudo foi: é possível viabilizar exemplos da geometria fractal através da impressora 3D como recurso pedagógico para o estudo dos conceitos de geometria na Engenharia Civil? Na busca de resposta, definiu-se como objetivo geral: viabilizar um exemplo da geometria fractal com a impressora 3D para exemplificação na

Engenharia Civil. E, para que este pudesse ser alcançado, outros específicos também foram estabelecidos, tais como: a) compreender os fractais para aprofundar o estudo relacionado à geometria fractal na Engenharia Civil; b) verificar a possibilidade de parcerias com outras instituições que desenvolvem pesquisas na área da Geometria Fractal, para o aprimoramento, divulgação e utilização do software específico; c) identificar os exemplos da geometria fractal que serão viabilizados na impressora 3D.

A fundamentação teórica será dividida em dois tópicos: o primeiro, abordará a Geometria Fractal com os autores Mandelbrot (1977), Sallum (2005), Capra (1998), Barbosa (2002), Nunes (2006) e o segundo fará referência à utilização da impressora 3D como recurso didático para as aulas de geometria na Engenharia Civil.

Como essa pesquisa, foi possível conhecer um pouco mais da Geometria Fractal, e também observar as contribuições da utilização da impressora 3D para o aprendizado dos conceitos de geometria para os acadêmicos de Engenharia Civil, tendo em vista que o graduado em engenharia civil deverá ter formação interdisciplinar nas áreas da técnica, ciências humanas e da arte, capaz de compreender a complexidade dos ambientes socioespaciais.

## 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 1.1 A GEOMETRIA FRACTAL

Na atualidade, as tecnologias vêm encantando cada vez mais as crianças e os jovens, com os jogos computacionais, a realidade virtual, as músicas e os filmes de ficção científica que possibilitam imagens coloridas e movimentadas, os quais despertam a atenção de todos. Este mundo, onde as tecnologias são diversas e transformam-se com grande rapidez, nos leva a reflexão acerca das práticas pedagógicas nas aulas de matemática e geometria, e é onde surge a geometria fractal.

O conhecimento da Geometria Fractal somente tornou-se possível pelo surgimento dos computadores, o que possibilitou a interação prolongada das equações matemáticas, gerando não somente as sequências de números, mas composições gráficas (formas) diferentes das já conhecidas até então, as não lineares, descritas como fria e seca, devido, por exemplo, a,

[...] sua incapacidade para descrever a forma de uma nuvem, de uma montanha, de um litoral, ou de uma árvore. Nuvens não são esferas, montanhas não são cones, litorais não são círculos, cascas de árvore não são lisas,

nem o relâmpago viaja em linha reta (MANDELBROT, 1977, p. 1).

Algumas dessas formas geométricas abstratas nos chamam atenção por serem de uma beleza fascinante, com padrões que repetem-se infinitamente, com uma complexidade incrível, mesmo limitados a uma determinada área.

As primeiras descobertas que originaram a Geometria Fractal, foram introduzidas por Benoit Mandelbrot em 1975, com a definição de fractal.

Eu cunhei a palavra fractal do adjetivo latino **fractus**. O verbo latino correspondente **frangere** significa quebrar: criar fragmentos irregulares. Portanto, é considerável – e quão apropriado para as nossas necessidades! – que, além de significar **fragmentado** (como em fração ou refração), **fractus** pode também significar irregular, estando ambos os significados preservados em **fragmento** ((MANDELBROT, 1977, p. 4, **grifos do autor**).

Assim, Sallum (2005, p. 01) alude que,

Um fractal é uma figura que pode ser quebrada em pequenos pedaços, sendo cada um desses pedaços uma reprodução do todo. Não podemos ver um fractal porque é uma figura limite, mas as etapas de sua construção podem dar uma ideia da figura toda. Seu nome se deve ao fato de que a dimensão de um fractal não é um número inteiro.

É possível classificar esses fractais em duas categorias: os fractais geométricos e os fractais aleatórios. Os fractais geométricos repetem sempre um modelo padrão e os aleatórios são aqueles originados por computadores.

Também possuem com frequência duas características: a complexidade infinita e a autossimilaridade. A complexidade infinita é uma propriedade dos fractais que tende ao infinito, ou seja, nunca será possível representá-los completamente, pois a quantidade de detalhes é infinita, sempre será possível dividi-lo repetitivamente em partes cada vez menores. Já a autossimilaridade também está presente na teoria do caos, onde

os atratores estranhos são exemplos extraordinários de fractais. Se partes da sua estrutura são ampliadas, elas revelam uma subestrutura em muitas camadas nas quais os

mesmos padrões são repetidos muitas e muitas vezes. Por isso, tornou-se comum definir atratores estranhos como trajetórias no espaço de fase que exibem geometria fractal (CAPRA, 1998, p. 119).

A autossimilaridade ou autosssemelhança é quando um fractal apresenta cópias no seu interior da sua forma inicial, ou seja, um pequeno pedaço é similar ao todo. Assim, cada pequena função do fractal, é uma réplica do original, só que em dimensão/escala menor, o que se classifica como a simetria pela escala. Essa característica é observada facilmente nos fractais encontrados na natureza como por exemplo, um pedaço de brócolis retirado, observa-se que esse pedaço é exatamente igual ao todo, pois

a geometria fractal era uma geometria da natureza, que fazia um apelo constante ao caos estatístico. Mas, com a sua utilização, o seu papel alargou-se enormemente. É uma geometria da **natureza** e é uma geometria do **caos**, sob duas formas: **estatística e determinista**. Para ser mais preciso, os Objetos Fractais, de 1975, propunham-se não só a descrever as montanhas, as nuvens, as árvores e os amontoados de galáxias, mas também descrevê-los de uma forma suficientemente perfeita para permitir imitar imagens do real por meio de fórmulas. Essas imitações baseavam-se em modelos estatísticos. Pouco depois, no entanto, no meu livro inglês, Mandelbrot 1977f, pp. 255-259, verificava (lendo Poincaré) que as mesmas técnicas podiam ser aplicadas em dinâmica (MANDELBROT, 1991, p. 208, **grifos do autor**).

Dessa forma, faz-se necessário abordar a Geometria Fractal como uma metodologia de ensino, na disciplina de geometria descritiva, para compreensão dos conceitos estudados e também na aplicação dos conceitos de geometria fractal nas edificações. Nesse sentido:

A exploração da geometria fractal, em contexto de sala de aula, proporciona o desenvolvimento das atitudes, dos valores e das competências dos alunos, na medida em que promove a curiosidade e o gosto de aprender, de pesquisar e de investigar; impulsiona a utilização da matemática na interpretação do real, reconhecendo formas e processos que envolvem conceitos matemáticos; ajuda na compreensão dos conceitos de perímetro, área e volume;

promove a pesquisa de padrões e regularidades formulando em seguida generalizações em situações diversas, nomeadamente em contextos numéricos e geométricos (NUNES, 2006, p. 74).

É possível afirmar que esta área da geometria passa a ser uma importante e eficaz metodologia de ensino, pois possibilita a abordagem e aplicação de vários conceitos, especificamente da geometria trabalhada no curso de Engenharia Civil.

A abordagem dessa pesquisa possibilitará ao aluno a aplicação dos conceitos trabalhados em sala, pois:

[...] para os fractais, em especial para a geometria fractal, faz-se necessário ao educador conseguir captar o educando com o transparecer de sua própria vibração, e talvez evidenciando o êxtase na complementação na beleza de seus visuais, conduzindo-o ao prazer pelas informações e conhecimentos culturais da vasta variedade de fractais (BARBOSA, 2002, p. 14).

Além do campo extenso de aplicações dos fractais, é necessário perceber a potencialidade que existe nesta área da geometria, podendo, assim, trabalhar conceitos de simetria, relacionando a Geometria Fractal com a arquitetura e o urbanismo.

## 1.2 AS CURVAS DE PEANO

Para melhor compreensão do conceito de Geometria Fractal e geometria, será abordado nesse tópico uma aplicação na matemática que envolve o conceito de ponto, reta, plano, que são conceitos da geometria descritiva com a Curva de Peano.

A Curva de Peano é um exemplo de fractal que surgiu em 1890, com Giuseppe Peano (1858-1932), logicista, matemático e professor italiano. As curvas encaixam-se em uma das duas categorias principais dos fractais (aleatórios e as geométrica – objeto deste estudo) que determinam como são formados ou gerados.

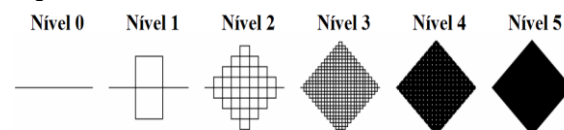
Os fractais determinísticos, também conhecidos como fractais geométricos, são subconjuntos gerados por transformações

geométricas simples do próprio objeto nele mesmo, possuem uma regra fixa de substituição geométrica, aplicadas a cada iteração como por exemplo, a curva de Peano (FERNANDES, p. 14, 2007).

Foi denominada patológica, na época de sua criação, levando em consideração que suas linhas têm dimensão eucladiana 1 e preenchem planos com dimensão 2 (BAIER, 2005). Mandelbrot (1991, p. 51) cita que "a expressão curva de Peano aplica-se, genericamente, a toda uma família de curvas patológicas que, entre 1890 e 1925, desempenharam um papel decisivo na elaboração do conceito de dimensão topológica".

O preenchimento do plano é feito de forma que a curva passa por todos os pontos de uma área específica, que aos poucos vai sendo ocupada por inteiro e não apresenta intersecção. Inicia-se com um seguimento de reta que, em sua primeira iteração, transforma-se em nove seguimentos com o mesmo comprimento entre si, mas com um terço do seguimento original. Essa é a primeira etapa da construção recursiva da Curva de Peano, que tem continuidade nos nove novos segmentos, sendo assim levado ao infinito.

Figura 01 - Curva de Peano.



Fonte<sup>1</sup>: Elaborado pelos autores.

Para o esclarecimento da multiplicação dos seguimentos, Cruz (2010, p. 7) cita que:

a Curva de Peano no nível 1 possui nove segmentos, como as substituições são efetuadas em cada um desses, pode se encontrar miniaturas da curva no nível 1 em nove partes do nível 2. Deste mesmo modo, pode se encontrar nove miniaturas do nível 2, no nível 3 e assim sucessivamente.

O processo iterativo de fractais é seu sistema generativo de formas no qual é empregada a fórmula  $D = \log N / \log n$ , onde  $D$  significa dimensão;  $N$  significa o número de

<sup>1</sup> Fractais e Sistemas de Funções Iteradas.

peças em cada iteração; e  $n$  a ampliação necessária para chegar ao objeto original.

Solução para Curvas de Peano:

$$N=9 \quad n=3$$

$$D = \log 9 / \log 3$$

$$D=2$$

Quadro 01 - Tabela de raciocínio da Curva de Peano.

Nível	0	1	2	3	4	$N$
Número de seguimentos	1	9	81	729	6561	$9^n$
Comprimento de cada segmento	1	1/3	1/9	1/27	1/81	$1/3^n$
Comprimento total da curva	1	3	9	27	81	$3^n$

Fonte<sup>2</sup>: Elaborado pelos autores.

Algumas características destas curvas podem ser consideradas: autossimilaridade, estrutura fina, fácil construção e difícil descrição analítica. A autossimilaridade ocorre por conta da multiplicação dos seguimentos, sempre em versão menor que o anterior, como uma miniatura. A estrutura fina, pois mesmo com a variação de ampliação na visualização, é possível observar os detalhes dos fractais. Sendo um processo de repetição infinito, torna-se um objeto de fácil construção. Para a descrição analítica da curva, faz-se necessário mais do que apenas uma simples função (SILVA, 2008).

### 1.3 ARQUITETURA FRACTAL E A IMPRESSORA 3D

Na arquitetura, a Geometria Euclidiana é a mais comum por conta das suas formas puras, lisas e regulares, enquanto a Geometria Fractal apresenta uma ampla diversidade, com o aprimoramento das formas, apresentando-as com maior complexidade, sem tantas limitações. Pode-se dizer que as formas fractais são uma extensão das formas euclidianas.

A Geometria Euclidiana oferece o menor custo nas edificações, que por não haver tantos detalhes, seu custo tende a baixar. Esse é um conceito da Arquitetura Modernista, quando o funcionalismo era a palavra-chave. Mas, por outro lado, um dos pontos de maior importância

na arquitetura são as formas, e a Geometria Fractal dá maior liberdade para geração e inovação formal (DUARTE, 1999).

Villa Savoye, localizada em Poissy, França, de Le Corbusier é um exemplo de Arquitetura Modernista e sua conceitualização, onde pode ser observado que as formas mantêm-se puras, com pequenas alterações, mas sem ornamentos ou a utilização de fractais. Além disso, Villa Savoye contém os 'Cinco Pontos de uma Nova Arquitetura' lançados por Le Corbusier, que são os pilotis, janelas em fita, terraço jardim, fachada livre e planta livre (JONES, 2014).

Para a aplicação dos fractais na engenharia civil, é necessária a limitação de iterações, que nada mais é que um processo regrado de substituição por adição ou subtração de elementos similares, seguindo uma repetição. Os elementos para produzir um fractal são o iniciador e o gerador, mas pode haver mais, como: rotações, translações e angulações. Um exemplo de fractais em edificações é a Torre Eiffel, localizada em Paris, França, de Gustave Eiffel, de 1889. Muito antes da conceitualização dos fractais, ele já havia sido utilizado. As iterações são finitas na arquitetura, como já comentado, e representam uma sequência de elementos similares e ramificados na estrutura deste marco da cidade de Paris (GLEICK, 1991).

Os fractais podem ser representados em duas dimensões, que são feitos em um plano por meio de regras generativas, sendo um padrão para composições tridimensionais. Assim, na engenharia civil, a escala é uma ferramenta muito utilizada nas edificações, levando em consideração a escala humana no desenvolvimento das mesmas. O termo Realimentação do fractal pode ser utilizado quando se refere às alterações de escala do fractal. Os fractais podem ser padronizados ou ter simetria. A simetria segue um modelo rígido, enquanto a padronização ou autossimilaridade mostra a relação do todo.

<sup>2</sup> Novas configurações de monopolos planares quase-fractais para sistema de comunicações móveis.

Já a representação em três dimensões, é realizada por meio de softwares, em computadores por sua complexidade. A construção manual ou apenas por softwares é determinada pela quantidade de iterações e o grau de complexidade.

O ensino por meio da realidade computacional está presente em todas as áreas da sociedade e deve ser cada vez mais estimulada. No caso do curso de Engenharia Civil, faz-se necessário, além da abordagem computacional simples, utilizar programas que podem abordar novos conceitos, como a Geometria Fractal (ORCIUOLI, 2009).

É importante o conhecimento dos acadêmicos dessa nova possibilidade de exploração de formas para que possam ir além do esperado, projetando e modelando diferenciações, além da criação de repertório visual, exercícios de construção e desconstrução de formas e criação de morfologias (SEDREZ, 2009).

Mandelbrot (1998) descreve que os potenciais do ensino de Geometria Fractal para os alunos direciona ao envolvimento das imagens e de quem as produz; a novos rumos, levando em consideração que é uma linguagem matemática; à atração pelos fractais, motivando-os ao uso mais frequente e à utilização útil.

Nesse contexto, a impressão em 3D está conquistando, cada vez mais, espaço no

desenvolvimento de modelos e protótipos para estudos ou fabricação de itens, pois as áreas são diversas: mobiliário, iluminação, próteses, aeronáutica. A velocidade e a funcionalidade que a impressora 3D oferece atrai diversos usuários (DIMITROV; SCHREVE; DE BEER, 2006).

Além disso, como descreve Jing et al. (2014), a impressão 3D tem ajudado a repensar o design, melhorando o desempenho do produto final. Isso confirma o quão importante é a utilização dessa ferramenta no ensino de todas as áreas de criação.

Na área da Engenharia Civil, principalmente durante o desenvolvimento de projetos, os softwares utilizados para a impressão em 3D sofreram uma grande inovação, facilitando a criação de formas complexas no modelo virtual e também no impresso. Mitchell e McCullough (1994) citam os softwares paramétricos, scriptings e algoritmos como exemplos de meios de ensino, tomadas de decisões projetuais e análises térmicas, de iluminação e forma na área da engenharia civil.

Um dos pontos negativos da sua utilização é o custo alto da matéria-prima, mas ainda assim traz uma flexibilidade produtiva e compactação de processos (HOPKINSON; DIKENS, 2001).

## 2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Apresentou-se embasamento teórico do tema principal, Geometria Fractal, esclarecendo e compreendendo que ela também é conhecida como Geometria da natureza, levando em consideração que foi sua principal inspiração para a criação de composições de formas não lineares, como fragmentos irregulares. A partir disso, aprofundou-se a pesquisa na aplicação dos fractais na Engenharia Civil, possibilitando novas formas.

Para a impressão 3D, foi selecionada uma edificação que servirá de modelo para tal, a F&F Tower (Figura 02), que será melhor explanada a seguir.

A aplicação da Geometria Fractal na Engenharia Civil oferece uma nova possibilidade na criação e modelagem de novas formas, com complexidade e maior liberdade. A natureza é a maior inspiração, sendo possível replicar algumas das suas formas, mas a principal contribuição é a constatação que se pode desenvolver algo diferenciado do que havia sido feito até então. Aplicou-se os fractais com iterações limitadas, com a repetição de elementos similares ou simétricos. A F&F Tower apresenta-se como um modelo onde o conceito de Geometria Fractal pode ser observado em análise.

A F&F Tower, também conhecida como Revolution Tower, fica localizada na Cidade do Panamá, Panamá. Concluída em 2012, a torre teve sua construção em apenas dois anos; são cerca de 50 mil metros quadrados, com 51 andares, dos quais 13 são utilizados como estacionamento e o restante, para salas comerciais. Tem o total de 230 metros de altura e esteve entre os arranha-céus escolhidos pela empresa Emporis em 2012, no prêmio mundial que leva em consideração a altura, a inovação tecnológica e o design (PIZÓN LOZANO & ..., 2014).

A torre é um marco referencial na cidade, por ser um dos edifícios mais altos e também pelas formas diferenciadas, com sofisticação. Localiza-se no setor financeiro, tendo maior avanço econômico e atraindo turistas.

Figura 02 - F&F Tower.



Fonte: Pizón Lozano & ... (2014).

O projeto é de Pinzón Lozano, arquiteto panamenho e conta com um design em espiral que referencia o DNA humano, parafusos, hélices, entre outros. Além disso, tem vedação em vidro com uma proteção especial contra raios solares. Cada um dos andares da edificação sofre uma rotação de 8° ao redor do eixo central, formando, assim, pequenas sacadas em balanço (TERGOLINA, 2013).

Estruturas espirais estão diretamente ligadas à modelagem 3D, com desafios e inspirações para designers. Além disso, diversas edificações com esse tipo de visual tem adicionado a preocupação com a ecologia,

eficiência energética e arquitetura verde, temas em uso na arquitetura contemporânea (KILIBARDA et al., 2014).

Kilibarda et al. (2014) cita outras edificações que seguem a mesma linha que a F&F Tower, como a Evolution Tower, localizada em Moscou, Rússia, Spiral Tower, em Nagoya, Japão, The Turning Torso, em Malmo, Suécia, e Escola Judaica Heinz-Galinski, em Berlim, Alemanha.

O design inovador utilizando espirais é um dos nichos da Geometria Fractal, levando em consideração a repetição de elementos similares, a modelagem por computador que apenas atualmente tem sido possível de ser feito dessa forma, e a referência de formas na natureza, como citado anteriormente.

A F&F Tower é um dos exemplos utilizados para conectar de forma concreta a análise da Geometria Fractal com a Engenharia Civil. A Curva de Peano se aplica a este caso, com o preenchimento repetitivo de ângulos de 90° sem intersecções, conforme já citado. Cada pavimento da torre rotacionado tem a forma de um retângulo, que gira em torno de um eixo central, onde os planos e volumes remetem a fractais pela flexibilidade.

O arquivo digital modelado da edificação foi utilizado para a impressão em 3D, assim obtive-se mais uma ferramenta de aprendizagem visual, além de ser um incentivo à aprendizagem computacional com programas, principalmente sobre modelagem 3D, possibilitando a inserção de novos conceitos, como do presente estudo. A pontuação imagética é muito importante na formação de acadêmicos na área da criação, principalmente para fases iniciais, e além disso, o modelo 3D se torna muito funcional, como já abordado na fundamentação teórica.

A impressora 3D utilizada foi a do modelo Makerbot Replicator Desktop 3d Printer que suporta arquivos nos formatos OBJ e STL (Figura 03). A impressão ocorre por meio de uma extrusora que esquento o refil (Figura 04), que pode ser colorido, apenas de baixo para cima, criando uma base para maior estabilidade. O material utilizado é não-tóxico e pode ser utilizado para fins de estudo, com pouca

deformação, além de oferecer protótipos duráveis e resistentes à impactos.

Figura 03 - Makerbot Replicator Desktop 3d Printer.



Fonte: MakerBot.

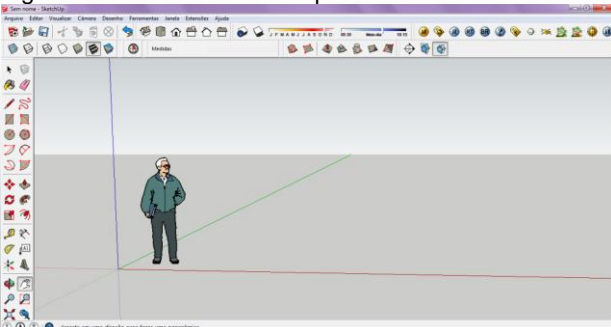
Figura 04 - Refil em rolo utilizado em impressões 3D.



Fonte: Os autores.

Para a modelagem 3D, recorreu-se ao programa SketchUp, na versão 2015 (Figura 05). Este programa oferece diversas ferramentas intuitivas e úteis na criação de projetos arquitetônicos, urbanísticos e de interiores. O uso do SketchUp é comum para acadêmicos e profissionais da área. Para ser compatível com a impressora 3D, foi necessário gerar um arquivo no formato OBJ.

Figura 05 - Interface SketchUp 2015.



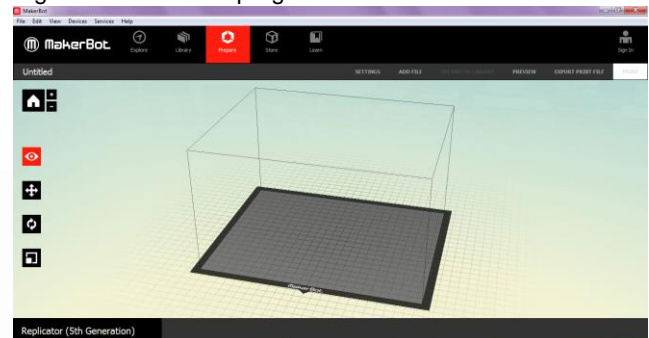
Fonte: Os autores.

Após os blocos estarem modelados e em formato OBJ, foi necessário a utilização do programa da impressora, um aplicativo que foi baixado diretamente do site da empresa MakerBot (Figura 06). O programa possibilita a alteração de escala do arquivo, alteração de onde o modelo será impresso na base da impressora, além de rotacionar e dar diferentes ângulos do modelo. Neste programa, escolheu-se a qualidade de impressão e obteve-se acesso à quantidade gramas de material necessário para a impressão, assim como o tempo estipulado.

O programa disponibilizado pela MakerBot dá uma previsão de como o modelo ficaria se fosse impresso. Dificuldades foram encontradas para compatibilizar o arquivo feito no SketchUp, pois diversos planos e arestas não foram aceitos pelo programa, criando falhas. Houve bastante retrabalho para compatibilizar todos os blocos.

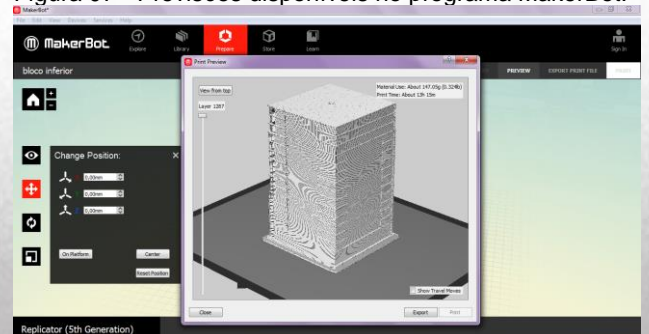
Outra limitação da impressora encontrada é que ela pode fazer impressões de um modelo de até 15cm, e a modelagem da F&F Tower terá cerca de 50cm no total. Isso fez com que diversos blocos fossem criados separadamente para encaixe posterior.

Figura 06 - Interface programa MakerBot.



Fonte: Os autores.

Figura 07 - Previsões disponíveis no programa MakerBot.



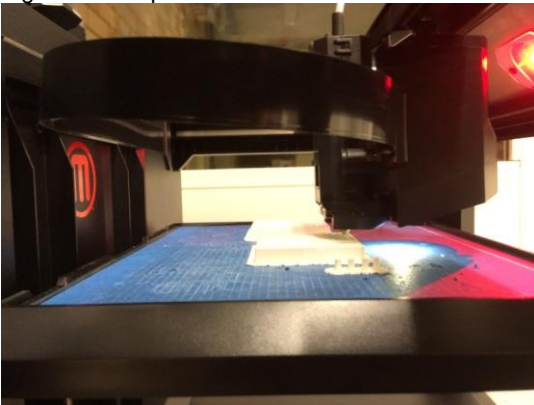
Fonte: Os autores.



Como há a rotação dos andares superiores na torre F&F, cada andar foi modelado individualmente para fazer o encaixe correto com pinos. Nos andares inferiores optou-se por modelação em um bloco único, com seus detalhes em cheios e vazios.

Primeiramente, realizou-se um teste de impressão na cor branca em apenas duas peças (Figura 08). Os encaixes com os pinos não foram perfeitos por conta da deformação do material, dessa forma, alterou-se na modelagem do SketchUp, o que foi preciso para que na próxima impressão não houvesse esse tipo de problema novamente.

Figura 08 - Impressão do teste feito.



Fonte: Os autores.

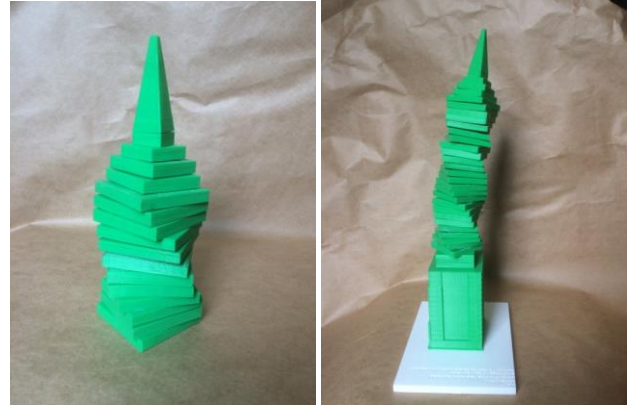
## CONCLUSÃO

Com a impressão 3D de edificações e formas, tem-se mais uma ferramenta de aprendizagem visual, além de ser um incentivo à aprendizagem computacional com programas, principalmente sobre modelagem 3D, possibilitando a inserção de novos conceitos, como o do presente estudo. A pontuação imagética é muito importante na formação de acadêmicos na área da criação, principalmente para fases iniciais, e, além disso, o modelo 3D se torna muito funcional. O modelo da F&F Tower impresso em 3D pode ser utilizado como instrumento para melhor compreensão das definições de geometria fractal, facilitando a visualização.

Uma das nossas maiores dificuldades encontradas foi a utilização da impressora 3D, pelas limitações da máquina disponível. A edificação impressa teve que ser dividida em

Dando continuidade à pesquisa, modelaram-se todos os blocos que seriam impressos em material na cor verde (Figura 09), para a impressão final, para que visualmente ficasse mais próximo da edificação estudada.

Figura 09 - Resultado final impresso.



Fonte: Os autores.

Após a montagem final dos blocos, chegou-se à maquete do prédio estudado, onde é possível observar a geometria fractal na Engenharia Civil.

diversas partes. Um dos motivos foi o sistema de pinos desenvolvido, pois cada um dos andares do edifício rotaciona em relação ao eixo central em 8°, então seria complicado imprimir os andares rotacionados juntos; o outro motivo foi a altura máxima de impressão, 15cm neste caso, e a impressão proposta tem aproximadamente 50cm. Dependendo da modelagem feita e testada virtualmente por um software de apoio da impressora, ocorreram defeitos de impressão, com falhas e travamentos da impressora, dificultando o prosseguimento das atividades e forçando o retrabalho.

Após a impressão de todos os blocos modelados, foi utilizado o sistema de pinos já citado, em com um encaixe na angulação. O bloco principal é o inferior, que pode ser feito em uma única impressão. Este bloco é retilíneo, não

tem rotação e representa os treze primeiros andares da edificação. Procurou-se manter todos os detalhes das fachadas, com os cheios e os vazios. Salvo a maioria dos detalhes, alguns tiveram que ser impressos separadamente e colados ao bloco com cola comum, pois a impressora não os aceitou.

Os blocos superiores, que têm rotação, primeiramente foram impressos apenas com

rebaixos para a colagem dos pinos e furos para o encaixe com outra peça. Os pinos foram impressos separadamente por limitações da impressora, e são colados aos rebaixos dos blocos com cola comum.

Em suma, averiguou-se que é possível, sim, viabilizar exemplos da geometria fractal com a impressora 3D para exemplificação do ensino de geometria na Engenharia Civil.

## REFERÊNCIAS

BAIER, T. **O nexó “Geometria fractal – produção da ciência contemporânea”** tomado como núcleo do currículo de matemática do ensino básico. 2005. 147 f. Dissertação (Tese de Doutorado em Educação Matemática) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2005.

BARBOSA, R. M. **Descobrimo a geometria fractal – para a sala de aula.** Belo Horizonte: Editora Autêntica, 2002.

BEUREN, I. M. Trajetória da construção de um trabalho monográfico em contabilidade. In: BEUREN, I. M. (Org.). **Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2004. p. 46-75.

CAPRA, F. **A teia da vida: Uma Nova Compreensão Científica dos Sistemas Vivos.** 3. ed. São Paulo: Cultrix, 1998.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica.** 4. ed. São Paulo: Makron Books, 1996.

CRUZ, G. P. **Fractais: Padrões complexos de incrível beleza.** [2010]. 12f. Dissertação - Universidade Nove de Julho, São Paulo, [2010]. Disponível em: <<http://www.unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/hispecielemaonline/sumario/17/30032011214317.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

DIMITROV, D; SCHREVE, K.; DE BEER, N. Advances in three dimensional printing - state of the art and futures perspectives, **Rapid Prototyping Journal**, Stellenbosch, v.12, n.3, p.12, 2006.

DUARTE, F. **Arquitetura e tecnologias de informação: da revolução industrial à**

revolução industrial. São Paulo: Editora da Unicamp. FAPESP: ANNABLUME, 1999. ESPANÉS, I. M. de. **Fractales y formas arquitectónicas.** Córdoba: I+P División Editorial, 2003.

FERNANDES, J. A. **Fractais: uma nova visão da matemática.** 2007. 46 f. Monografia (Graduação em Matemática) - Centro Universitário de Lavras, Lavras - MG, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 184p

GLEICK, J. **Caos: a criação de uma nova ciência.** Tradução Waltensir Dutra. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

HOPKINSON, N; DICKENS, P. M. Rapid Prototyping for direct manufacture. **Rapid Prototyping Journal**, v.7, n.4, p.197-202, 2001.

JENCKS, C. **The new paradigm in architecture: the language of post-modernism.** New Haven: Yale Press University, 2002.

JING, S. K. et al. A review of product design for Additive Manufacturing. **Applied Mechanics and Materials**, v. 635-637, p. 97-100, set. 2014.

JONES, D. **Tudo sobre arquitetura.** Rio de Janeiro: Sextante, 2014.

KILIBARDA, L. et al. Geometric 3D models of spiral structures inspired by contemporary architecture. In: International Scientific Conference on geometry and graphics, 4, 2014, Vlasina, Sérvia. **Anais**, Vlasina, Sérvia, Galaksija Niš, 2014. p. 13-23.

MAKERBOT. The replicator+Desktop 3D printer. Disponível em: <<https://www.makerbot.com/education/>>. Acesso em: 02 ago. 2016.

MANDELBROT, B. B. **The fractal geometry of nature**. New York: W. H. Freeman and Company, 1977.

\_\_\_\_\_. **Objetos fractais: Forma, Acaso e Dimensão**. Lisboa: Gradiva, 1991.

\_\_\_\_\_. Fractals – a Geometry of Nature. In: HALL, N. (Org.). **The New Scientist Guide to Chaos**. London: Penguin Books, 1992.

\_\_\_\_\_. **Objetos fractais: forma, acaso e dimensão seguido de panorama da linguagem fractal**. 2. ed. Lisboa: Gradiva, 1998.

MITCHELL, W. J.; McCULLOUGH, M. **Digital Design Media**. 2. ed. Willey, 1994.

NUNES, R. S. R. **Geometria fractal e aplicações**. 2006. 78f. Dissertação (Mestrado em Ensino da Matemática) - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2006.

ORCIUOLI, A. **O impacto das tecnologias de fabricação digital nos processos de design**. São Paulo: Digital, 2009.

PIZÓN LOZANO & ASOCIADOS ARQUITECTOS. Proyectos. Revolution. **Revolution tower**. 2014. Disponível em: <<http://www.plasoc.com/portfolio/ff-tower/>>. Acesso em: 02 ago. 2016.

SALLUM, E. M. Fractais no ensino médio. **Revista do Professor de Matemática**. Rio de Janeiro, n. 57, 2º quadrimestre de 2005.

SEDREZ, M. R. **Forma Fractal no ensino de projeto arquitetônico assistido por computador**. 2009. 162 f. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SILVA, M. R. **Novas configurações de monopolos planares quase-fractais para sistema de comunicações móveis**. 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SOUZA, J. P. Introdução à tecnologia digital em arquitetura. In: Tecnologia Digital. Novos processos, Nova arquitetura. (Parte 1). **Revista Arquitetura e Vida**, n. 61, junho 2005, Lisboa. p. 28-33.

TERGOLINA, P. **Panamá chama a atenção pela diversidade**. 2013. Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/vida-e-estilo/noticia/2013/04/panama-chama-a-atencao-pela-diversidade-4101156.html>>. Acesso em: 25 jul. 2016.



TEIXEIRA, Wagner.  
Mestrado em Engenharia Civil  
(PPGEC); Graduação em  
Engenharia Civil (UTFPR).  
Professor (SINERGIA).  
teixeira.wagner@hotmail.com  
<http://lattes.cnpq.br/8128512515450603>

FELTRIM, Fernanda.  
Mestrado em Engenharia Civil  
(PPGEC); Graduação em  
Engenharia Ambiental (UTFPR).  
fernandafeltrim@hotmail.com  
<http://lattes.cnpq.br/9850937270744559>

GAWLIK, Francismara Martins.  
Mestrado em Engenharia Civil  
(PPGEC); Especialização em  
Educação Profissional –  
PROEJA (UTFPR); Graduação  
em Engenharia Civil (UTFPR).  
Professora (SENAI/PR).  
francismara.martins@sistemafiep.org.br  
<http://lattes.cnpq.br/1657071534842519>

IZZO, Ronaldo Luis dos Santos.  
Doutorado em Geotecnia  
Ambiental (UFRJ); Mestrado em  
Engenharia Industrial (UNESP);  
Especialização em Engenharia  
de Segurança do Trabalho  
(UNESP); Graduação em  
Engenharia Civil (UNIMAR).  
izzo@utfpr.edu.br  
<http://lattes.cnpq.br/8384136461605241>

TEIXEIRA, Wagner et al. Análise  
bidimensional da estabilidade de talude  
de aterro sanitário na presença de  
plástico mole. REFS – Revista  
Eletrônica da Faculdade Sinergia,  
Navegantes, v.10, n.16, p. 60-69, jul./dez.  
2019.

## ANÁLISE BIDIMENSIONAL DA ESTABILIDADE DE TALUDE DE ATERRO SANITÁRIO NA PRESENÇA DE PLÁSTICO MOLE

### RESUMO

O aumento da população combinado com o alto consumismo da sociedade resulta em um inchaço na produção de resíduos. Em países em desenvolvimento, uma alta fração do resíduo é destinado para algum tipo de aterro sanitário. O artigo busca obter os parâmetros de cisalhamento de um aterro sanitário e calcular os fatores de segurança do talude, variando a inclinação. Os materiais para simular o aterro sanitário são plástico mole, areia como comportamento granular de resíduo sólido, lixiviado obtido de um aterro sanitário local e um composto que é resíduo sólido obtido do mesmo aterro sanitário. Os materiais foram moldados e ensaiados no equipamento de cisalhamento direto. Com os parâmetros de cisalhamento um modelo computacional foi gerado para a análise de estabilidade. Os resultados de fatores de segurança para taludes com ângulos maiores que  $1V/2H$  foram abaixo do recomendado (1.5), portanto é altamente recomendado o uso de taludes com ângulos iguais ou menores que  $1V/2H$  devido ao risco de rompimento.

**Palavras-chave:** Efeito fibra. Aterro sanitário. Deslizamento. Cisalhamento.

### INTRODUÇÃO

O aumento da população combinado com a mudança no estilo de vida acarreta no acréscimo da produção de resíduos. Em função disso, muitas práticas vêm sendo adotadas para que o impacto gerado por essa produção seja, ao mínimo, mitigado, no entanto, ainda grande porção dos resíduos é destinada a algum tipo de aterro (SHARIATMADARI; ASADI; KARIMPOUR-FARD, 2017), como o aterro sanitário (VILAR; CARVALHO, 2004).

Dados coletados pela ABRELPE (2017), afirmam que em 2007 a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) foi de 61,5 milhões de toneladas no país, enquanto

que, no ano de 2016, a geração de RSU foi de 78,3 milhões de toneladas, aumento de 27%. No ano de 2016, foram destinados a aterros sanitários cerca de 58,4% dos RSU coletados no país.

Segundo Vilar e Carvalho (2004), essas obras, além de serem vistas sob perspectivas sanitárias e ambientais, também devem ser vistas como uma obra de engenharia. Logo, propriedades mecânicas são importantes para encarar questões como estabilidade contra falhas, deformação e tensões impostas ao solo da fundação.

Os problemas de estabilidade de aterros, muitas vezes, não foram resolvidos (SHARIATMADARI; ASADI; KARIMPOUR-FARD, 2017), ou até mesmo negligenciados (ZHAO et al., 2014), acarretando vários acidentes, alguns sendo relatados por Koerner e Soong. Koerner e Soong (1999) citam acidentes na década de 90 nos Estados Unidos envolvendo mais de 1 milhão de metros cúbicos de resíduos entre falhas rotacionais e translacionais. Um outro acidente na África envolveu 300 mil m<sup>2</sup> de resíduos e, por fim, na América do Sul, um milhão de metros cúbicos em um acidente, num aterro sanitário, em 1997.

Dentre os aspectos investigados na estabilidade de aterros, muitos estudos estão voltados à força de cisalhamento envolvida na massa de resíduos (VILAR; CARVALHO, 2004; REDDY et al., 2009; BAREITHER; BENSON; EDIL, 2012; ZHAO et al., 2014; OJURI; ADEGOKE, 2015; LI; SHI, 2016; KAUSHAL et al., 2017) e também ao efeito fibra proporcionado por materiais com características

fibrosas presentes na massa (GAWLIK et al., 2013; CORREA; JUCÁ; MOTTA, 2015; SHARIATMADARI; ASADI; KARIMPOUR-FARD, 2017).

Pesquisadores como Griffiths e Lane (1999), Chugh (2003) e Griffiths e Marquez (2007), têm analisado estabilidade de taludes usando elementos finitos e elementos finitos discretos e mostram que os procedimentos fornecem comparáveis resultados com os procedimentos de equilíbrio limite.

Reyes e Parra (2014), discursam que a maioria das análises atuais de estabilidade de taludes são resolvidas com os métodos Morgenstern & Price, Equilíbrio Limite Generalizado e Spencer. O procedimento de Spencer é mais adequado, pois exige a seleção de funções apropriadas de forças entre as fatias, no entanto apresenta problemas de convergência.

Os materiais para simular um aterro sanitário são plástico mole, areia como comportamento granular de resíduo sólido, lixiviado obtido de um aterro sanitário local e um composto que é resíduo sólido obtido do mesmo local. Seus parâmetros de cisalhamento foram obtidos através do ensaio de cisalhamento direto drenado. Uma análise computacional foi executada para obter os fatores de segurança de um talude de um aterro sanitário. O artigo busca obter esses parâmetros e calcular os fatores de segurança possíveis, variando a inclinação do talude. Com os fatores de segurança, o aterro sanitário pode trabalhar com o seu rendimento máximo e dentro dos parâmetros de segurança.

## 1 ESTABILIDADE E FATOR DE SEGURANÇA EM ATERROS SANITÁRIOS

Stark e Eid (1998) afirmam que a maioria das análises de estabilidade de taludes são executadas através do método de equilíbrio limite em duas dimensões. Os métodos calculam o fator de segurança contra falhas de um talude, assumindo a condição de um plano de deformação. Entretanto, é implicitamente assumido que a falha se estende indefinidamente. Claramente, taludes não são

infinitamente amplos, uma análise de três dimensões influencia no resultado. Duncan (1992), defende que, em geral, uma análise de duas dimensões é apropriada, pois obtém-se um resultado conservador para o fator de segurança.

Skempton (1985), sugere um fator de correção para uma análise de duas dimensões, enquanto que, Stark e Eid (1998), contrapõem-

se que uma análise de três dimensões é recomendada para retroanálise de taludes. Skempton (1985), reporta que usualmente a resistência ao cisalhamento do talude aumenta 5% em uma análise em três dimensões. Uma análise de duas dimensões é claramente apropriada para projetos de aterros sanitários.

Liu et al. (1997) discutem sobre a acurácia de um fator de segurança e afirmam que o fator de segurança 1.5 é comumente usado para projetos para taludes em aterros sanitários. Esse fator de segurança veio de projetos de barragens, o qual foi obtido por experiências nos últimos 50 anos, indicando que provem de um razoável equilíbrio entre custo e desempenho. Defendem, então, que a magnitude de incerteza no projeto e as consequências de falha são diferentes. Essas diferenças consistem, principalmente, na interface do plano de cisalhamento e pressões de fluido, água e gás. Os autores concluem que um apropriado fator de segurança para um aterro sanitário varia entre 1.1 até maior que 1.5, dependendo da quantidade de variáveis incertas e do custo de falha.

Diante do exposto, alguns autores comentam sobre a estabilidade de taludes, como é o caso de Peng et al. (2016), os quais realizaram retroanálise de um rompimento do aterro sanitário de Shenzhen, na China. O estudo mostra características de deformação e o tipo de falha induzidos por altos níveis de água. Através da retroanálise, os autores concluíram que o rompimento no talude do aterro sanitário ocorreu devido à falha do sistema de drenagem de lixiviado, elevando os

níveis de água após fortes períodos de chuva, consequentemente, aumentando o peso da massa do resíduo.

Gharabaghi et al. (2008), realizaram uma comparação da estabilidade de taludes de dois aterros sanitários municipais brasileiros, Cruz das Almas, em Maceió, e Muribeca, em Recife. Após análise, afirmam haver uma grande divergência no resíduo urbano de um aterro sanitário para outro. Por fim, concluíram que cuidados devem ser tomados quando assumido condições de poropressão e de peso específico, já que o fator de segurança depende, principalmente, desses parâmetros.

Eid et al. (2000), apontam dificuldades em determinar as propriedades de cisalhamento do resíduo municipal urbano devido à heterogeneidade dos resíduos dispostos, a dificuldade de obter e ensaiar amostras representativas, mudanças das propriedades com o tempo e incompatibilidade de deformações dos materiais.

Percebe-se que selecionar parâmetros apropriados de resistência ao cisalhamento é um aspecto chave da estabilidade de taludes, recaindo em informações da composição do resíduo, compactação, tamanho partículas, degradação e umidade.

Duplancic (1990) afirma que técnicas laboratoriais podem efetivamente serem usadas para a performance de aterros sanitários, enquanto métodos computacionais, quando cuidadosamente aplicados, também podem ser usados para estabilidade e avaliação de deformação de aterros sanitários.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

Os ensaios de resistência ao cisalhamento direto foram executados, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Campanha de ensaios de cisalhamento direto.

	1	Areia
<b>PRIMEIRA FASE</b>	2	Areia + Plástico
	3	Areia + Plástico + Lixiviado (6 semanas)

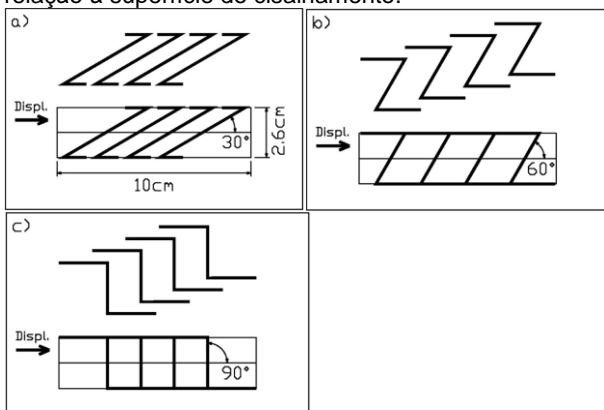
<b>SEGUNDA FASE</b>	4	Composto
	5	Composto + Plástico

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os materiais adotados buscam simular o mais próximo cenário existente em um aterro sanitário. Para analisar a influência das fibras na massa de resíduo, foram utilizadas tiras de sacolas plásticas de supermercado com dimensões de 0,5 cm de largura e 7,5 cm de

comprimento. O lixiviado utilizado foi coletado em um aterro sanitário. A areia do tipo média foi obtida para simular o comportamento granular característico do resíduo sólido urbano. O composto utilizado nos ensaios, também proveniente do mesmo aterro sanitário, recebe um tratamento de compostagem aeróbica estática. O composto foi selecionado devido à semelhança ao material depositado nos aterros sanitários, após longos períodos enterrados.

Figura 1 – Esquema de configuração com tiras plásticas em relação à superfície de cisalhamento.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os corpos de prova classificados como primeira fase possuem os seguintes materiais: apenas areia; areia com a inserção de fibras plásticas “*in natura*” e areia com a inserção de fibras plásticas imersas em lixiviado durante 6 semanas. Cada corpo de prova foi moldado com 340g de areia em um teor de umidade de 7,58%, conforme densidade máxima obtida em ensaio de proctor normal, seguindo a norma D-698 (AMERICAN..., 2003).

Os corpos de prova classificados como segunda fase possuem os seguintes materiais: apenas composto e composto com a inserção de fibras plásticas “*in natura*”. Cada corpo de prova foi moldado com 220g de composto em um teor de umidade de 26%, conforme densidade máxima obtida em ensaio de proctor normal.

Os ensaios de cisalhamento direto foram executados com um equipamento de cisalhamento direto sob taxa constante de velocidade, seguindo a norma D-6528 (AMERICAN..., 2017). A taxa de deslocamento

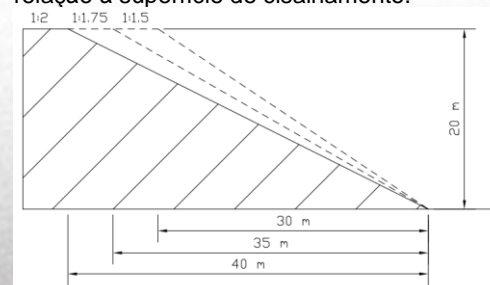
utilizada foi de  $1 \text{ mm min}^{-1}$ , em três tensões normais de 50 kPa, 100kPa e 200kPa.

## 2.2 MODELAGEM EM SOFTWARE

Parâmetros de cisalhamento e peso unitário dos materiais ensaiados foram usados como entrada no software GEOSlope W/2012. A ferramenta computacional divide o plano de cisalhamento em 30 fatias com tamanho mínimo de superfície de cisalhamento em 0.1 m e intervalos de fatores de segurança em 0.001, número de pontos de deslizamento da superfície, iniciando em 8 e finalizando em 16 com um número máximo de 2000. Método Spencer foi utilizado para calcular o fator de segurança (SPENCER, 1967). O software GEOSlope W/2012 está sob licença estudantil, disponível em <http://www.geo-slope.com>.

O talude no aterro sanitário simulado possui uma altura de 20 metros para uma distância horizontal de 40m (Figura 2). O software foi setado com os mesmos valores e, portanto, variou-se a distância horizontal (linhas tracejadas), com os parâmetros de intercepto coesivo e ângulo de atrito, obtidos em ensaios de laboratório. O valor do peso específico da massa de resíduo é extremamente variado na literatura, logo, foi optado por trabalhar com um peso específico que caracteriza um aterro sanitário no Brasil, com tempo de operação considerável. O peso específico adotado foi de  $16 \text{ kN/m}^3$ , conforme Carvalho et al. (2005). Este parâmetro é viável, pois a coesão e o ângulo de atrito encontrados foram obtidos com areia e composto, materiais que caracterizam resíduo com elevado tempo de deposição.

Figura 2 – Esquema de configuração com tiras plásticas em relação à superfície de cisalhamento.



Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3 RESULTADOS

A partir dos ensaios de cisalhamento direto, foi possível encontrar os valores de intercepto de coesão e ângulo de atrito. Os resultados referentes à primeira campanha, a qual foi realizada com areia, podem ser observados nas Tabelas 2 e 5. Os resultados são discutidos nos parágrafos seguintes.

Os ensaios realizados com 30° apresentaram um aumento de cerca de 5,8% do ângulo de atrito em função da adição de tiras plásticas à areia, mas o contato das tiras plásticas com o lixiviado, fez com que houvesse uma redução no ângulo de atrito de 12,2%, em relação ao ângulo de atrito da areia com tiras plásticas que não tiveram contato com lixiviado.

No entanto, ao se adicionar tiras plásticas numa angulação de 60° à areia, verifica-se que não há uma variação significativa do ângulo de atrito. Por outro lado, quando foram adicionadas tiras plásticas imersas no lixiviado durante 6 semanas, observa-se um pequeno aumento no ângulo de atrito (3,5%), em relação à areia com tiras plásticas que não tiveram contato com o lixiviado.

Quando os ensaios realizados com 90° são observados é notado um aumento de 14,6% do ângulo de atrito com incremento de tiras plásticas à areia. No entanto, quando as tiras plásticas são expostas ao lixiviado por 6 semanas, verifica-se redução de 21,1% do ângulo de atrito em relação ao ensaio realizado com o plástico sem imersão no lixiviado e 9,52% em relação ao ensaio realizado apenas com areia.

Com relação às coesões, observa-se incremento das mesmas quando é acrescentado plástico que foi imerso no lixiviado. O valor que mais se destacou foi o obtido com ângulo de 30° (8,8 kPa).

Tabela 2 – Valores de ângulo de atrito interno ( $\phi$ ) e intercepto coesivo (c) obtidos no ensaio de cisalhamento direto.

Material	Valores de ângulo de atrito interno (°)	Valores de intercepto coesivo (kPa)
Areia	31,65	0
Areia + Plástico (30°)	33,49	0

Areia + Plástico (60°)	31,69	0
Areia + Plástico (90°)	36,26	0
Areia + Plástico (6 semanas) (30°)	29,41	8,8
Areia + Plástico (6 semanas) (60°)	32,80	2,71
Areia + Plástico (6 semanas) (90°)	28,61	3,78

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para os ensaios de cisalhamento direto moldados com o composto orgânico, foram realizados ensaios com corpo de prova moldados apenas com composto e composto com tiras plásticas (Tabelas 3 e 6).

Observa-se que há um aumento progressivo do ângulo de atrito do composto, quando se adiciona tiras plásticas ao mesmo nas inclinações de 30° e 60°, sendo o aumento máximo da ordem de 21%. No entanto, quando se aumenta o ângulo de inclinação das tiras plásticas para 90°, verifica-se que há uma diminuição de 4,5% do ângulo de atrito do composto em relação à inclinação de 60°. Com relação à coesão, observa-se que há uma diminuição progressiva do intercepto de coesão, quando se adiciona tiras plásticas ao composto para as inclinações de 30° e 60°, com redução máxima de 70%. Por outro lado, não houve grande diferença entre a coesão com 60° e a coesão com 90°, sendo esta última 61% menor do que a coesão encontrada apenas com composto (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores de ângulo de atrito interno ( $\phi$ ) e intercepto coesivo (c) obtidos no ensaio de cisalhamento direto.

Material	Valores de ângulo de atrito interno (°)	Valores de intercepto coesivo (kPa)
Composto	27,78	6,67
Composto + Plástico (30°)	30,58	4,06
Composto + Plástico (60°)	33,52	2,03
Composto + Plástico (90°)	32,02	2,58

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na literatura, encontra-se uma grande variedade de valores para ângulo de atrito e intercepto coesivo em aterros sanitários.



Gharabaghi et al. (2008), fizeram um apanhado de valores de ângulo de atrito e intercepto coesivo (Tabela 4). Novas pesquisas também estão incluídas.

Muitos autores encontraram valores de ângulo de atrito próximos aos resultados desta pesquisa, na maioria por diferentes ensaios, sendo o caso de Gomes, Lopes e Oliveira (2013), Grisolia, Napoleoni e Tancredi (1995), Houston et al. (1995), Jessberger, Syllwasschy e Kockel (1995), Kavazanjian et al. (1995), Landva e Clark (1990), Pelkey, Valsangkar e Landva (2001), Vilar e Carvalho (2002), Withiam et al. (1995).

Os valores de intercepto de coesão são variados, não possuindo direta relação. O material predominante da massa de resíduo é variado, por conseguinte seus parâmetros de cisalhamento.

Tabela 4 – Valores de resistência ao cisalhamento de resíduos na literatura.

Referência	Parâmetros de cisalhamento		Método de obtenção
	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	
Cowland; Tang e Gabay (1993)	10	25	Retroanálise de um corte de trincheira de resíduos
Eid et al. (2000)	25	35	DS de grande porte e retroanálise de quatro taludes rompidos
Gabr e Valero (1995)	17	34	CU de pequeno porte (valores com 20% de deformação relativa axial)
Gomes, Lopes e Oliveira (2013)	29.5	32.5	CU de pequeno porte, 4-9 metros de profundidade (valores com 15-20% de deformação relativa axial)
Gomes, Lopes e Oliveira (2013)	12.5	34.8	CU de pequeno porte, 11-14 metros de profundidade (valores com 15-20% de deformação relativa axial)
Grisolia et al. (1995)	2-3	15-20	Triaxial de grande porte (valores com 10-15% de deformação relativa axial)
	10	33-35	Triaxial de grande porte (valores com 10-15% de deformação relativa axial)
Houston et al. (1995)	5	33-35	DS de grande porte em amostras indeformadas

Jessberger, Syllwasschy e Kockel (1995)	0	30	Triaxial de pequeno e grande porte
Kavazanjian et al. (1995)	24	0	Para tensões normais menores que 30 kPa
	0	30	Para tensões normais maiores que 30 kPa
Karimpour-Fard et al. (2011)	7	36	CU de pequeno porte, sem fibras (valores com 20% de deformação relativa axial)
Karimpour-Fard et al. (2011)	5	51	CU de pequeno porte, 25% de fibras (valores com 20% de deformação relativa axial)
Landva e Clark (1990)	0-23	24-41	DS
Landva e Clark (1986)	10-23	24-42	DS em resíduos de vários aterros sanitários canadenses
Pelkey, Valsangkar e Landva (2001)	0	26-29	DS de grande porte
Siegel, Robertson, e Anderson (1990)	0	39-53	DS com 10% de deslocamento, intercepto coesivo assumido como zero
Vilar e Carvalho (2002)	39.2	29	Com umidade natural (valores com 20% de deformação relativa axial)
	60.7	23	Amostras saturadas (valores com 20% de deformação relativa axial)
Withiam et al. (1995)	10	30	DS de grande porte

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: DS, Ensaio de cisalhamento direto; CU, Ensaio triaxial consolidado não drenado.

Utilizando os valores de ângulo de atrito e coesão obtidos com os ensaios de cisalhamento direto, foi possível analisar os fatores de segurança para cada caso, os quais foram realizados através do software GEOSlope W/2012.

Os resultados de cisalhamento somente com a areia obtiveram um fator de segurança de 1.235 (Tabela 5), com a inclinação de 1V:2H, inclinação verificada no talude do aterro sanitário. A análise de estabilidade com plástico mole sem imersão no lixiviado obteve um fator de segurança abaixo de 1.5 para todas as angulações do plástico e com diferentes inclinações do talude, fato explicado pela falta de coesão.

O plástico mole imerso em lixiviado gerou um valor de intercepto coesivo, auxiliando na estabilidade do talude. As análises da areia com o plástico imerso em lixiviado resultaram em fatores de segurança superiores e próximos de 1.5, para inclinações de 1V:2H. Por outro lado, quando houve aumento da inclinação do talude, os valores de fator de segurança tenderam a diminuir, ou seja, com todos os valores abaixo de 1.5.

Destacam-se os valores de areia com plástico não imerso em lixiviado, para angulações maiores que 1V:2H. Em um ângulo de talude de 1V:1.75, a estabilidade é comprometida, chegando à fatores de segurança próximos do valor unitário. Em um ângulo de talude de 1V:1.5, a estabilidade é levemente melhorada, porém a massa mobilizada na ruptura é significativamente maior.

Tabela 5 – Fatores de segurança da areia para cada análise.

Material	Fator de segurança	Inclinação do talude	Material acumulado (m <sup>3</sup> /m)
Areia	1,235	1V/2H	0
Areia + Plástico (30°)	1,326	1V/2H	0
Areia + Plástico (60°)	1,237	1V/2H	0
Areia + Plástico (90°)	1,470	1V/2H	0
Areia + Plástico (30°)	1,649	1V/2H	0
(6 semanas)			
Areia + Plástico (60°)	1,63	1V/2H	0
(6 semanas)			
Areia + Plástico (90°)	1,431	1V/2H	0
(6 semanas)			
Areia	1,081	1V/1,75H	0
Areia + Plástico (30°)	1,16	1V/1,75H	0
Areia + Plástico (60°)	1,082	1V/1,75H	0
Areia + Plástico (90°)	1,286	1V/1,75H	0
Areia + Plástico (30°)	1,469	1V/1,75H	50
(6 semanas)			
Areia + Plástico (60°)	1,354	1V/1,75H	50
(6 semanas)			
Areia + Plástico (90°)	1,223	1V/1,75H	50

(6 semanas)			
Areia	1,2	1V/1,5H	100
Areia + Plástico (30°)	1,289	1V/1,5H	100
Areia + Plástico (60°)	1,202	1V/1,5H	100
Areia + Plástico (90°)	1,428	1V/1,5H	100
Areia + Plástico (30°)	1,340	1V/1,5H	100
(6 semanas)			
Areia + Plástico (60°)	1,334	1V/1,5H	100
(6 semanas)			
Areia + Plástico (90°)	1,17	1V/1,5H	100
(6 semanas)			

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados de cisalhamento somente com o composto obtiveram um fator de segurança de 1.45 (Tabela 6), com a inclinação de 1V:2H, conforme verificado no talude do aterro sanitário. A análise de estabilidade com plástico mole, obteve um fator de segurança próximo de 1.5 para todas as angulações do plástico e talude também com inclinação de 1V/2H.

As mesmas análises com composto ou composto mais plástico foram realizadas para maiores angulações de talude. As inclinações de 1V:1.75H e 1V:1.5H obtiveram fatores de segurança entre 1.2 e 1.3.

Tabela 6 – Fatores de segurança do composto para cada análise.

Material	Fator de segurança	Inclinação do talude	Material acumulado (m <sup>3</sup> /m)
Composto	1,45	1V/2H	0
Composto + Plástico (30°)	1,469	1V/2H	0
Composto + Plástico (60°)	1,518	1V/2H	0
Composto + Plástico (90°)	1,472	1V/2H	0
Composto	1,307	1V/1,75H	50
Composto + Plástico (30°)	1,324	1V/1,75H	50
Composto + Plástico (60°)	1,345	1V/1,75H	50
Composto + Plástico (90°)	1,311	1V/1,75H	50
Composto	1,211	1V/1,5H	100
Composto + Plástico (30°)	1,267	1V/1,5H	100
Composto + Plástico (60°)	1,35	1V/1,5H	100

<b>Composto + Plástico (90°)</b>	1,293	1V/1,5H	100
----------------------------------	-------	---------	-----

Fonte: Elaborado pelos autores.

## CONCLUSÃO

Os parâmetros de cisalhamento obtidos em laboratório e através da análise computacional geram as seguintes conclusões:

Através do cisalhamento direto com areia, areia mais plástico não imerso e imerso em lixiviado, obtiveram-se resultados de ângulo de atrito semelhantes entre si. Para os valores de intercepto de coesão, a areia com adição de plástico imerso em lixiviado, gerou um valor de coesão entre 2.7 e 8.8 kPa.

Através do cisalhamento direto para o composto e composto mais plástico, obtiveram-se resultados semelhantes de ângulo de atrito. Para os valores de intercepto de coesão, o composto sem adição de plástico gerou o maior valor de coesão, de 6.67 kPa. Os valores de intercepto de coesão para o composto mais plástico (sem imersão em lixiviado) diminuíram.

Utilizando os valores de coesão e ângulo de atrito encontrados na execução dos ensaios de cisalhamento direto foi possível, através de modelagem, encontrar o fator de segurança para cada caso. Foi observado incremento no fator de segurança com a adição das tiras plásticas imersas no lixiviado, devido à coesão não ser nula. Com o aumento da inclinação do talude foi possível observar redução no fator de segurança, para todos os casos.

Os valores de fator de segurança, para inclinações de taludes maiores, foram abaixo do recomendado (1.5), logo, recomenda-se não utilizar inclinações menores devido ao risco de rompimento do talude.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), 2017. Disponível em: <[http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama\\_abrelpe\\_2017.pdf](http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf)>. Acesso em: 26 jan. 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D698-03**: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>)). West Conshohocken, PA, USA, 2003.

\_\_\_\_\_. **D6528-17**: Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Fine Grain Soils. West Conshohocken, PA, USA, 2017.

BAREITHER, C. A.; BENSON, C. H.; EDIL, T. B. Effects of sand composition and decomposition on the shear strength of municipal solid sand. **Journal of Geotechnical**

**and Geoenvironmental Engineering**, v. 138, n. 10, p. 1161-1174, 2012.

CARVALHO, A. R. et al. A influência da idade e da coleta seletiva na evolução do peso específico do resíduo no aterro sanitário de Santo André. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 23. ABES, p. 1-8, 2005.

CHUGH, A. K. On the boundary conditions in slope stability analysis. **International journal for numerical and analytical methods in geomechanics**, 27:905-926, 2003.

CORREA, C.; JUCÁ, J. F.; MOTTA, E. Análise da influência do plástico mole na resistência ao cisalhamento de resíduos sólidos urbanos. **Eng Sanit Ambient**, v. 20, n. 3, p. 427-436, 2015.

COWLAND, J. W.; TANG, K. Y., GABAY, J. Density and strength properties of Hong Kong refuse. In: **Proceedings of the Fourth International Waste Management and Landfill Symposium**, Sardinia, p. 1433–1446, 1993.

- DAMIANO, E. et al. Investigation on rainwater infiltration into layered shallow covers in pyroclastic soils and its effect on slope stability. **Engineering Geology**, v. 220, p. 208-218, 2017.
- DUNCAN, J. M. State-of-the-art: Static stability and deformation analysis. **Procedures, Stability and Performance of Slopes and Embankments-II**, ASCE, Reston, v. 1, p. 222-266, 1992.
- DUPLANCIC, N. Landfill Deformation Monitoring and Stability Analysis. STP25313S. **Geotechnics of Sand Fills—Theory and Practice**. In: Landva, A., Knowles, D. (Eds.), ASTM STP 25313. West Conshohocken, PA, p. 303-314, 1990.
- EID, H. T. et al. Municipal solid sand slope failure: sand and foundation soil properties. **ASCE Journal of Geotechnical Engineering**, 126 (5), 397-407, 2000.
- GABR, M. A.; VALERO, S. N. Geotechnical properties of municipal solid waste. **Geotechnical Testing Journal**, 18 (2), 241-251, 1995.
- GAWLIK, F. et al. Effects of Soft Plastic on MSW Shear Strength. **The Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 18, p. 5117-5124, 2013.
- GEOSTUDIO, 2012. **Geo-slope International Ltd.**, Canadá.
- GHARABAGHI, B. et al. Comparison of slope stability in two Brazilian municipal landfills. **Journal of Sand Management**, 28 (2008), p. 1509-1517, 2008.
- GOMES C.; LOPES; M. L.; OLIVEIRA, P. J. V. Municipal solid waste shear strength parameters defined through laboratorial and in situ tests. **Journal of the Air & Waste Management Association**, 63:11, 1352-1368, 2013. DOI: 10.1080/10962247.2013.813876
- GRIFFITHS, G. V.; LANE, P. A. Slope stability analysis by finite elements. **Geotechnique**, 49(3): 387-403, 1999.
- \_\_\_\_\_; MARQUEZ, R. M. Three dimensional slope stability analysis by elasto-plastic finite elements. **Geotechnique**, 57(6): 537-546, 2007.
- GRISOLIA, M.; NAPOLEONI, Q.; TANCREDI, G. Contribution to a Technical Classification of MSW. In: **Proceedings Sardinia 95**, Fifth International Landfill Symposium. Cagliari, Italy, p. 703-710, 1995.
- HOUSTON, W. N. et al. In situ testing methods for dynamic properties of MSW landfills. In: **Proc. Specialty Conf. Earthquake Des. Perf. of Solid Waste Landfills**, v. 54, Geotech. Spec. Publ., ASCE, New York, p. 73-82, 1995.
- JESSBERGER, H. L.; SYLLWASSCHY, O.; KOCKEL, R. Investigation of waste body behaviour and waste structure interaction. In: **Proceedings of the Fifth International Waste management and Landfill Symposium**, Sardinia, p. 731-743, 1995.
- KARIMPOUR-FARD, M. et al. A laboratory study on the MSW mechanical behavior in triaxial apparatus. **Journal of Waste Management**, 31 (2011), p. 1807-1819, 2011.
- KAUSHAL, R. K. et al. Shear strength characteristics of municipal solid sand. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 8, n. 6, p. 1044-1053, 2017.
- KAVAZANJIAN JR., E. et al. Evaluation of MSW Properties for Seismic Analysis Geoenvironment 2000. **Geotechnical Special Publication**, ASCE, v. 46. p. 1126-1141, 1995.
- KOERNER, R. M.; SOONG, T.-Y. Leachate in landfills: the stability issues. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 18, n. 5, p. 293-309, 2000.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Stability analyses of ten landfill failures. In: **Proc. 2nd Austrian Geotechnical Congress**, Austrian Engineering and Architects Society, Eschenbachgasse, Vienna, pp. 9–50, 1999.
- LANDVA, A. O.; CLARK, J. I. Geotechnical testing of wastefills. In: **Proceedings of the 39th Canadian Geotechnical Conference**, Ottawa, p. 371-385, 1986.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Geotechnics of waste fill. In: Landva, A., Knowles, D. **Geotechnics of waste fills—Theory and practice**. (Eds.), Philadelphia: ASTM - STP 1070, 1990. p. 86-103.
- LI, X.; SHI, J. Stress-strain behaviour and shear strength of Municipal Solid Sand (MSW). **KSCE**

**Journal of Civil Engineering**, v. 20, n. 5, p. 1747-1758, 2016.

LIU, C. N. et al. What is an appropriate factor of safety of landfill cover slopes. **Conference proceedings: Geosynthetics**, v. 1 and 2, 1174 p. Long Beach, CA (United States), 1997.

OJURI, O. O.; ADEGOKE, P. K. Geotechnical characteristics of synthetic municipal solid sand for effective landfill design. **International journal of GEOMATE: geotechnique, construction materials and environment**, v. 9, n. 1, p. 1418-1427, 2015.

PELKEY, S. A.; VALSANGKAR, A. J.; LANDVA, A. Shear displacement dependent strength of municipal solid waste and its major constituents. **Geotechnical Testing Journal**, 24(4), 381-390, 2001.

PENG, R. et al. Back-Analyses of Landfill Instability Induced by High Water Level: Case Study of Shenzhen Landfill. **International Journal Environmental Research and Public Health**, 13(1), 126, 2016.

REDDY, K. R. et al. Geotechnical properties of fresh municipal solid sand at Orchard Hills Landfill, USA. **Sand Management**, v. 29, n. 2, p. 952-959, 2009.

REYES, A.; PARRA, D. 3D slope stability analysis by the using limit equilibrium method analysis of a mine sand dump. **Proceedings Tailings and Mine Sand**, Colorado, USA, 2014.

SHARIATMADARI, N.; ASADI, M.; KARIMPOUR-FARD, M. Investigation of fiber effect on the mechanical behavior of municipal solid sand by different shearing test apparatuses. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 14, n. 10, p. 2239-2248, 2017.

SIEGEL, R. A.; ROBERTSON, R. J.; ANDERSON, D. G. Slope stability investigations at a landfill in Southern California. In: Landva, A., Knowles, D. **Geotechnics of waste fills—Theory and practice**. (Eds.), Philadelphia: ASTM - STP 1070, 1990. p. 259-284.

SKEMPTON, A. W. Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory. **Geotechnique**, 35(1), 3-18, 1985.

SPENCER, E. A Method of Analysis of Embankments assuming Parallel Inter-slice Forces. **Geotechnique**, v. 17 (1), p. 11-26, 1967.

STARK, Timothy D.; EID, Hisham T. Performance of three-dimensional slope stability methods in practice. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 124, n. 11, p. 1049-106 ,1998.

VILAR, O. M.; CARVALHO, M. F. Shear strength properties of municipal solid waste. In: DE MELLO, L. G., ALMEIDS, M. (Eds.), **Proceedings of the Fourth International Conference on Environmental Geotechnics**, A Balkema, Lisse, Netherland, p. 59-64, 2002.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Mechanical properties of municipal solid sand. **Journal of Testing and Evaluation**, v. 32, n. 6, p. 438-449, 2004.

WITHIAM, J. L., et al. Prediction and performance of municipal landfill slope. In: **GeoEnvironment 2000**, v. 46. Geotechnical Special Publication, ASCE, p. 1005-1019, 1995.

ZHAO, Y. R. et al. A study of shear strength properties of municipal solid sand in Chongqing landfill, China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, n. 22, p. 12605-12615, 2014.



---

**SINERGIA SISTEMA DE ENSINO  
FACULDADE SINERGIA**

**AV. Prefeito Cirino Adolfo Cabral, 199, Bairro  
São Pedro, Navegantes, SC - CEP 88370-053  
[www.sinergia.edu.br](http://www.sinergia.edu.br)**

**(47) 3342-9700**

**E-mail.: [revistaonline@sinergia.edu.br](mailto:revistaonline@sinergia.edu.br)**