

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NÍVEL MESTRADO**

FELIPE MATTOS ALBERTINI

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL EM TERMOS DE CONSUMO
HÍDRICO, ENERGÉTICO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM CANTEIROS DE
OBRAS DE EDIFICAÇÕES**

São Leopoldo

2019

FELIPE MATTOS ALBERTINI

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL EM TERMOS DE CONSUMO
HÍDRICO, ENERGÉTICO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM CANTEIROS DE
OBRAS DE EDIFICAÇÕES**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientadora: Prof.^a Dra. Luciana Paulo Gomes

São Leopoldo

2019

A334a

Albertini, Felipe Mattos.

Avaliação do desempenho ambiental em termos de consumo hídrico, energético e geração de resíduos em canteiros de obras de edificações / Felipe Mattos Albertini. – 2019.

127 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.

“Orientadora: Prof.^aDra.Luciana Paulo Gomes.”

1. Construção sustentável. 2. Construção civil – Aspectos ambientais. 3. Sustentabilidade. 4. Energia – Consumo. 5. Água – Consumo. 6. Resíduos de construção e demolição. 7. Análise envoltória de dados. I. Título.

CDU 624

Dados internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Bibliotecário: Flávio Nunes – CRB 10/1298)

FELIPE MATTOS ALBERTINI

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL EM TERMOS DE CONSUMO
HÍDRICO, ENERGÉTICO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM CANTEIROS DE
OBRAS DE EDIFICAÇÕES**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovado em 29de Julho de 2019

BANCA EXAMINADORA

Luciana Paulo Gomes–Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

Bernardo Fonseca Tutikian – Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

Sérgio Cirelli Ângulo – Universidade de São Paulo (USP)

AGRADECIMENTOS

À realização deste trabalho, dedico meus profundos agradecimentos às pessoas envolvidas, que foram de importância para que os esforços necessários pudessem ser transformados na pesquisa em si.

Em especial a minha orientadora, professora Luciana Paulo Gomes, que desde o início realizou com maestria a orientação para o trabalho, envolvendo observações detalhadas e importantes para a condução da pesquisa. Meus agradecimentos à minha noiva, Jéssica Oyarzabal, que apoiou e compreendeu sobre essa fase de aperfeiçoamento pessoal e profissional.

Da mesma forma aos meus pais e amigos, sempre apoiadores e atenciosos. À todo corpo docente da UNISINOS, o qual não faltaram competências para a transmissão do conhecimento nas disciplinas, bem como os funcionários do PPGEC.

E a Deus, por fazer manter fé em superar os obstáculos e realizar com dedicação ao trabalho.

RESUMO

O cenário contemporâneo vem demandando melhores práticas ambientais, tanto em escala global como locais, onde o desenvolvimento sustentável tem sido um objetivo em comum. Por essas razões, a responsabilidade ambiental é imposta para as empresas, incluindo as de construção civil, pois o setor é conhecido pelo seu dispêndio ao meio ambiente, em virtude do elevado consumo de recursos naturais e geração de resíduos sólidos. Portanto, a presente dissertação questiona em relação a ineficiência durante a etapa de construção de edificações, no que tange aos aspectos ambientais como a geração de resíduos, consumo de água e energia, traduzidos pelo desempenho ambiental. Para responder a referida questão foi utilizado a análise envoltória de dados (DEA), que aponta um índice de eficiência técnica de cada canteiro de obra, considerando dados de entradas e de saídas de modo a comparar cada resultado. Também foi empregada a regressão censurada (tobit), que teve como propósito investigar a influência de aspectos qualitativos na eficiência calculada. Como resultados, calculou-se uma eficiência média de 83,5%, sendo que 5 das 16 obras observadas apresentaram-se 100% eficientes. Quanto a descrição dos fatos observados, se apontam os seguintes indicadores de desempenho: 10,5 kWh/m² no consumo de energia, 0,37m³/m² para o consumo de água e na geração de resíduos obteve-se um total de 0,15 m³/m² de resíduos. Por fim, a análise da regressão censurada apontou que o padrão construtivo corroborou na diminuição do desempenho ambiental, e em contrapartida aspectos do sistema produtivo e de gestão durante a obra, se mostram relevantes para elevar a eficiência dos aspectos ambientais avaliados.

Palavras-chaves: Sustentabilidade na Construção. Consumo de Água e Energia. Resíduos de Construção e Demolição. Análise Envoltória de Dados. Regressão Tobit.

ABSTRACT

The contemporary scenario calls for better environmental practices, both globally and locally, where sustainable development has been a common goal. For these reasons, environmental liability is imposed on companies, including construction, because the industry is known for its high expenditure on the environment due to the high size it occupies in the market. Therefore, the present study questions in relation to the notable inefficiency during the stage of construction of buildings, regarding environmental aspects such as waste generation, water and energy consumption, translated as environmental performance. In order to answer this question, it was used the Data Envelopment Analysis (DEA), which indicates a technical efficiency index of each construction site, considering input and output data in order to compare each result. Allied to the use of censored regression (tobit) that had as purpose to investigate the influence of qualitative aspects in the calculated efficiency. As results, an average efficiency of 83.5% was calculated, and 5 of the 16 constructions works observed were 100% efficient. As for the description of the observed facts, the following performance indicators are pointed out: 10.5 kWh / m² in energy consumption, 0.37m³ / m² for water consumption and in the generation of waste, a total of 0.15 m³ / m² of waste. Finally, the analysis of the censored regression showed that the constructive pattern corroborated in the decrease of the environmental performance index, and in counterpart aspects of the productive system and management during the construction work, they are relevant to increase the efficiency of the evaluated environmental aspects.

Key-words: Sustainability in Construction. Water and Energy Consumption. Construction and Demolition Waste. Data Envelopment Analysis. Tobit Regression.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Taxa de crescimento do PIB e da Construção no Brasil (%)	23
Figura 2 - Disposição irregular de RCD.....	30
Figura 3- Estratificação dos RCD gerados na obra MCMV	32
Figura 4 - Comportamento geração de resíduos no avanço físico	34
Figura 5- Emissões de CO ₂ pela geração de eletricidade global	36
Figura 6-Fontes Renováveis na Matriz elétrica (a) ; Demanda energética brasileira (b) ..	37
Figura 7- Distribuição de Recursos Hídricos no Brasil	39
Figura 8- Consumo <i>per capita</i> por região brasileira	39
Figura 9 - Consumo de energia vinculado ao cronograma físico de 2011 a 2014	41
Figura 10–Indicador acumulado de consumoágua com avanço físico.....	42
Figura 11- Modelos de Fronteira CRS e VRS na análise DEA.....	48
Figura 12 - Exemplo de função de produção e eficiência.....	50
Figura 13- Delineamento Experimental	57
Figura 14-Planta Baixa da obra do Estudo Piloto.....	58
Figura 15 - Consumo de Água, Energia e Geração de RCD.....	73
Figura 16 - Relação da área total com variáveis de estudo	74
Figura 17 - Evolução do indicador de consumo de água	76
Figura 18 - Evolução do indicador consumo de energia elétrica	77
Figura 19 - Evolução do indicador de geração de resíduo	78
Figura 20 - Estratificação dos RCD	79
Figura 21 - Eficiência técnica por meio da DEA calculada	81
Figura 22– DMU de referência <i>Peers</i>	85
Figura 23 - Insumos mais deficitários na eficiência	85
Figura 24 - Paredes internas em sistema <i>drywall</i>	90
Figura 25 - Insertes para fixação de pedras.....	92
Figura 26–Sistema ACM	92
Figura 27 - Andaime fachadeiro	93
Figura 28 - Redes de segurança	93
Figura 29 -Exemplo de padrão construtivo.....	104
Figura 30 - Exemplo de equipamentos e segurança.....	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Impactos ambientais da construção civil	27
Quadro 2- Classificação dos resíduos da construção civil	31
Quadro 3 - Métodos de Análise de Decisão Multi-criterial (MCDA).....	47
Quadro 4-Equações do modelo DEA	50
Quadro 4-Equações do modelo DEA (continuação).....	51
Quadro 5 - Constituição da obra modelo.....	67
Quadro 6 - Critério de construção à seco.....	89
Quadro 7 - Critério de sistema de revestimento	91
Quadro 8 - Critério de equipamentos	92
Quadro 9 - Critério de organização do canteiro.....	95
Quadro 10 - Critério de equipe e gerenciamento	95
Quadro 11 - Critério de certificações e qualidade	96
Quadro 12 - Resumo das variáveis da regressão	98
Quadro 13 - Atendimento dos objetivos específicos	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxa de Geração de RCD	33
Tabela 2- Resumo dos resultados dos estudos	43
Tabela 3 - Índice econômico de Compacidade (IeC)	46
Tabela 4- Estatística Descritiva do Estudo Piloto	59
Tabela 5- Características das obras de estudo	60
Tabela 6- Informativo dos dados coletados.....	61
Tabela 7- Critérios metodológicos do DEA	68
Tabela 8- Variáveis de projeto.....	70
Tabela 9- Estatística Descritiva da amostra de estudo	75
Tabela 10 - Correlação dos dados do modelo DEA	81
Tabela 11 - Pesos atribuídos no modelo DEA.....	82
Tabela 12– Objetivos e <i>benchmarks</i> das DMU	84
Tabela 13 - Simulação de indicadores com eficiência DEA	87
Tabela 14 - Indicadores observados e simulados	87
Tabela 15-Resultado para classe de produção	94
Tabela 16 - Resultado para a Classe de gestão	97
Tabela 17 - Correlação das variáveis da regressão	99
Tabela 18 - Regressão Tobit - Modelo 1	100
Tabela 19- Regressão Tobit - Modelo 2	101
Tabela 20 - Regressão Tobit - Modelo 3	102
Tabela 21 - Resumo da regressão Tobit	103

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRS	<i>Constant Return to Scale</i>
DEA	Análise Envoltória de Dados
DMU	<i>Decision-making Unit</i> – Unidade tomadora de decisão
EPC	Equipamento de Proteção Coletiva
GEE	Gases do Efeito Estufa
IDA	Indicador de Desempenho Ambiental
IDG	Indicador de Desempenho Gerencial
IDO	Indicador de Desempenho Operacional
IeC	Índice Econômico de Compacidade
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MCDA	Método de Análise Multicritério
MCMV	Programa Minha Casa e Minha Vida
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
ONU	Organizações das Nações Unidas
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
PGRCC	Plano de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PIB	Produto <i>Interno</i> Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UNEP	<i>United Nations Environmental Program</i>
VRS	<i>Variable Return to Scale</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	22
1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA	25
1.1.2 Objetivos Específicos	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS ORIUNDOS DA CONTRUÇÃO CIVIL.....	26
2.2.1 Perspectiva sobre o impacto dos materiais de construção	28
2.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD).....	29
2.3 USO DE ÁGUA E ENERGIA NAS CONSTRUÇÕES	35
2.3.1 Cenário Energético	36
2.3.2 Cenário Hidrológico	38
2.3.3 Estudos sobre Consumos Hídricos e Energéticos na Construção	40
2.4 DESEMPENHO AMBIENTAL NA CONSTRUÇÃO	43
2.4.1 Desempenho ambiental por meio de projeto e planejamento	44
2.4.2 Desempenho ambiental pela eficiência técnica	46
2.4.2.1 Avaliação da Eficiência Técnica pela Análise Envoltória de Dados	47
2.4.2.2 Regressão Tobit.....	51
2.4.2.3 Estudos de aplicação do modelo DEA	53
3 MÉTODO DE PESQUISA	56
3.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	57
3.2 ETAPAS DA PESQUISA.....	57
3.2.1 Etapa 01 - Estudo Preliminar	58
3.2.2 Etapa 02 – Coleta de Dados	59
3.2.2.1 Atributos Quantitativos	61
3.2.2.2 Atributos Qualitativos.....	63
3.2.3 Etapa 03 - Análise dos dados	66
3.2.3.1 Estatística descritiva e comportamento por uma obra modelo	66
3.2.3.2 Análise Envoltória de Dados (DEA).....	67
3.2.3.3 Regressão linearcensurada (Tobit)	68
4 RESULTADOS	70
4.1 APRESENTAÇÃO DA AMOSTRA	70
4.2 ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	72
4.2.1 Comportamento dos indicadores em relação ao avanço físico	74

4.3 ANÁLISE DO DESEMPENHO AMBIENTAL ATRAVÉS DA DEA.....	80
4.3.1 Avaliação dos <i>benchmarks</i> e variáveis no modelo DEA.....	83
4.4 ANÁLISE INFLUÊNCIA DE ELEMENTOS QUALITATIVOS ATRAVÉS DA REGRESSÃO CENSURADA (TOBIT).....	88
4.4.1 Classe de Produção.....	88
4.4.2 Classe de Gestão	94
4.4.3 Análise por Regressão Tobit	98
5 CONCLUSÃO.....	106
REFERÊNCIAS	110
APÊNDICE A – ENTREVISTA REALIZADA COM GESTORES	119

1 INTRODUÇÃO

Frente à um cenário contemporâneo, no qual a sociedade vem assumindo relacionamentos globais, exigências são prescritas perante os efeitos adversos das atividades antropogênicas ao meio ambiente. O relatório sobre a visão 2050 da *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), tem como objetivo a construção de um caminho sustentável para as atividades econômicas, perante uma crescente população humana que se projeta para 9 bilhões na metade do corrente século (WBCSD, 2010). Não obstante aos periódicos eventos do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e relatórios político-científico capitaneados pela Organizações da Nações Unidas (ONU), são apontados temas como emissões atmosféricas, mudanças climáticas, aumento da população e degradação ambiental como assuntos a serem resolvidos, visto o prognóstico adverso caso manter o ritmo atual de produção. (UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM (UNEP), 2019). Tais desafios forjam a imposição gradativa de uma responsabilidade socioambiental sobre as pessoas físicas e jurídicas, o que caracteriza uma mudança de paradigmas.

Dentro das agendas sobre a sustentabilidade, um dos aspectos relevantes está nas atividades da construção civil, que por sua vez tem uma forte correlação com o consumo de recursos naturais, energéticos, emissões de gases do efeito estufa, bem como na significativa geração de resíduos de construção e demolição (RCD), parte via às consequência de processos construtivos deficitários em eficiência e eficácia. (AGOPYAN; JOHN, 2011). Ao que tange o cenário nacional, apesar dos regulamentos para a gestão dos resíduos, citando a Resolução CONAMA nº 307, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) e a NBR 10.004:2004, a construção civil ainda sofre com significativos desperdícios em seu ciclo produtivo. O que são oriundos de problemas em projetos, planejamento e falta de investimentos em melhorias de processos, o que sinaliza uma necessidade para um aprimoramento na gestão dos impactos ambientais e desperdícios (FORMOSO *et al.*, 2002).

Por outro aspecto, na visão macroeconômica, a indústria da construção civil corrobora em um importante papel no desenvolvimento econômico e social. Segundo dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), a variação no Produto Interno Bruto (PIB) da construção civil apresentou uma correlação de 80,7% com o PIB nacional, no hiato de 2002 até 2018, conforme figura 1. O que

explica são as peculiaridades do setor como, uma forte dispersão geográfica, singularidade no produto, longo ciclo de produção, absorção de mão de obra, e uma característica de indústria heterogênea, que engloba, profissionais, técnicos, prestadores de serviços e fornecedores, fazendo assim que um único empreendimento seja um gerador de empregos e fonte de negócios. (MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J., 1980).

Figura 1-Taxa de crescimento do PIB e da Construção no Brasil (%)



Fonte: Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) (2019).

O indicador macroeconômico resguarda a uma estreita relação com as atividades de construção civil, visto durante momentos de crescimento como na primeira década do século, assim como em momentos de recessão percebidos nos últimos 5 anos. Tal flutuação de mercado, aponta nas características do setor visto que indicadores do mercado imobiliários, o que corroboram na atividade da construção, estão sujeitas as decisões dos governos e da economia. Fenômenos como a dinâmica da incorporação imobiliária, a oferta de crédito, a inflação, a condução da economia, as políticas fiscais, o crescimento da população e a confiança no governo também acabam interferindo no setor (TEIXEIRA, 2009).

Diante desta polaridade econômica e ambiental, existe a busca por um caminho sustentável para a atividade da construção, o que ainda é um desafio ao setor em virtude da quantidade de agentes envolvidos durante o ciclo produtivo de

um empreendimento. Ações em prol de empreendimentos mais sustentáveis são estimuladas por selos e certificações, a citar o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED). Assim como no cenário nacional, o governo federal atua com o Programa Brasileiro de Qualidade e Habitat (PBQP-h), em que um dos objetivos de sustentabilidade é visando gerar indicadores para consumo de água, energia e geração de resíduos, no canteiro de obras, de modo a controlar e monitorar o desempenho nesses quesitos (BRASIL, 2012).

Portanto um dos passo necessário a atender as exigências da sustentabilidade no setor é a implementação de uma gestão ambiental, a qual necessita de indicadores para melhorar o desempenho ambiental, conforme preconiza a NBR ISO 14.031 (ABNT, 2004a). Essas ações devem ser tomadas aos impactos mais críticos, vinculados à construção civil, exemplificando as mudanças climáticas, o uso de recursos naturais, consumo de energia, geração de resíduos e consumo de água (YILMAZ; BAKIŞ, 2015). Aliado por um pensamento estratégico, uma empresa que busca melhorar a efetividade de seus processos sob uma visão de incrementar em sustentabilidade, tem vantagens competitivas no mercado, pois volta-se para a máxima otimização dos recursos (PORTER, 1999). De modo a compreender o comportamento do desempenho ambiental, visando a eficiência durante o processo de execução justifica o tema da presente pesquisa. Salientando que estudos sobre eficiência energética e hídrica são comumente relacionados no pós-obra, dado à uma demanda maior. Porém a gestão desses insumos na etapa de construção, visando a sustentabilidade, se apresenta uma lacuna a ser estudada (BARDHAN, 2011).

Face ao exposto, a presente pesquisa aborda a relação da construção civil com o meio ambiente sobre o seguinte questionamento: *Como se comporta a geração de resíduos, bem como o consumo de água e energia, nas obras de edificações? E qual o grau de eficiência ambiental quando é comparado as obras dentro do mercado local?*

E diante desta indagação, outras questões são desdobradas, as quais estruturam os objetivos deste trabalho. Estas questões secundárias são:

- a) Em que quantidade são gerados os resíduos e o consumo de recursos como água e energia nas obras nacionais? ;

- b) Quais variáveis de projeto e procedimentos influenciam nos impactos ambientais decorrentes em casos de ineficiência técnica?

1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo central na presente dissertação é avaliar desempenho ambiental por meio do consumo de água, energia elétrica e geração de resíduos durante a etapa de construção de distintas edificações, de forma a contribuir para a sustentabilidade ambiental desse setor produtivo.

1.1.2 Objetivos Específicos

A fim de alcançar o objetivo principal, objetivos secundários foram estabelecidos:

- a) identificar, levantar e determinar indicadores para monitorar a geração de resíduos, consumo de água e consumo de energia durante a execução de obras civis;
- b) Determinar a eficiência técnica por meio dos aspectos ambientais das obras estudadas;
- c) Identificar aspectos qualitativos de projeto, produção e gestão que impactam no desempenho ambiental observado, das obras estudadas.

Destarte, a estruturação desse estudo percorre em cinco capítulos, sendo o vigente destinado a introdução do tema e estabelecimento dos objetivos. O segundo capítulo aborda a revisão bibliográfica, ao qual fundamenta conceitos sobre impactos ambientais oriundos da construção civil, geração de resíduos da construção, uso de água e energia e o desempenho ambiental a ser atingido. O capítulo três apresenta e detalha o processo metodológico utilizado na pesquisa para atender aos objetivos determinados, ao qual no capítulo quatro são apresentados e discutidos os resultados obtidos pelo método descrito. Por fim, o capítulo cinco destinasse a conclusão da dissertação, abordando os pontos destaques discutidos durante a pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo aborda a fundamentação teórica e estudos sobre o tema de pesquisa.

2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS ORIUNDOS DA CONTRUÇÃO CIVIL

A conceituação de impacto ambiental pela NBR ISO 14.001 (ABNT, 2015) é definido por quaisquer ações que modificam, seja adversamente ou benéficamente, o meio ambiente, ao exemplo de ar, água, solo, recursos naturais, fauna e flora. Essas ações são resultantes dos aspectos ambientais de uma ou mais organizações, aonde a referida norma define que o aspecto ambiental é o elemento de uma atividade, produto ou serviço que interage com o meio ambiente. Assim, entende-se que o aspecto ambiental pode causar o impacto ambiental como consequência, em determinados níveis de relevância.

A atividade de construir, interage diretamente com o meio ambiente, modificando-o de modo que possa atender ao objetivo de implementar a infraestrutura base, como geração de energia, saneamento, transporte, comunicação e edificações para o espaço laboral e residencial. Logo, os impactos dessa interação com o meio ambiente decorre em uma extensa cadeia produtiva no ciclo de vida do empreendimento, a citar a extração, produção de materiais, concepção do projeto, execução, uso, manutenção e demolição (AGOPYAN; JOHN, 2011). Observando que o setor envolve investimentos consideráveis que estão atrelados às fases econômicas de um estado ou nação, de modo que o mercado imobiliário envolve ciclos de recessão e de produtividade, conhecido pelo *boom*. O que pode impactar diretamente na demanda de materiais e serviços, que por sua vez tem consequências no que se entende por impactos ambientais, bem como sociais (TEIXEIRA, 2009).

Tomando por referência o ciclo de vida integral dos empreendimentos e projetos, estima-se que o setor da construção civil consome mais de 50% dos recursos naturais extraídos, principalmente para a produção dos materiais de construção. Ademais, dez impactos decorrente dos aspectos ambientais são apontados, regidos em cada fase do projeto, conforme detalhado no quadro 1 (CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTAVEL (CBCS);

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA); PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA, 2014).

Quadro 1 - Impactos ambientais da construção civil

Impacto Ambiental	Descrição
Mudanças Climáticas	Emissões de gases como CO ₂ , CH ₄ , NO _x , HCFC que diminuem a capacidade de emissões de energia de onda longa do globo terrestre para o espaço, provocando aquecimento
Uso de Recursos Naturais	Consumo de reservas de produtos não renováveis ou exploração de produtos renováveis sem manejo ou acima da capacidade de recomposição
Consumo de Energia	Categoria que analisa a eficiência no uso de energia bem como a contribuição para o esgotamento de fontes de energia não renováveis
Geração de Resíduo	Acumulação de resíduos com risco de contaminação ambiental e desperdício de recursos naturais
Consumo de água	Consumo de água na atividade, contribuição para o stress hídrico da região e as consequências em capacidade de suporte à vida
Toxicidade	Emissões ou uso de produtos que possam significar risco à saúde humana ou à de outras espécies, como dioxinas, furanos, formaldeído, biocidas, metais pesados como o mercúrio
Destruição da camada de ozônio	Emissões de gases como os CFCs, Halon, HCFC, tricloroetano, principalmente por fluídos de ar-condicionados e geladeiras
Poluição por nutrientes (eutrofização)	Contaminação do ambiente - especialmente de corpos de água - por elementos como fosfato, amônia, nitrogenados, fósforo, desequilibrando os ecossistemas
Acidificação	Contaminação do solo, do ar e da água, por produtos ácidos (como SO _x), afetando animais, vegetações e até edificações
Poluição do ar	Emissão de gases como SO _x , NO _x , material particulado, inclusive aqueles que podem levar a formação de <i>smog</i> fotoquímico. No caso do ambiente interno, emissões de compostos voláteis.

Fonte: Agopyan e John (2011, p.62).

Dentre esses itens, destaca-se o consumo de energia, o consumo de água e a geração de resíduos, temas de concentração da presente pesquisa. No caso de água e energia, estes tratam de insumos básicos para qualquer atividade produtiva. E os resíduos refletem em resultados indesejáveis no processo construtivo, o qual se visa a sua minimização. Melhorando a qualidade dos processos, o desafio do setor objetiva meios para aumento do desempenho ambiental na prática da construção.

2.2.1 Perspectiva sobre o impacto dos materiais de construção

Entender os impactos relacionados aos materiais, faz-se compreender uma maior dimensão que os resíduos da construção podem ter, tomando em base pela perspectiva que o resíduo tem origens como um material desperdiçado, supra dimensionado ou mal planejado ou executado. Não obstante a quantidade de água e energia incorporada dada por uma visão de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (POLAT *et al.*, 2017).

Na cadeia de materiais utilizados na construção, o concreto é um elemento amplamente utilizado, visto pela facilidade em obter formas variáveis, apresentar boa resistência mecânica e resistividade a água e o baixo custo (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Em sua composição, o concreto provém de 70 a 80% de agregados graúdos e miúdos e o restante em cimento, adições minerais, água e aditivos (SBRIGHI NETO, 2011). Por consequência o impacto na extração de minerais em jazidas são mais extensos, em mais de 25 bilhões de toneladas, ou aproximadamente 3,30 toneladas *per capita*/ano, se for distribuído pela vigente população mundial (ONU, 2017). Não obstante, a indústria do cimento apresenta uma forte relação com os impactos ambientais, não apenas na extração de rochas como o calcário, como também na emissão de dióxido de carbono (CO₂) em sua produção, um dos gases que contribui nas mudanças climáticas, na ordem de 5 a 7% das emissões globais. Na cadeia produtiva do cimento, 50% dos gases do efeito estufa são correspondentes do processo de descarbonatação, aonde o calcário (CaCO₃) é convertido em óxido de cálcio (CaO), que por sua vez têm-se a liberação de CO₂. A combustão no forno rotativo do clínquer representa outra parcela significativa dessas emissões (WORREL *et al.*, 2001).

Outro elemento muito presente na construção é o aço, que apesar de envolver reciclagem de sucatas nas aciarias, a sua produção implica em altos níveis de impactos tanto no consumo de energia elétrica, como no consumo de água. Ilustrando um estudo de ACV que apontou que o processo de siderurgia é o que mais impacta nos quesitos de mudanças climáticas, pelas emissões de dióxido de carbono. Também foi apontado no esgotamento de fontes de energias não renováveis a produção do coque, que é um componente na produção do ferro gusa, no processo de alto forno (OLMEZ *et al.*, 2016). Para ilustrar a China, a maior produtora de aço mundial, a produção de aço corrobora em torno de 15% da energia

chinesa produzida, e 14% da geração de águas residuais de indústrias.(GUO; FU, 2010). Isso em um país em que a energia é predominantemente gerada por carvão, uma fonte não renovável, o que impacta na emissão de gases do efeito estufa, embora os investimentos chineses em eficiência energética nesse ramo, a produção chinesa ainda terá um pico demanda de aço até o ano 2040 (CHEN; YIN; MA, 2014).

E não apenas no ramo dos materiais, bem como seus transportes, são os impactos mais significativos, há também de se ter um entendimento completo de todo seu ciclo de vida e influências. Por exemplo, no âmbito da etapa de construção, uso e manutenção das edificações, existe um aspecto ambiental em relação ao consumo de energia, água e geração de resíduos, aonde Agopyan e John (2011) apontam como pontos críticos para a sustentabilidade das edificações. Esses tópicos serão abordados a seguir, discutindo a geração de resíduos da construção e demolição (RCD), consumo de água e energia pela construção e o desempenho ambiental nos canteiros de obras.

2.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Até o fim do século passado, a preocupação com a geração de resíduos proveniente da construção e seus impactos ambientais, era de pouco interesse pelo setor público e privado. Um dos preconizadores do tema, foi Pinto (1999) que estudou o gerenciamento dos resíduos de construção pelos municípios da região sudeste, motivado pelo crescente desenvolvimento urbano e pela alta taxa de geração de RCD, em 150kg/m² na época. O autor, constatou os problemas ambientais das disposições irregulares, ou clandestinas, por pequenos geradores. A citar a degradação de paisagem, impactos socioambientais nas regiões periféricas, falhas na drenagem pública, proliferação de doenças e praga de roedores. De modo que reforçou uma gestão mais adequada pela reciclagem e o correto descarte dos RCD. Tais problemas de gestão agridem o ecossistema, além de onerar os municípios por tomar ações corretivas. Ilustrado pela figura 2, tais práticas clandestinas ainda são evidências em nesta década, como a disposição em locais não licenciados ou até mesmo ilícitos como nas bordas de malhas viárias, como evidenciado no município de Pelotas/RS (TESSARO; SÁ; SCREMIN, 2012).

Figura 2 - Disposição irregular de RCD



Fonte: Pinto (1999).



Fonte: Tessaró,Sá e Scremin(2012).

Por sucessão, Angulo (2000) estudou a variabilidade dos RCD para a produção de agregados graúdos reciclados, de modo a promover a sustentabilidade dos problemas ambientais dos resíduos de construção. Constatou a potencialidade técnica e econômica de se reutilizar os agregados reciclados, entretanto apontou o desafio da falta de homogeneidade do RCD, visto que é comum a presença de outros elementos como madeira, gesso, tinta e latarias nas caçambas de coleta, o que dificulta o processo devido a inadequada gestão desses resíduos na fonte geradora.

Impulsionado pelos cernes ambientais que cresciam em âmbito global, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em julho de 2002 deliberou a resolução 307, ainda vigente, aonde determina as diretrizes, critérios e gestão no saneamento dos resíduos da construção civil em especial, vide o artigo segundo (BRASIL, 2002). Em específico o artigo sexto, estabelece aos pequenos geradores que devem seguir as diretrizes do plano municipal regente, já os grandes geradores (construtoras), devem realizar um Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção (PGRCC). Este documento visa que o RCD deve ser quantificado, segregado, e destinado adequadamente, de modo planejado antes do início da construção.

Nos mesmos moldes, a norma técnica NBR 10.004:2004, prediz a classificação dos resíduos sólidos gerados por meio de suas propriedades e características cujo os impactos são conhecidos. Essa classificação se distingue em classe I de perigosos, cujo existe uma periculosidade, como a inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxidade e patogenicidade. E classe II, os não perigosos,

sub-classificados em inertes ou não inertes (ABNT, 2004b).E complementando, a lei 12.305/10, em que incorporou a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), um marco na responsabilidade ambiental e gerenciamento é sancionada. Não apenas para distinguir o conceito de rejeito e resíduos, como também promove a reciclagem, a logística reversa e a minimização na geração dos resíduos sólidos, incluindo os da construção(BRASIL, 2010).

Deste modo a classificação dos resíduos, regrados pela Resolução do CONAMA 307 e a NBR 10.004, são ilustrados no quadro 2, que aponta a segregação adequada dos resíduos de construção.

Quadro 2- Classificação dos resíduos da construção civil

Resolução 307 - CONAMA - Art.3		
Classe	Característica	Tipo de materiais
A	Resíduos recicláveis ou reutilizáveis como agregados	Solo, cerâmicas, concreto e argamassas
B	Resíduos recicláveis ou reutilizáveis para outras destinações	plásticos, papeis, madeira embalagens, gesso, vidros
C	Resíduos cujo não há tecnologia ou aplicações viáveis economicamente	
D	Resíduos perigosos oriundos da construção	Tintas, óleos, solventes, componentes de amianto
NBR 10004:2004		
Classe	Característica	Tipo de materiais
I - Perigosos	Resíduos cujo apresentam riscos àsaúde pública e ao meio ambiente	Tintas, óleos, solventes, componentes de amianto
II - Não Perigosos	São os resíduos que não se enquadram na classe I (Anexo H da norma)	
<i>II A - Não inertes</i>	Podem apresentar propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade	Madeira, papel, vidros
<i>II B - Inertes</i>	Nenhum constituinte solubilizado à água deionizada, apresentem riscos àsaúde e ao meio ambiente	Concreto, cerâmicas, argamassas

Fonte: Adaptado de ABNT(2004b) e BRASIL(2002).

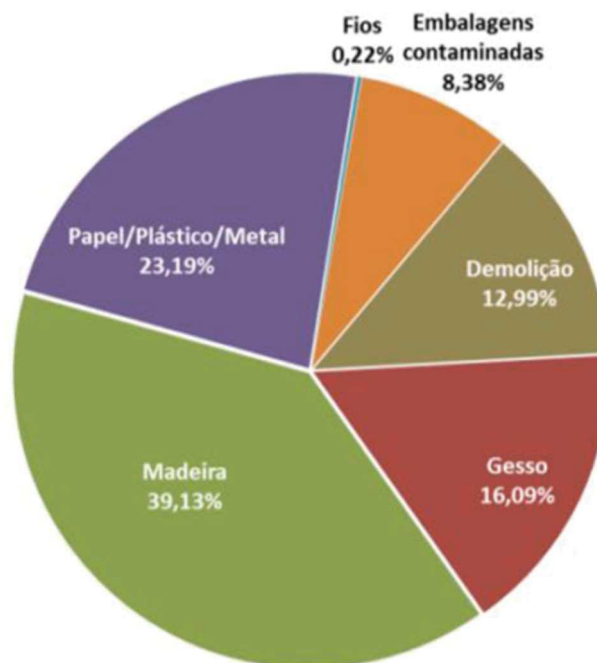
O gerenciamento dos resíduos de construção é um tema complexo, ao passo que se trata de um produto volumoso, pois representam de 30 a 50% aproximadamente dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados(PINTO, 1999 ; TESSARO; SÁ; SCREMIN, 2012). Não obstante a sua massa, aonde para cada metro quadrado construído se gera na ordem de 115kg de RCD, evidenciados pelos

estudos de Miranda, Ângulo e Careli (2009), assim como na pesquisa de Mália e Brito (2011). Outrossim para o problema, está que o saneamento desses resíduos é economicamente oneroso para os municípios e os geradores, de modo que a disposição irregular, como dito, ainda é uma prática presente na atualidade brasileira, principalmente derivadas de construções informais. Conforme estudo de Oliveira *et al.*(2011), apenas em Fortaleza/CE os custos em movimentação de RCD foram em ordem de 4,5 milhões de reais, sendo que quase a metade desse valor a prefeitura local teve de assumir. Já quanto aos custos unitários, é estimado um valor de 27 reais na movimentação de 1 metro cúbico dos resíduos de construção (NETO, 2009).

O problema da não segregação dos resíduos, não envolve apenas uma maior dificuldade no trabalho de triagem, fato que a maior parte dos RCD serem de classificação não perigosa, porém existem frações de solventes, óleos, amianto, gesso, produtos orgânicos. Em estudo sobre os resíduos misturados, as frações finas de gesso, como das matérias orgânicas eram presentes em quase 40% da massa do RCD, o que inviabiliza questões técnicas de reciclagem. Além disso, há a existência de riscos da disposição final em aterros, aonde o gesso em decomposição emite sulfeto de hidrogênio (H_2S), um gás tóxico e poluente (MONTERO *et al.*, 2010).

Por outro lado, se bem gerenciado, benefícios são obtidos, dado ao fato que 80% dos resíduos são recicláveis, devido à alta concentração de elementos inertes como concreto, argamassa, e produtos cerâmicos (DING; XIAO, 2014). Ao mesmo modo Caetano, Selbach e Gomes(2016), realizaram um quantitativo e a composição gravimétrica dos resíduos de construção na fase de acabamento de uma obra do programa habitacional Minha Casa Minha Vida (MCMV). Como resultado, 92% do RCD gerado são passíveis de reciclagem, ou seja, classe A e B e uma geração de 1,11 m³/casa em fase de acabamento. A figura 3 apresenta a estratificação dos RCD, aonde visualiza que em sua maioria são recicláveis.

Figura 3- Estratificação dos RCD gerados na obra MCMV



Fonte: Caetano, Selbach e Gomes (2016).

Uma parcela considerável, 39,13%, são resíduos de madeira os quais são classificados como Classe B da resolução 307 do CONAMA, que combinados com o gesso, plástico, papel e metal são componentes recicláveis, totalizando 78,41% neste exemplo. Ademais aos resíduos de demolição, que contém fragmentos cerâmicos que podem ser reaproveitados na própria construção civil para a composição de agregados reciclados.

Além da segregação no ato da fase de execução, da mesma relevância está em estimar a geração dos resíduos de construção. Pois além da exigência do PGRCC, projetar a geração dos resíduos auxiliam no gerenciamento adequado para o setor. Logo demais estudos acadêmicos buscaram identificar a taxa de geração de RCD, devido a esta complexidade vigente, vide tabela 1.

Tabela 1 - Taxa de Geração de RCD

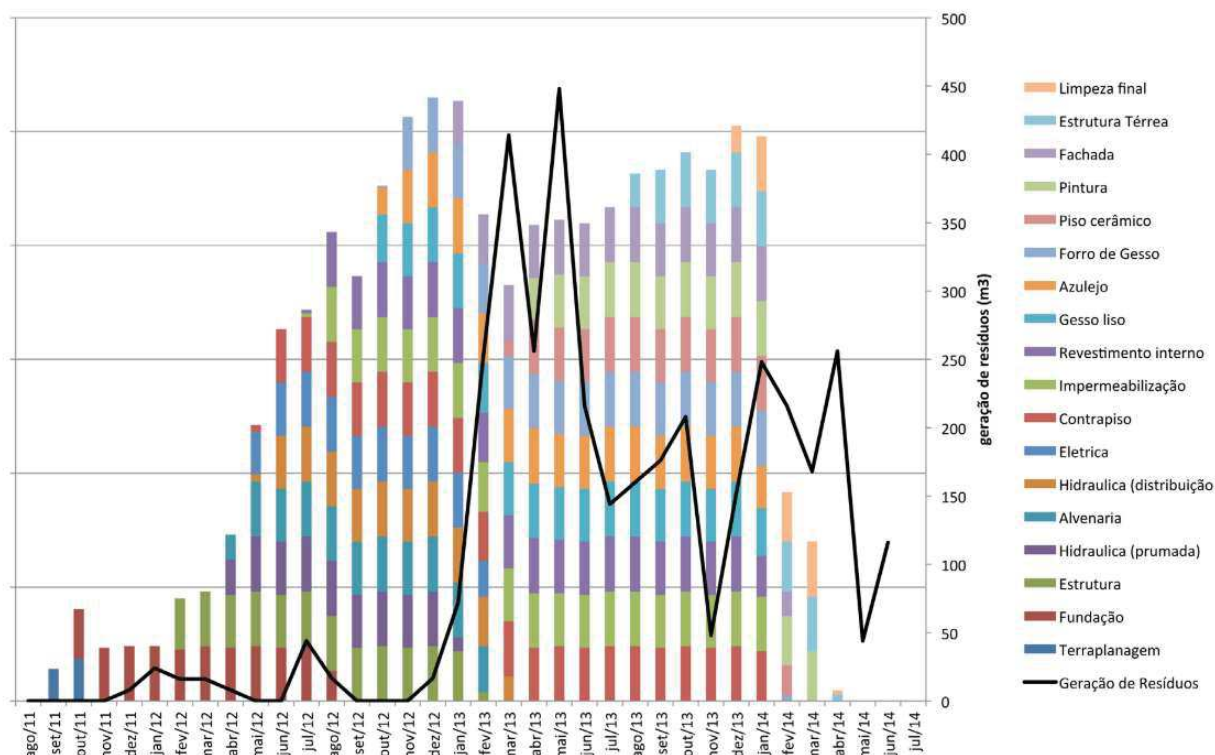
Autor	Ano	Observação	Taxa RCD
TAXA DE GERAÇÃO - Volume			
Solís-Guzmán et al	2009	Edificações - Concreto	0,307 m ³ /m ²
Llatas	2011	Fase de acabamento	0,43 m ³ /m ²
Sáez; Merino e Porras	2012	Alvenaria de Vedação	0,192 m ³ /m ²
Amores		Gesso acartonado	0,188 m ³ /m ²
Kern et al	2013	Edificações - Concreto	0,128 m ³ /m ²
Caetano; Selbach; Gomes	2016	Residências Horizontais	0,02 m ³ /m ²
Oliveira, Cleto e Delfino	2016	Edificações - Concreto	0,25 m ³ /m ²
TAXA DE GERAÇÃO - Massa			
Pinto	1999	São Paulo - SP	150 kg/m ³
Miranda, Ângulo e Carieli	2009	São Paulo e Recife	115,8 kg/m ³
Mália e Brito	2011	Revisão Literária	115 kg/m ³
Tessaro, Sá, Scremin	2012	Pelotas RS	128 kg/m ³

Fonte: Elaborada pelo autor.

A taxa média de geração de RCD varia pelo indicador da área em metro quadrado, se tratando em 0,20 m³/m², sob perspectivas desses estudos. Sendo que há diferenças entre as construções de edificações para residências horizontais em condomínios, aonde este último apresenta uma taxa de geração consideravelmente inferior. Ademais pela fase de obra, aonde indica que a fase de acabamento é o momento aonde há maior geração de RCD, entende-se, pois, trata de um momento conclusivo da obra e os resíduos são despachados em maior velocidade. Outro aspecto é a geração por massa, principalmente em avaliando a geração municipal, onde em média se trata de 120 kg/m³, vide dados apresentados (Tabela 1)

Uma abordagem em relação à quantidade de geração de resíduos em comparação ao avanço físico de uma obra de edificações, foi uma das análises no estudo de Oliveira, Cleto e Delfino (2016). Desconsiderando os resíduos em solo, foi verificado uma geração mais tímida no início da obra, aonde ocorre atividades voltada a fundações e supra-estrutura. Ao passo que no aumento no volume de atividades dentro do canteiro, se percebe um pico na geração de resíduos, que se acompanha até o final da obra aonde um novo pico é identificado relacionado as questões de acabamentos (Figura 4).

Figura 4 - Comportamento geração de resíduos no avanço físico



Fonte: Oliveira, Delfino e Cleto (2016).

Desde modo, é relevante que as empresas construtoras tenham conhecimento de sua geração de resíduos, pois é uma ação na direção para a redução dos impactos e na implementação de melhorias e eficiência no processo construtivo. Um estudo liderado pelo Sinduscon de São Paulo, comprovou que a segregação dos resíduos no canteiro de obra é economicamente viável, por reduzir os custos com a destinação e na possibilidade de reutilização. Além de melhorar o ambiente laboral com maior conscientização ambiental dos operários, e na criação de um canteiro de obras mais organizado e limpo (SINDUSCON, 2005).

2.3 USO DE ÁGUA E ENERGIA NAS CONSTRUÇÕES

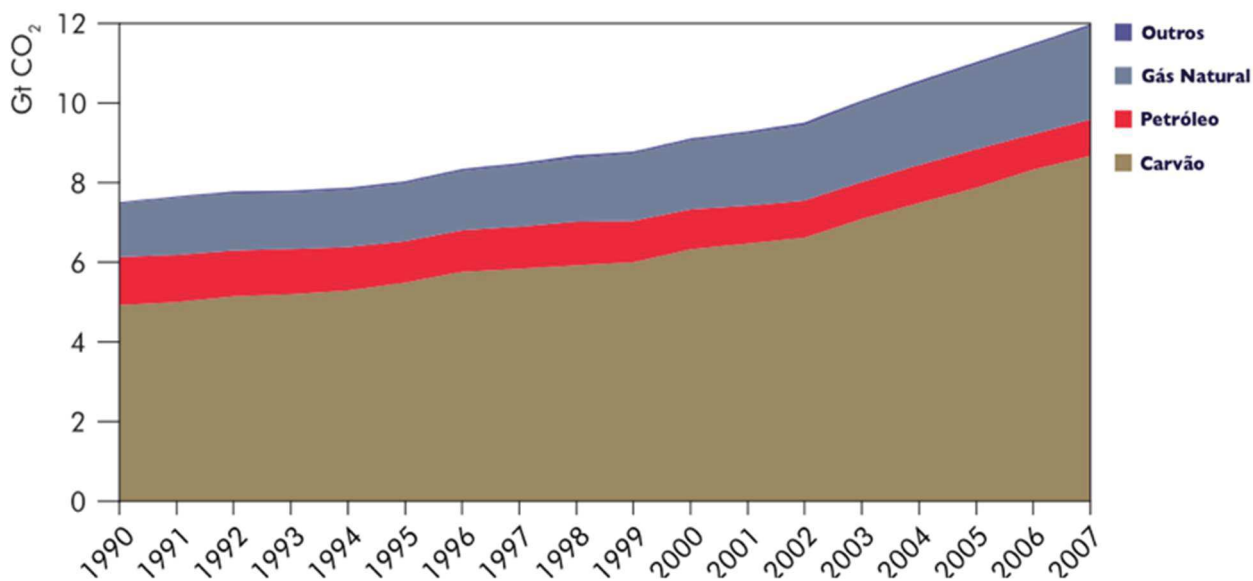
Nesta seção será contextualizado o cenário energético e hídrico em quesitos de sustentabilidade, bem como apresentado trabalhos que pesquisaram o consumo destes recursos nos canteiros de obra.

2.3.1 Cenário Energético

O setor de edificações é um dos responsáveis por quase 30% do consumo global de energia elétrica apontados no ano de 2016, em adição à indústria da construção civil (incluindo a produção de materiais) que representa 6% da parcela do consumo energético mundial. Destaca-se uma correlação com os impactos ambientais decorrentes de emissões atmosféricas, devido a esse consumo energético. Trata-se de uma preocupação mundial, visto que até 2050 as emissões dos gases do efeito estufa devem ser mitigados a fim de evitar cenários mais desastrosos nas mudanças climáticas(UNEP, 2017).

As preocupações ao que tange o consumo de energia elétrica, são provenientes de suas fontes de geração, que por maioria são oriundas de fontes poluidoras, bem como a crescente demanda *per capita*. A geração global de energia elétrica primária é proveniente de 86% de fontes não renováveis, como petróleo, gás natural e carvão. E apenas 14% dessa matriz derivam de fontes renováveis como biomassa, hidráulicas, solar e eólica (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). Esse cenário, tem ligação na emissão de CO₂, principalmente em fontes como o carvão e o petróleo, que contribuem de maneira crescente e acima da metade nas emissões para a geração de energia mundial, vide figura 5.

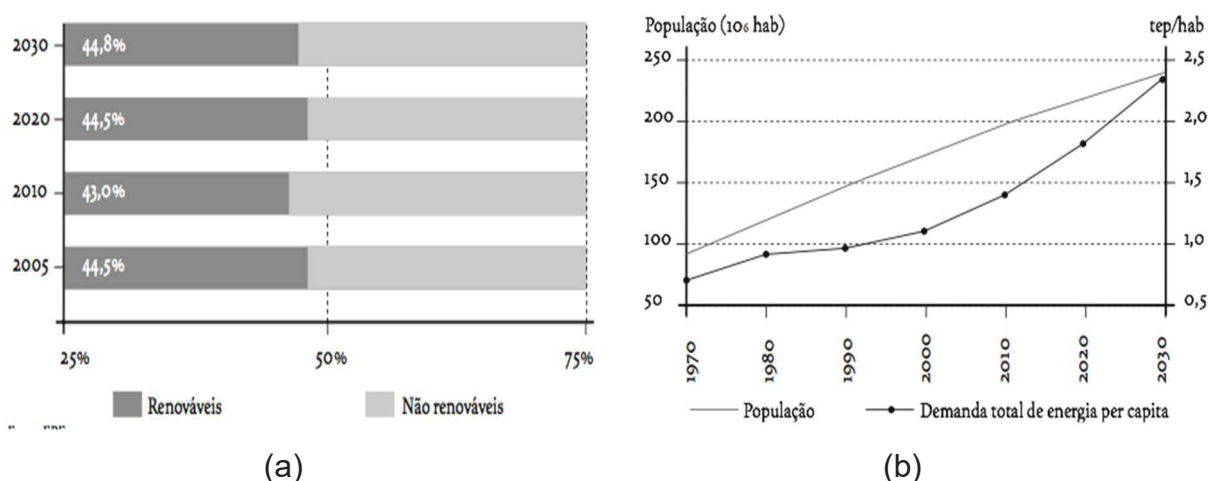
Figura 5- Emissões de CO₂ pela geração de eletricidade global



Fonte: International Energy Agency(2010).

Em um estudo sobre a matriz energética brasileira, a parcela de fontes renováveis é mais equilibrada, na ordem de 44%, sendo com alta contribuição de hidroelétricas, que por sua vez tem problemas ambientais quanto os impactos ao bioma. Ademais, essa parcela não se projeta para melhorar sua eficiência até o ano de 2030 (Figura 6), conforme o planejamento do governo federal, diferentemente da maioria dos outros países. Fato que é agravante devido à crescente demanda por energia pelos brasileiros, conforme ilustra a figura 6 (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007). Outrossim, um estudo de ACV estimou para a matriz energética brasileira um fator de geração de gases do efeito estufa (GEE) na ordem de 125gCO₂eq¹/kWh gerado, aonde o autor destaca que esses efeitos de impactos ambientais decorrente da energia elétrica não devem ser negligenciados.

Figura 6-Fontes Renováveis na Matriz elétrica (a) ; Demanda energética brasileira (b)



Fonte: Tolmasquim, Guerreiro e Gorini(2007).

Tais reflexos podem ser sentidos pelo consumidor. Segundo relatórios de consumo e receita de distribuição, publicados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no período de 2014 a 2019 se evidenciou um aumento de 83% na tarifa média de fornecimento nacional, incluídos com os impostos legais, com tarifas médias de 0,36 R\$/kWh para os 0,67 R\$/kWh praticados (ANEEL, 2019). Assim como instabilidades nas tarifas de energia elétrica, pela atribuição de bandeiras vermelhas ou amarelas, que ocorrem influenciado por crises hidrológicas que afetam

¹ CO₂eq: Emissão de dióxido de carbono equivalente representa uma mensuração para todos os gases do efeito estufa expressados na unidade do dióxido de carbono (CO₂) em termos equivalentes.

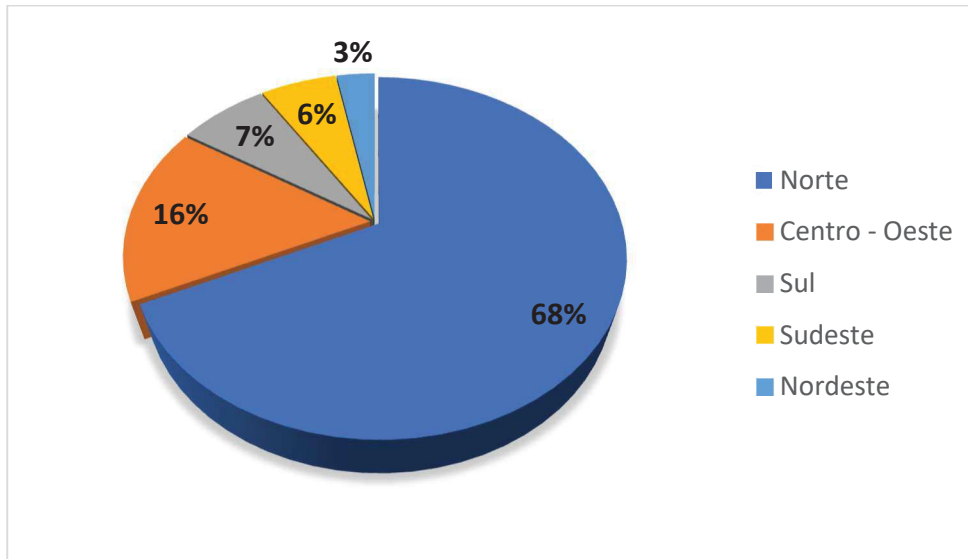
a principal geradora de energia brasileira que são as hidroelétricas, sendo compensado por outras usinas como as termoelétricas, onerando os preço do fornecimento de energia (DE CASTRO *et al.*, 2017).

2.3.2 Cenário Hidrológico

Quanto ao aspecto no consumo de água, apesar do Brasil ser um dos países com a maior reserva de água potável, existe uma responsabilidade global preconizada pela ONU para preservar os recursos hídricos, por não desperdiçar, nem poluir ou envenenar. De modo que quanto mais decrescer a qualidade da água, maior serão os custos de tratamento, o que retrai a acessibilidade do recurso às pessoas, principalmente de baixa renda(CEBCS; MMA; PNUMA, 2014).Tal preocupação provém da disponibilidade de água potável, fato é que dos 2,5% disponível no globo terrestre, apenas 0,3% são oriundas de rios e lagos, aonde a água potável é mais acessível. O remanescente está confinada em geleiras, leitos subterrâneos e umidade do ar, tornando a extração mais arriscada ou onerosa, impactando um bem comum e essencial para a vida e atividades econômicas(UNEP, 2019).

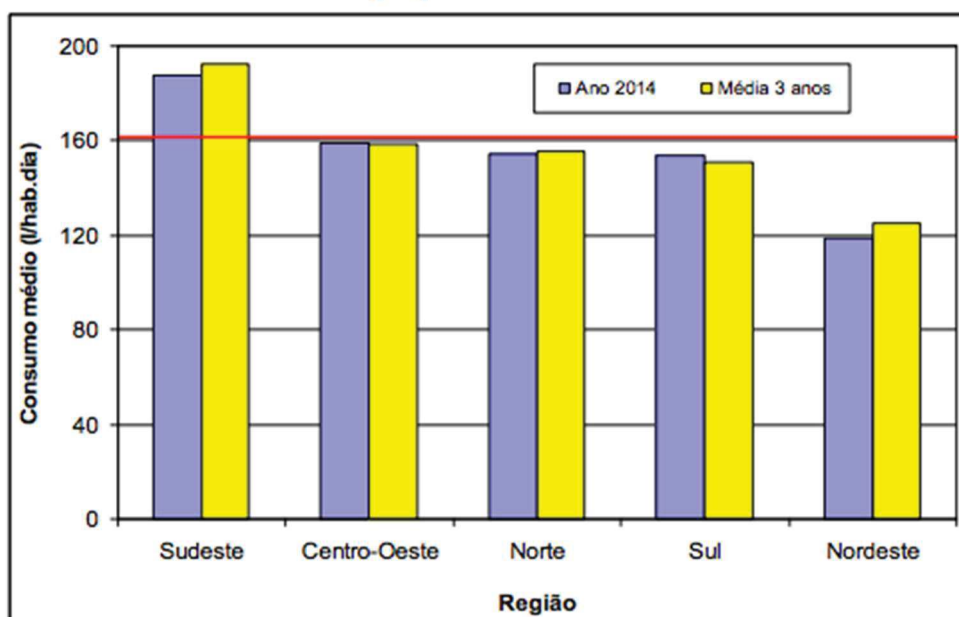
No panorama nacional, o Brasil dispõe de 14% da água doce planetária, entretanto apenas 1% é realmente extraído para consumo. O que parece um dado compensador, é deparado com problemas logísticos ao considerar a distribuição em uma área geográfica continental como a brasileira (Figura 7). Visto que 68% desse recurso hídrico é localizado na região Norte, com menos um décimo da população. Já na região Nordeste, a população sofre com falta de água devido a ter 3% da água potável brasileira, assim como a Sudeste dado a alta densidade demográfica e de número de atividades industriais.(CEBDS), 2009).

Figura 7- Distribuição de Recursos Hídricos no Brasil



Fonte: CEBDS (2009).

Quanto ao consumo e distribuição, de acordo com o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), o brasileiro tem um consumo médio de água de 153,6 L/hab.dia, sendo o Sudeste a região de maior demanda, conforme a figura 8. Ademais, que mais de um terço das águas são perdidas durante o processo de distribuição, o que faz que o problema hídrico seja relevante nos quesitos de sustentabilidade (BRASIL, 2016).

Figura 8- Consumo *per capita* por região brasileira

Fonte: Brasil (2014).

Apesar da cultura brasileira ter um costume de acesso a água e consumi-la de forma abundante, diferentemente de outras culturas mais escassas, já foi presenciado crises hídricas na metade da década, aonde a região sudeste foi a mais afetada. Tais aspectos apresentados reforçam a necessidade do cuidado e responsabilidade no uso dos recursos hídricos.

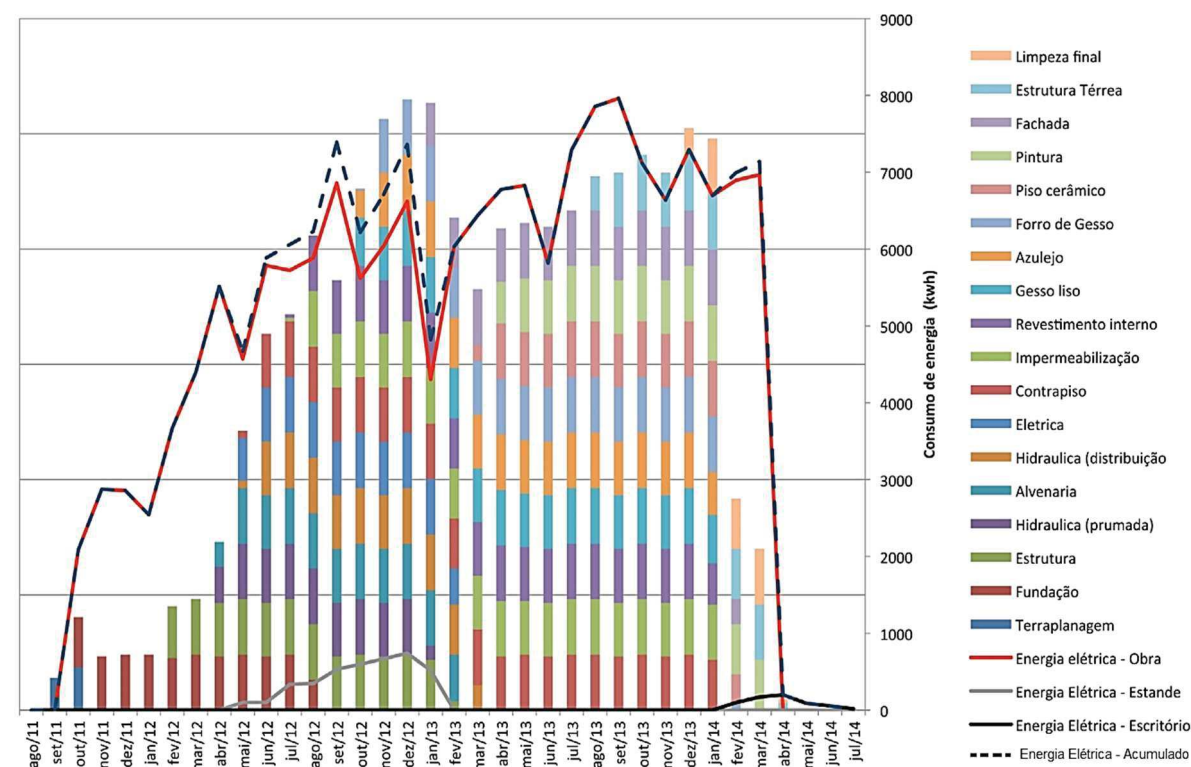
2.3.3 Estudos sobre Consumos Hídricos e Energéticos na Construção

Em tese os principais estudos sobre a construção civil quanto ao quesito de eficiência do consumo hídrico e energético se concentram na etapa de uso da edificação, em base na elaboração de projetos mais sustentáveis e com equipamentos mais modernos para suprir as demandas dos usuários de forma eficaz. Entretanto na gestão desses recursos na etapa de construção, se evidencia uma lacuna para estudos e exploração (BARDHAN, 2011).

Marques, Gomes e Brandli (2017) estudaram os indicadores de consumo de água e energia em canteiros de obras, na região de Passo Fundo/RS em um estudo de caso em 6 obras. Aonde correlacionaram as características de projeto como área, perímetro e Índice Econômico de compacidade (IeC) com as medições das contas da concessionária de energia e abastecimento de água. Como resultado obtiveram $0,28\text{m}^3/\text{m}^2$ em água e $9,93\text{ kWh}/\text{m}^2$ em energia durante a fase de construção.

Em uma abordagem semelhante, Oliveira, Cleto e Delfino (2016) realizaram um estudo de caso em uma obra de edificação, sobre um estudo piloto com objetivo de validar o método de coleta e pesquisa. Observaram o comportamento de consumo de água e energia, durante todo ciclo de construção. Como resultado, a obra obteve um indicador de $0,35\text{m}^3/\text{m}^2$ para o recurso hídrico, seu comportamento no consumo foi proporcional a evolução física da obra, porém com um pico de consumo ao meio e ao final da construção. Já no consumo energético, foi observado um indicador de $12\text{ kWh}/\text{m}^2$, sendo um comportamento crescente até o auge de atividades sobrepostas da construção e se mantendo constante até a conclusão da edificação, vide figura 9.

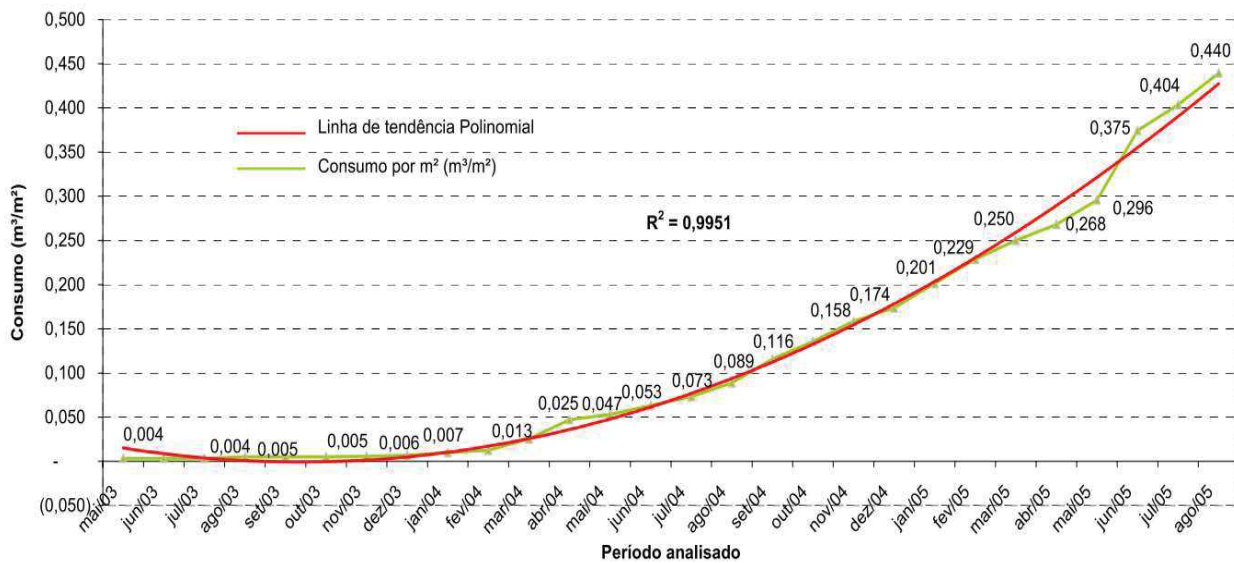
Figura 9 - Consumo de energia vinculado ao cronograma físico de 2011 a 2014



Fonte: Oliveira, Delfino e Cleto (2016)

Pessarello (2008) realizou estudos de caso em três canteiros de obras com objetivo de monitorar o consumo de água durante todo o período de execução. Seu indicador para o consumo de água pela área total construída, foi na ordem de $0,44 \text{ m}^3/\text{m}^2$. O estudo também contemplou a evolução do referido indicador sobre a segunda obra da amostra, analisando durante os 28 meses de construção. Apontando que o consumo de água apresenta um consumo constante, porém com uma demanda crescente a medida que o volume de obra vai aumentando, observados a partir do mês de abril de 2004, ilustrado na figura 10.

Figura 10–Indicador acumulado de consumo de água com avanço físico



Fonte: Pessarello (2008)

Da Silva e Violin (2013) realizaram também um estudo de caso em obras de Maringá/PR, monitorando o consumo de água durante o ciclo operacional da obra. Pelos dados de fornecedores, nos indicadores internos obtiveram em média para as 3 obras estudadas, o consumo de água em $0,25 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Uma segunda análise foi verificar a água incorporada dos concretos usinados, aonde foram responsáveis por 68,6% do consumo final.

Bardhan (2011) fez sua análise das águas incorporadas nos materiais empregados na construção civil, e monitorou o consumo de água nos canteiros de obra da Índia. Em relação a água incorporada, foi avaliado os seguintes materiais: cimento, blocos cerâmicos, aço e alumínio. Sendo que o aço é o componente que mais detém água incorporada, em um indicador de $25 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Para o consumo durante a fase de construção o indicador obtido pelo autor foi de $2 \text{ m}^3/\text{m}^2$ de água.

Face ao exposto, a tabela 2 resume os resultados obtidos nos estudos pelo consumo de água e energia elétrica na fase de construção de edificações.

Tabela 2- Resumo dos resultados dos estudos

Autor	Ano	Consumo Água (m³/m²)	Consumo Energia (kWh / m²)
Marques, Gomes, e Brandli	2017	0,28	9,9
Oliveira, Cleto e Delfino	2016	0,35	12
Da Silva e Violin	2013	0,25	-
Pessarello	2008	0,44	-
Bardhan	2011	2	-
Média (sem <i>outlier</i>):		0,33 m³/m²	10,95 kWh/m²
Desvio Padrão:		0,08	1,48

Fonte: Elaborada pelo autor.

Sobre os dados da literatura, verifica que o consumo de água contempla um valor médio do indicador em 0,33m³/m². Ao passo que o consumo energético aborda valores de 9,9 a 12 kWh/m². Ressalva-se a importância dos indicadores de consumo de água e energia, pois são a ferramenta básica para a tomada de decisão, assim como para uma gestão mais sustentável para o canteiro de obra.

2.4 DESEMPENHO AMBIENTAL NA CONSTRUÇÃO

Conforme a NBR ISO 14.001, um sistema de gestão ambiental visa a proteção do meio ambiente, como a mitigação dos impactos ambientais decorrentes das atividades das organizações, como meio de controle e gestão dos aspectos ambientais da empresa. Assim, por meio de resultados mensuráveis e pela gestão dos aspectos ambientais, define-se o desempenho ambiental (ABNT, 2015). Corroborando por um pensamento estratégico, uma empresa que busca melhorar a eficiência e eficácia de seus processos sobre uma visão de prevenção da poluição, têm vantagens competitivas no mercado, visto que o ato de poluir é uma consequência de ineficiência no uso dos recursos (PORTER, 1999). Deste modo, como preconiza a NBR ISO 14.031, os indicadores ambientais fornecem informações a respeito de uma atividade, em relação aos aspectos ambientais. Salienta-se que a referida norma deriva em dois tipos de indicadores de desempenho ambiental (IDA): o indicador de desempenho gerencial (IDG), que fornece informações sobre quanto a gerência empresarial se sucede na busca da sustentabilidade. E o indicador de desempenho operacional (IDO), o qual fornece

informações propriamente ditas da operação, a exemplificar, o consumo hídrico, energético e geração de resíduos, os quais são objetos de estudo desta dissertação. Tais informações auxiliam nas análises, conclusões e tomadas de decisões estratégicas da empresa (ABNT, 2004a).

2.4.1 Desempenho ambiental por meio de projeto e planejamento

Perante os desafios que a construção civil apresenta com seus inúmeros processos, o desperdício e ineficiência são temas presentes. E a estes não pode ser atribuído há um elemento isolado, como a desqualificação da mão de obra ou tecnologias artesanais, mas sim à uma combinação de fatores (FORMOSO *et al.*, 2002). Um forte fator na mitigação dos resíduos está em um adequado planejamento e projeto, dado que se trata de um trabalho antecessor à fase operacional, aonde o resíduo é ocorrido em efetivo. Fato é que a etapa de projeto, bem como seu *design* arquitetônico, pode corroborar com a geração de um terço de RCD na etapa de construção, o que aumenta a responsabilidade dessa etapa de planejamento e projetos (OSMANI; GLASS; PRICE, 2008). As causas quanto as questões de projeto se precedem por falhas em compatibilização entre especialidades na construção, no conhecimento dos projetistas quanto aos tamanhos padrões de insumos, materiais alternativos, falta de detalhamentos, revisões em andamento de obra, falha de comunicação nas necessidades dos clientes (BOEHM, 2012; POLAT *et al.*, 2017).

Um planejamento inadequado, bem como problemas logísticos no canteiro de obra se apresentam como aspectos de desperdício e perdas durante a construção. Situações como falta de atendimento as necessidades do cliente-alvo, atraso em contratação de projetos complementares, estudo insuficiente de métodos construtivos, ou padronizados, problemas de suprimento de materiais no canteiro (MANZIONE; MELHADO, 2007). Dentro da logística do canteiro, as perdas são oriunda de superprodução, movimentações excessivas por parte dos operários, transporte horizontal e vertical de materiais no canteiro, retrabalhos e problemas de segurança (AGOPYAN *et al.*, 2003; SOMMER, 2010).

Baseados nessa relevância, demais pesquisas elaboraram modelos para minimizar os resíduos de construção na fonte, por meio de estimação para que previamente ao início da obra auxilie no planejamento e gerenciamento de resíduos. Sobre um modelo de regressão linear, Kern *et al.* (2015) analisaram como as

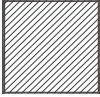

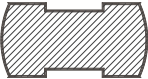
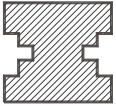
variáveis independentes dos projetos arquitetônicos e sistemas construtivos, a exemplo da repetição de pavimentos tipo (tipo/total), índice de compacidade (IeC), área do pavimento tipo e práticas de reciclagem, influenciam diretamente na geração de resíduos da obra. Assim como Caetano, Fagundes e Gomes (2018), que aplicaram um modelo estatístico em dezoito obras erguidas em alvenaria estrutural. E predisseram, com um coeficiente de determinação (R^2) para 80,2% dos casos, no que tange a geração de RCD, em base às características de projetos e práticas no canteiro. Llatas (2011) desenvolveu um modelo para auxiliar os projetos, ao qual se fundamentou à uma expressão analítica considerando o orçamento e tipos de materiais empregados, e analisando a geração de RCD nos canteiros de obra, bem como a sua classificação conforme as normas espanholas. Já Sáez, Merino e Porrás-Amores (2012) se embasaram em uma série de projetos habitacionais na Espanha para determinar três indicadores de RCD: um para estimativa do volume total, um para cada tipo de RCD e outro para cada fase de construção.

De modo geral os indicadores de projeto que têm influência para uma melhor gestão no desempenho ambiental, podem se resumir em:

- a) área total do empreendimento;
- b) área total do pavimento tipo;
- c) relação número de pavimentos por pavimentos tipo (tipo/total);
- d) número total de pavimentos;
- e) densidade das paredes internas pavimento tipo (m/m^2);
- f) índice econômico de compacidade (IeC).

Segundo Mascaró (2010) o índice econômico de compacidade (IeC) é uma relação percentual que existe entre o perímetro de um círculo com equivalência a área do projeto, e o perímetro das paredes exteriores do projeto. Posteriormente se considera, também, os números de arestas e curvas. De modo que o indicador envolve uma correlação entre os custos da obra com a forma do edifício. Do resultado expressado em percentual, quando maior o IeC menor tende a ser os custos de produção do edifício, devido a simplificação do *layout*.

Tabela 3 - Índice econômico de Compacidade (IeC)

Forma	Área	Perímetro		Arestas	IeC
		<i>Reto</i>	<i>Curvo</i>		
	400 m ²	80 m	0 m	4	76,6%
	400 m ²	87 m	0 m	4	70,9%
	400 m ²	60 m	31 m	12	56,0%
	400 m ²	111 m	0 m	20	51,9%

Fonte: adaptada de Mascaró (2010).

Em suma, variáveis de projeto apresentam influência na geração de resíduos, logo o desempenho ambiental da construção, bem como aspectos de produção e planejamento, os quais assumem aspectos qualitativos da construtora em si. Segundo a NBR ISO 14.001, um desempenho ambiental é um resultado mensurável, em via de atender esse aspecto, um processo por meio de eficiência técnica é abordado na seção vindoura.

2.4.2 Desempenho ambiental pela eficiência técnica


O meio acadêmico vem contribuindo para o aumento do desempenho ambiental do setor da construção, e um dos caminhos estudados é pelo aumento da eficiência na fase operacional. Farrel (1957) foi um dos pioneiros no estudo sobre eficiência, e pode ser analisada sobre um aspecto econômico, técnico ou alocativo. Ao passo que a eficiência econômica se volta para o lado monetário da produção, ao avaliar a relação entre o valor dos produtos, insumos e precificação, a eficiência técnica analisa os aspectos físicos, considerando a capacidade da firma em produzir o máximo de produto, dada uma determinada quantidade de insumos. Por fim, a eficiência alocativa busca determinar a combinação ótima de insumos, em base aos níveis de preços, de modo a maximizam os resultados empresariais. Um dos

métodos na literatura para avaliar a eficiência técnica, que é um dos objetivos dessa dissertação, é por meio da análise envoltória de dados (FARREL, 1957).

2.4.2.1 Avaliação da Eficiência Técnica pela Análise Envoltória de Dados

Data Envelopment Analysis (DEA), pertence a um dos métodos de análise de decisão multicritério (MCDA), o que são meios científicos para dar suporte na tomada de decisões de um processo, o que pode envolver aspectos subjetivos e objetivos. MCDA caracteriza-se por uma disciplina que engloba matemática, gestão, informática, psicologia, economia e ciências sociais. Portanto, possui uma abrangente aplicação em situações, aonde uma decisão precisa ser tomada sobre um problema determinado. A escolha do método trata-se de uma questão difícil, dado a variabilidade e as peculiaridades de cada método, porém cada um pode ser mais apropriado dependendo do tipo de problema enfrentado (ISHIZAKA; NEMERY, 2013). Os tipos de problemas de decisão identificados por Roy (1981) são de escolha, classificação, hierarquização e descritivo, outrossim para a escolha do método depende da informação de entrada (*input*), ou seja os dados, os critérios e o nível de dificuldade e esforço para obtê-los, conforme demonstra o quadro 3.

Quadro 3 - Métodos de Análise de Decisão Multi-criterial (MCDA)

Entrada (input)	Esforço de Entrada	Método MCDA	Saída (Output)
Subjetividade	Muito ALTO	MAUT	Hierarquização por pontuação
Comparação Pareada: por escala de razão		ANP	
por escala de intervalar		AHP	Hierarquização
por escala de proporção		ELECTRE	Parcial
Opção ideal e não ideal		TOPSIS	Hierarquização
Sem subjetividade	Muito BAIXO	DEA	por efetividade

Fonte: Ishizaka e Nemery (2013)

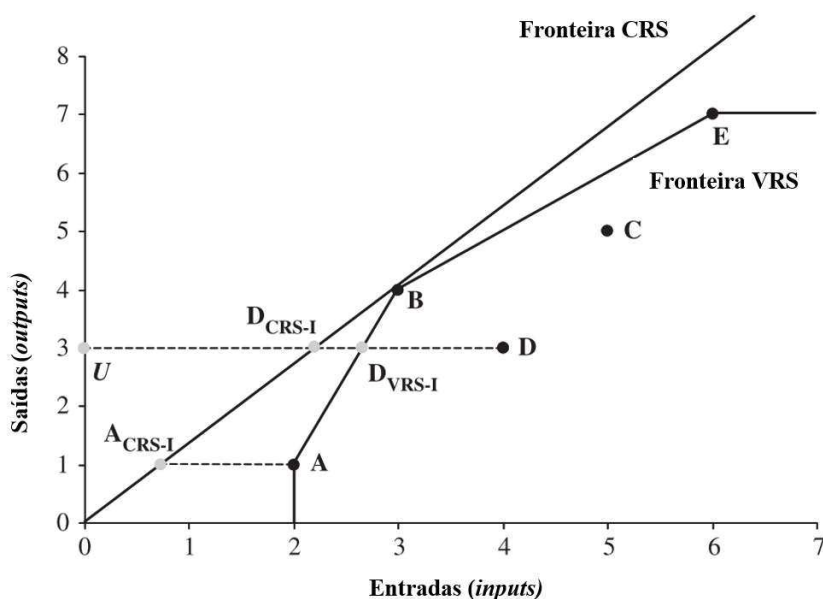
Observa-se que ao trabalhar com dados aonde existe uma subjetividade maior e o tomador de decisão precisa compor os atributos em unidades de função, o método *Multi-attribute Utility Theory* (MAUT) é o mais apropriado. Os modelos Análise Hierárquica de Processos (AHP), como o *Analytic Network Process* (ANP) trabalham com comparações pareadas de certos critérios de entrada para hierarquizar as alternativas, em base à com uma escala numérica, geralmente na escala de Thomas

Saaty de 1 a 9, para elencar a priorização. Quanto maior o nível de subjetividade e de informações, mais trabalhoso se torna o processo de escolha. O modelo DEA, trabalha como saída a análise da eficiência das unidades comparadas, e requer dados de entrada apenas objetivos, geralmente dados quantitativos.

A Análise Envoltória de Dados (DEA), foi desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e trata-se de um método estatístico não paramétrico, e como dito utiliza critérios objetivos e quantitativos. O objetivo é mensurar a eficiência de um processo ou produção em um modelo de comparação. Suas vantagens, além do cálculo da eficiência, está em identificar as empresas ou processos de referência para o quesito avaliado. Essa referência é dada para as empresas calculada como ineficientes, de modo a identificar em que variável de entrada estas podem melhorar (PEIXOTO, 2016). Essa análise é conhecido pelo termo *benchmark*, que foi introduzida pioneiramente por Camp (1989), ao qual definiu como meio constante de medir produtos, serviços e práticas pelos concorrentes potenciais e líderes no mercado que atuam.

As unidades de comparação, são chamadas de *decision-making unit* (DMU), por qual suas eficiências são pontuadas em relação a uma fronteira de eficiência, o que será a referência de 100% no modelo analisado (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978). Existem, basicamente, dois modelos de fronteiras utilizadas na DEA (Figura 11).

Figura 11- Modelos de Fronteira CRS e VRS na análise DEA



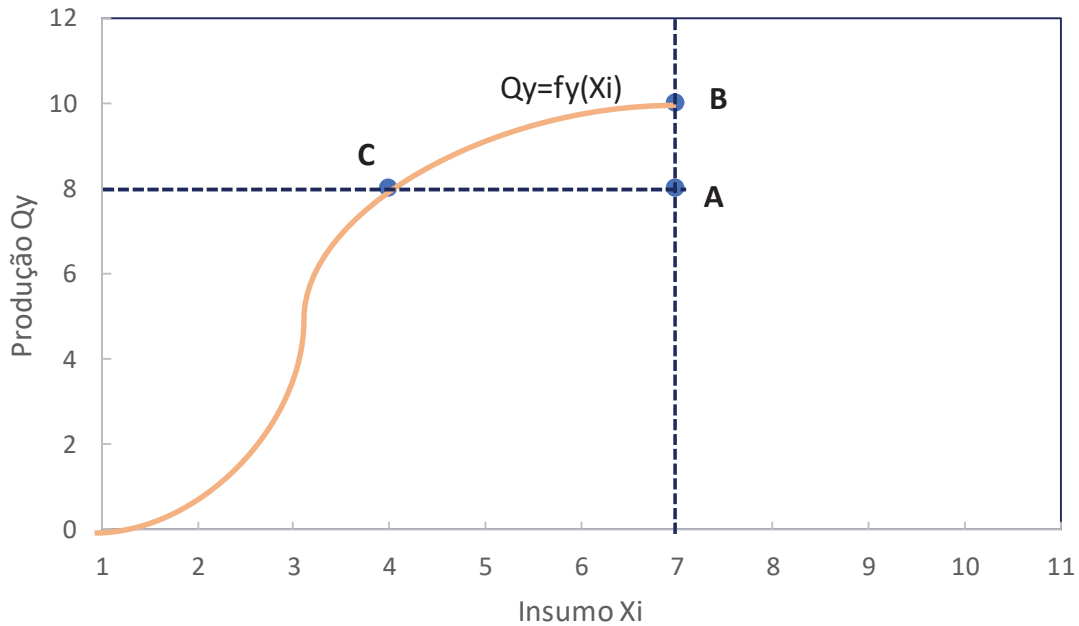
Fonte: Ishizaka e Nemery (2013)

- a) Fronteira CRS: Este modelo assume retornos constante para a referência de eficiência. É aplicado apropriadamente para as unidades de comparação (DMU) que operam em escala otimizada, ou seja, em ambientes aonde há uma competição justa e perfeita entre as unidades analisadas;
- b) Fronteira VRS: Este modelo assume retornos variáveis para a referência de eficiência. É apropriado para as DMU que não operam em escala otimizada, aonde existe imperfeições e diferenças no meio competitivo das unidades.

Na análise envoltória de dados, cada DMU é submetida a um cálculo de produtividade, aonde se trata de uma razão pela soma ponderada de entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*). Isto significa, o quanto de consumos de recursos (entradas) foi necessário para gerar um produto com certas características (saídas). Por assim, uma produção é dita tecnicamente eficiente quando se atinge um nível ótimo de produzir mais dada a mesma quantidade de insumos, ou produzir a mesma dimensão em produtos, porém utilizando a mínima quantidade de insumos possíveis (FARREL, 1957; RICKARDS, 2003)

De modo a expressar graficamente, uma função de produção é dada por meio da quantidade de produto (Q_y), por meio da quantidade dos insumos (X_i), como representado pela figura 12. Os pontos “C” e “B”, dada esta função, são tecnicamente eficientes pois estão na fronteira de possibilidades de produção. Já o ponto “A” apresenta uma condição de ineficiência perante a função de produção, assim também em comparação com os pontos “B” e “C”.

Figura 12 - Exemplo de função de produção e eficiência



Fonte: adaptado de Gomes e Ferreira (2012)

De modo ao ponto “A” alcançar a eficiência pela função, há dois meios: Desloca-lo para o ponto “C”, focando em reduzir a quantidade de insumos e permanecendo no patamar de produção. Este meio é denominado de *orientação ao input*. Já por outra via, o ponto “A” pode deslocar para o ponto “B”, focando em aumentar a sua produção, usando a mesma quantidade de insumos. Este meio é denominado de *orientação ao output* (GOMES; FERREIRA, 2012)

Por assim, o quadro 4 a seguir, demonstra as equações das respectivas orientações do modelo DEA.

Quadro 4-Equações do modelo DEA

Modelo dos multiplicadores	
Orientado a <i>input</i> - Equação 1	Orientado a <i>output</i> - Equação 2
Maximizar $\sum u_j \cdot y_{jo} + u_0$	Minimizar $\sum v_j \cdot x_{jo} + u_0$
Sujeito a:	Sujeito a:
<ul style="list-style-type: none"> • $\sum v_i \cdot x_{io} = 1$ • $\sum u_j \cdot y_{jk} - \sum v_i \cdot x_{ik} + u_0 \leq 0$ • $u_j, v_i \geq 0$ 	<ul style="list-style-type: none"> • $\sum u_i \cdot y_{io} = 1$ • $\sum u_j \cdot x_{jk} - \sum v_i \cdot y_{ik} + u_0 \leq 0$ • $u_j, v_i \geq 0$

Quadro 5-Equações do modelo DEA (continuação)

Modelo do envelopamento							
Orientado a <i>input</i> - Equação 3	Orientado a <i>output</i> - Equação 4						
Minimizar θ	Maximizar φ						
Sujeito a: <ul style="list-style-type: none"> • $\sum \lambda_i \cdot x_{io} \leq \theta x_i$ • $\sum \lambda_i \cdot y_{ji} \geq y_{jo}$ • $\theta, \lambda_i \geq 0$ 	Sujeito a: <ul style="list-style-type: none"> • $\sum x_{io} \cdot \lambda_i \leq x_i$ • $\sum y_{ji} \cdot \lambda_i \geq \varphi \cdot y_{jo}$ • $\theta, \lambda_i \geq 0$ 						
Onde: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;">y =output ;</td> <td style="width: 50%; border: none;">u_0 =variável livre (restrição a sinal)</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">x =input ;</td> <td style="border: none;">θ, φ = medidas de eficiência e</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">u_j, v_i, λ_i = pesos ;</td> <td style="border: none;">ineficiência</td> </tr> </table>		y =output ;	u_0 =variável livre (restrição a sinal)	x =input ;	θ, φ = medidas de eficiência e	u_j, v_i, λ_i = pesos ;	ineficiência
y =output ;	u_0 =variável livre (restrição a sinal)						
x =input ;	θ, φ = medidas de eficiência e						
u_j, v_i, λ_i = pesos ;	ineficiência						

Fonte: adaptado de Peixoto(2016)

Nas equações do modelo DEA, a forma de multiplicadores (*dual*) define restrições de pesos buscando aprimorar a capacidade de produção da técnica. E a equação de envelopamento (*primal*), direciona na definição de metas revelando a cadeia de *benchmarking* para as DMU envolvidas (THANASSOULIS, PORTELA E DESPIC ,2008 *apud* PEIXOTO, 2016).

Por fim, o resultado da eficiência técnica pelo o modelo DEA, é expressado em percentual. Por ventura dos números estarem dentro de um limite correspondente de 0 a 1, pesquisadores complementam a análise de dados por uso de uma regressão linear para investigar as causas da eficiência. Para atender a esse limite é utilizado a regressão logística ou censurada (tobit), descrita a seguir.

2.4.2.2 Regressão Tobit

O modelo de regressão Tobit foi desenvolvido por James Tobin em 1958, e é também conhecido por regressão truncada ou censurada. Sua utilização é indicada quando o intervalo da variável dependente é restringido por algum motivo. Nessas condições uma regressão baseada no método dos quadrados ordinários (MQO), ao

qual busca o melhor ajuste da reta em prol dos resíduos, não resultaria em estimadores consistentes em virtude de que as observações da amostra estarem concentradas em um intervalo e não seriam representativas da população. Outrossim, a regressão por MQO necessita ignorar a natureza de censura da variável dependente, ou excluir os dados censurados da análise, o que limita a execução do método (AMEMIYA, 1984; CAMERON; TRIVEDI, 2009; WASHINGTON *et al*, 2011). Os valores observados podem assumir uma censura para à esquerda ou à direita do intervalo, logo a equação é especificada por uma variável latente (y^*), aonde a equação estrutural é dada por:

$$y_i^* = \beta \cdot X_i + \varepsilon \quad \text{Equação 5}$$

Onde beta (β) representa o vetor dos coeficientes aplicados nas variáveis independentes (X_i) em conjunto do valor preditivo da variável aleatória. Assim como o erro (ε) da equação, é retornado normalmente distribuído e variância constante. Já a variável independente (y), é a qual assume valores sobre o truncamento no seguinte método (GREENE, 2002 ; WASHINGTON *et al*, 2011):

$$y_i = \begin{cases} y_i^* & \text{se } y_i^* < y_i^c \\ y_i^c & \text{se } y_i^* \geq y_i^c \end{cases} \quad \text{Equação 6}$$

O valor da censura é representado por y^c , ou seja, é a determinação das restrições em que o limite da regressão tobit irá trabalhar. Caso a variável observada (y^*) retornar abaixo do limite configurado, seu valor será integro. Caso contrário, assumirá o valor censurado, determinado pelo limite censurado (y^c).

Estudos ao qual utilizara o método DEA para avaliar o grau de eficiência de um processo, seja de qual natureza for, costumam complementar suas análises utilizando a regressão logística, ou regressão tobit. Com o objetivo de investigar ou determinar influências ou causas da eficiência calculada. Estes tipos de regressão são utilizadas, dado que os resultados do DEA são situados em um limite de 0 a 1,0 (MACIEL; KHAN; ROCHA, 2018; LIU, ZHANG; FU, 2017; SARRA; MEZZOCCHITTI; RAPPOSELLI, 2016).

Salienta-se por fim que, segundo Greene (2002), na regressão censurada o poder de estimação é dado pelo valor da máxima verossimilhança, o qual assume uma função de densidade de probabilidade, indicando em números mais elevados uma consistência para o modelo. Em contraste ao método MQO, onde os resíduos da equação, dado pelo R^2 , apontam o poder explicativo do modelo.

2.4.2.3 Estudos de aplicação do modelo DEA

O uso do modelo DEA para avaliar o nível de sustentabilidade, principalmente no que tange a eficiência energética cresceu na literatura, especialmente a internacional, desde 2000 até a atualidade. O método não traz uma análise completa e profunda para mitigar todos os problemas dessa natureza, entretanto trata de um passo importante para a lidar com os problemas ambientais tanto para a perspectiva governamental, como na estratégia das organizações (SUEYOSHI; YUAN; GOTO, 2017). O mesmo autor relata sobre desvantagens da avaliação ambiental pelo uso de DEA, principalmente na inferência estatística, visto que se utiliza um método não paramétrico, e existe uma lacuna de pesquisas para averiguar a inferência dos dados para um erro em distribuição normal de dados.

Araújo Júnior, Nogueira e Shikida (2012) utilizaram a análise envoltória de dados para avaliar a eficiência técnica em relação ao faturamento de grandes construtoras brasileiras, a citar Queiroz Galvão, Odebrecht e Andrade Gutierrez. Para tal utilizaram como entrada (*inputs*) o número de funcionários qualificados e não qualificados, assim como a quantidade de equipamentos adquiridos, já o faturamento bruto entrou como variável de saída (*output*). Avaliaram que no período de 2005 a 2008, houve um decréscimo na eficiência média das construtoras, sendo que a mão de obra desqualificada é que mais contribuía para a ineficiência.

Xue *et al.* (2015) utilizaram a abordagem DEA e Malmquist para avaliar a eficiência energética de eletricidade e de carvão em 30 províncias chinesas, relacionadas com a produção da indústria da construção. As províncias foram consideradas como as DMU, as variáveis de entrada foram o consumo de energia elétrica e de carvão, e a de saída a produção em valor da indústria da construção, durante o período de 2004 a 2009. Os autores verificaram poucas províncias eficientes, sendo que a região oeste e nordeste apresentaram menores valores, o

que sinaliza a necessidade de medidas sustentáveis para a China no período avaliado.

De modo semelhante, Hu e Liu (2015) investigaram a eficiência da construção civil nos estados australianos entre 2001 a 2010. Processaram o DEA com retornos variáveis de escala (VRS), e como dados de entrada se considerou o número de empregados, o investimento no setor pela produtividade total dos fatores (PTF) e consumo de energia. Já nos dados de saídas, foi avaliado um *output* desejado que era o PIB da construção no período e um *output* indesejado que era as emissões de CO_{2eq}. Objetivando utilizar o DEA para avaliar a sustentabilidade ambiental e econômica dos estados.

Cui *et al.* (2014) analisaram, em nove países, as principais tendências e fatores que influenciam a eficiência energética dos países. Como dados de entrada, se avaliaram o número de empregados, consumo energético. Como dados de saída, os lucros das empresas dos setores de energia, e as emissões de CO₂ decorrentes. Como resultado do DEA, se verificou uma melhora no índice de eficiência em energia de 2010 a 2011, após um período de ineficiência. E com auxílio de modelo de regressão linear, os autores apontaram como os fatores que mais influenciam na sustentabilidade em energia de um país, como isenção de impostos em empresas de alta tecnologia, bem como o nível de tecnologia limpa empregada pelo país, evitando o uso de fontes não renováveis.

Por conclusão deste capítulo de fundamentação teórica, se percebe que o meio tradicional da execução das obras da construção civil, decorre sobre o executor ter responsabilidades para executar o projeto, quanto ao seu prazo, qualidade e custos. Todavia, o desafio do novo século está em equilibrar com os quesitos ambientais, entrando como um quarto elemento para ser atendido, apesar da tardia consciência ambiental por parte do setor da construção (OLIVEIRA, 2011). O que traz uma necessidade de uma visão mais sistêmica e com mais foco em uma gestão sustentável por parte dos profissionais e empresas, a fim de que as decisões em cada fase do projeto busquem atender a esse equilíbrio.

3 MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa teve como estratégia um estudo de caso múltiplo, já que o pesquisador busca por questões do tipo *como* e *por quê*, e também de que forma a pesquisa está focalizada em fenômenos contemporâneos os quais estão inseridos em algum contexto da vida real (YIN, 2015).

De acordo com Gil (2002), a estratégia de estudo de caso tem como objetivo explorar situações reais cujos limites não estão claramente delimitados, preservar o caráter unitário do objeto estudado e descrever a situação do contexto em que está sendo feita determinada investigação. Como também, elaborar hipóteses para explicar as variáveis causais de determinado fenômeno em situações que não possibilitam a utilização de experimentos. Por fim, Schramm(1971) comenta que um estudo de caso é que ele tenta esclarecer uma decisão ou um conjunto de decisões: o motivo pelo qual foram tomadas, como foram implementadas e com quais resultados.

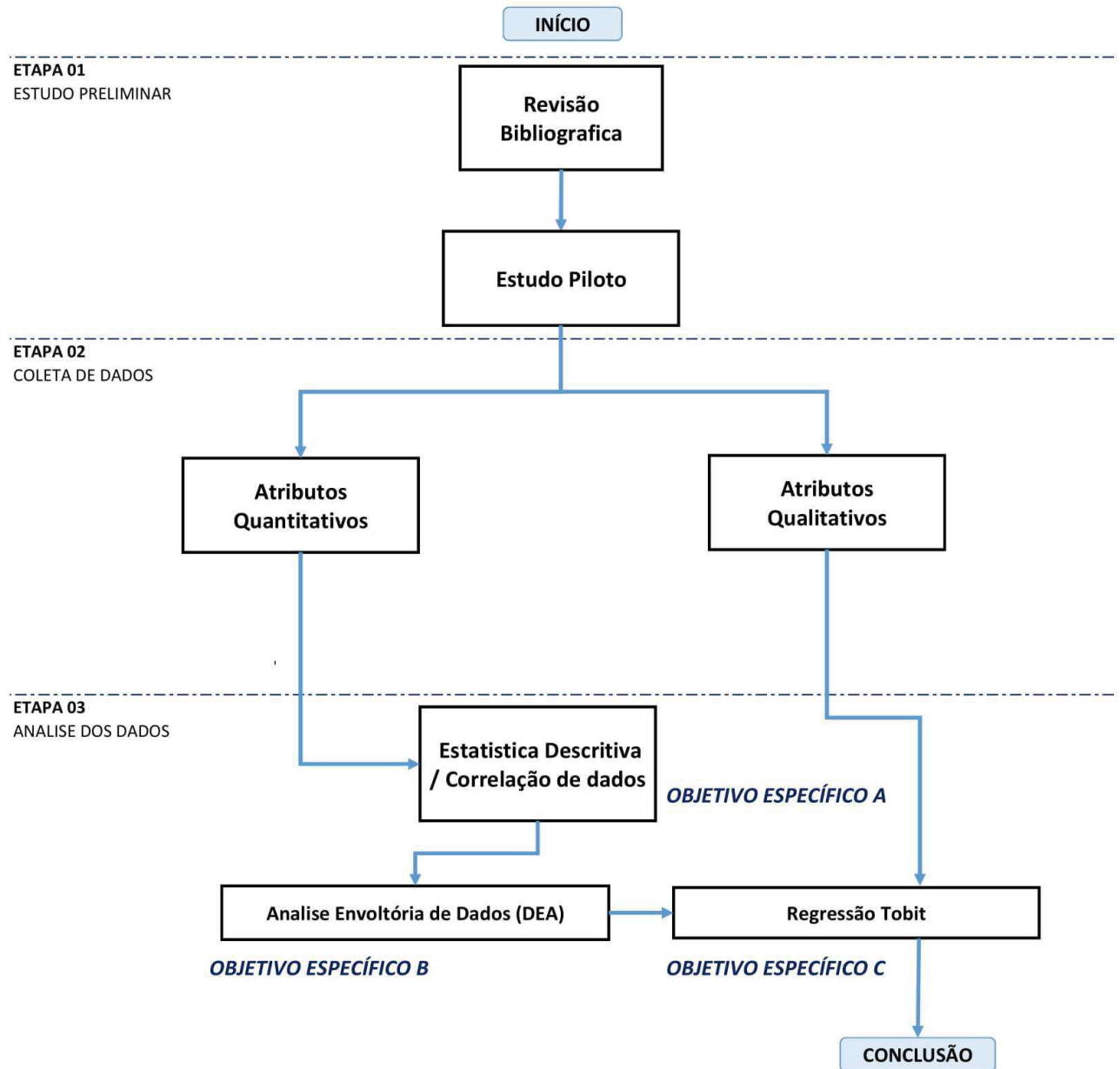
Desta forma, o estudo do comportamento no consumo de água, energia elétrica e geração de resíduos atuam como os objetos principais nestes estudos de caso. Sob delimitação em obras de edificações de múltiplos pavimentos, localizadas na região metropolitana de Porto Alegre, RS. A fim de evitar uma dispersão nos dados, tais edificações foram delimitadas em estrutura de concreto armado usinado, bombeado e moldado *in loco*, pois remete a uma construção tradicional no território brasileiro.

Para obter uma análise completa dos dados, a pesquisa se limitou predominantemente em obras onde o ciclo de construção esteve concluído por parte da construtora. Destaca que os dados são oriundos apenas da etapa de construção, em exclusivo. Também foram aceitos os dados em obras quase concluídas, em que a fase de supra estrutura, revestimentos internos e externos estavam completados. Justifica-se esta escolha por tratarem-se de etapas construtivas que corroboram significativamente na geração de resíduos e consumo de água e energia (CAETANO; SELBACH; GOMES, 2016).

3.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

A segmentação do trabalho deu-se em 3 etapas. A figura 13 apresenta o delineamento experimental proposto:

Figura 13- Delineamento Experimental



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

O método será desenvolvido em três etapas, conforme foi apresentado no delineamento da pesquisa, sendo detalhados a seguir.

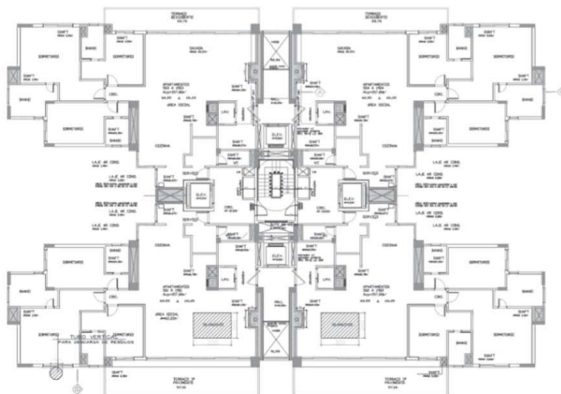
3.2.1 Etapa 01 - Estudo Preliminar

A primeira etapa da pesquisa referiu-se a um estudo preliminar, de modo a formalizar o método de pesquisa tomando como base a revisão bibliográfica e o estudo piloto. A revisão da literatura teve por finalidade conhecer e analisar as principais contribuições teóricas existente sobre o assunto de pesquisa, auxiliando na identificação de resultados e métodos aplicados em estudos similares. A revisão literária também apoia a estruturação de conceitos e pela fundamentação teórica (KÖCHE, 2011).

Em sequência, com intuito de antecipar a segunda etapa do delineamento de pesquisa, se realizou um estudo piloto. Por definição se trata de um teste em pequena escala para validar o procedimento, materiais e método da pesquisa principal, sendo uma etapa aonde é possível identificar possíveis problemas, antever resultados e aprimorar o método a ser abordado (MACKEY; GASS, 2005). Deste modo, o estudo piloto foi aplicado a uma empresa incorporadora, denominada neste estudo por empresa “A”, que atua no mercado imobiliário de Porto Alegre, desde o ano 2000, com 12 empreendimentos construídos até o ano de 2019. Há 15 anos que a empresa é certificada pelo selo de Qualidade ISO 9.001 e no PBQP-h.

A obra escolhida correspondeu a um edifício residencial, a qual teve sua conclusão no ano de 2017, com total de 23.411 m² construídos, 19 pavimentos em concreto armado e vedação em alvenaria de blocos cerâmicos. A planta baixa do pavimento tipo possui uma área de 931,7 m² em um perfil arquitetônico em forma de “H”, conforme ilustra a figura 15.

Figura 14-Planta Baixa da obra do Estudo Piloto



Fonte: Empresa A (2018).

O processo de estudo piloto teve auxílio no aprimoramento para a etapa de coleta de dados, principalmente na elaboração dos questionamentos para as entrevistas com os gestores. Como nos meios da obtenção dos dados, visto que cada empresa tem seus próprios métodos de controle e organização dos indicadores. E percebeu-se que por serem dados pouco controlado pelas construtoras, se recorreu de obtê-los também por meio do banco de dados das concessionárias de energia e água municipal, já os resíduos era parte do controle da construtora ou da empresa terceirizada que transportava os resíduos de caçamba. Como resumo do estudo piloto, a tabela 4 apresenta a estatística descritiva das variáveis coletadas.

Tabela 4- Estatística Descritiva do Estudo Piloto

Descrição	Energia (kWh)	Água (m³)	RCD (m³)
n	46 meses	46 meses	46 meses
Média	4.619,33	147,4	42,3
Mediana	4.879,00	148,0	28,0
Desvio-padrão	2.951,49	105,0	53,0
Coef. Variação	63,9%	71,2%	125,1%
Mínimo	1.235,38	0,0	0,0
Máximo	13.817,00	506,0	250,0
Soma	226.347,08	7.222,00	2.074,00
Índice/m ²	9,67	0,31	0,09

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como resultado preliminar do estudo piloto, se verificou os indicadores do consumo total de cada recurso pela área total construída. Também se verificou o espaçamento na geração dos resíduos, que foi refletido em um alto coeficiente de variação, visto que em muitos meses havia uma baixa geração. Em suma, o objetivo do estudo piloto foi em antecipar os procedimentos para facilitar a coleta de dados na etapa seguinte. A discussão destes resultados é realizada no capítulo de resultados, já que a obra piloto também fez parte dos estudos de casos.

3.2.2 Etapa 02 – Coleta de Dados

Após os ajustes e a validação do método pelo estudo piloto, a segunda etapa se encarregou de coletar os dados em campo. O levantamento das empresas neste estudo de caso, se decorreu por meio de contatos pessoais do pesquisador, de

modo a enviar o convite de participação. Sobre 15 contatos de empresas, 9 se propuseram a participar da pesquisa, disponibilizando os empreendimentos, conforme os requisitos iniciais. A tabela 5 demonstra as características das empresas e suas respectivas obras.

Tabela 5- Características das obras de estudo

Obra	Empresa	Tempo Atuação	Obra	Num. Torres	Área total construída (m ²)	Tipo edificação
1	A	20 anos	1a	1	23.411,0	Residencial
2			2a	1	9.636,0	Comercial
3			3a	1	14.017,0	Residencial
4	B	37 anos	4b	1	7.799,8	Residencial
5			5b	1	8.668,7	Comercial
6			6b	1	6.058,9	Residencial
7	C	8 anos (fusão)	7c	3	34.232,7	Residencial
8			8c	4	67.519,1	Residencial
9	D	40 anos	9d	2	18.724,6	Multiuso
10	E	19 anos	10e	2	16.657,6	Multiuso
11	F	21 anos	11f	1	7.739,3	Comercial
12			12f	3	10.400,0	Residencial
13			13f	2	16.966,7	Residencial
14	G	50 anos	14g	1	9.279,5	Residencial
15	H	10 anos	15h	1	5.670,0	Residencial
16	I	30 anos	16i	2	24.231,26	Residencial

Fonte: Elaborada pelo autor.

A amostra de caráter não probabilístico, foi constituída de 16 empreendimentos em sua maioria residenciais, variando de projetos desde áreas menores que dez mil metros quadrados, até projetos mais robustos com três ou quatro torres, com mais de 30 mil metros quadrados.

Para cada obra da amostra se realizou uma entrevista com um gestor, na maior parte se tratava com o engenheiro residente, de modo a obter os atributos qualitativos do projeto. Já os quantitativos, esses foram obtidos por meio dos documentos solicitados à empresa participante. Isso com finalidade de compilar essas informações em um banco de dados necessário para a realização da análise destes, na etapa 03. A seguir se detalha sobre os atributos quantitativos e qualitativos da etapa de coleta de dados.

3.2.2.1 Atributos Quantitativos

Para cada obra foi solicitado documentos e planilhas específicos, com intenção de obter as variáveis quantitativas de estudo que se resumem nas características de projeto, tempo de construção, consumo de água e energia e geração de resíduos. Os documentos analisados bem como os dados extraídos estão discriminados na tabela 6.

Tabela 6- Informativo dos dados coletados

Documento	Dados
Projeto Arquitetônico (<i>Planta de Situação e Localização, Planta baixa tipo e Corte</i>)	Área total construída <i>Layout</i> arquitetônico e fachada Índice Econômico de Compacidade (IeC) Área do pavimento tipo Paredes internas e percentual de <i>drywall</i> Número de pavimentos
Planilha de controle de resíduos (construtora)	Volume de Resíduos, em m ³ Classe CONAMA 307
Conta de concessionária / planilha de controle	Consumo mensal de água, em m ³ Consumo mensal de energia, em kWh
Cronograma e planilhas	Número de operários Etapas construtivas e tempo de obra

Fonte: Elaborada pelo autor.

Sobre os dados extraídos do projeto arquitetônico, salienta-se que a área do pavimento tipo, assim como seu perímetro foram medidas por conceito da área real do pavimento, conforme NBR12.721:2007. Isto é, foi agrupado no cálculo de área qualquer elemento como paredes internas, pilares e *shafts*. Quanto a área total construída, a informação foi extraída da tabela de áreas computadas, em conformidade ao projeto aprovado na prefeitura municipal do empreendimento.

O índice econômico de compacidade, reflete o grau de custo conforme condições geométricas da edificação, e é expressado pela equação 07:

$$IeC = \frac{\sqrt{A_p \cdot \pi}}{Pep} \times 100 \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

- leC = índice econômico de Compacidade
- Ap = Área de superfície do projeto
- Pep =perímetro econômico, vide equação 07

$$Pep = Ppr + 1,5Ppc + \frac{nA}{2} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

- Ppr = perímetro das paredes exteriores retas
- Ppc = perímetro das paredes exteriores curvas
- nA =número de arestas das fachadas

Salienta-se que nos casos de projetos com mais de uma torre, foi realizado uma média ponderada, sob peso da área tipo de cada torre multiplicado pelo número de pavimentos que essa torre obteve. Quanto ao que compete as paredes internas do pavimento tipo, se recorre a distância linear destes elementos, sem computar as paredes de vedação que se situam nas extremidades do pavimento. E em relação ao percentual de paredes de gesso acartonado (*drywall*), ou similar, trata-se de uma relação percentual, conforme a equação.

$$\% \text{ drywall} = \frac{d_{ga}}{d_{total}} \times 100 \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

- d_{ga} = distancia linear de paredes em gesso acartonado, ou similar
- d_{total} = distancia total das paredes internas

Quanto ao quesito de geração de resíduos, a informação foi proveniente das caçambas de resíduos, as quais são registradas pelo Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) e são obrigadas pelo Decreto 18.705 da Prefeitura municipal de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2014). Além da informação do volume de resíduos, o MTR informa a classe da resolução 307 da CONAMA, o local de coleta, a transportadora e a disposição final dos resíduos.

3.2.2.2 Atributos Qualitativos

A entrevista, detalhada no apêndice A, teve como objetivo verificar as práticas de gerenciamento da construtora em seus canteiros de obras, que podem ter influência no resultado das variáveis de saída. A ferramenta online *street view* desenvolvida pelo Google, foi utilizada para confirmação e apoio nesta coleta de informações. Por se tratar de variáveis qualitativas, as informações da etapa de entrevista necessitaram serem convertidas em números, de modo a operar estatisticamente na regressão linear.

Portanto, foi criado um agrupamento em três classes de natureza ordinal, que abrangem o *padrão construtivo*, o *sistema produtivo* da obra e o *sistema de gestão*, conforme detalhados a seguir:

- Padrão construtivo do empreendimento:

Para classificar o padrão construtivo dos empreendimentos empregou-se os critérios implementados pela NBR 12.721 (ABNT, 2007). Tal classificação toma como consideração o *layout* arquitetônico das unidades privativas, bem como a infraestrutura condominial de um projeto padrão descrito na referida norma. Sob condições de aplicar ao modelo da pesquisa, essa classificação decorre de uma ordem de 1 a 5

- a) Classe 1, Padrão Baixo: Empreendimento mais de quatro apartamentos por andar tipo, sendo o apartamento com dois quartos, um banheiro, sala e cozinha, e 1 vaga de estacionamento. Infraestrutura condominial básica;
- b) Classe 2, Padrão Baixo-Normal: Empreendimento com quatro apartamentos por andar, dois quartos, ou uma suíte, um banheiro, sala e cozinha. 1 vaga de estacionamento. Infraestrutura condominial básica, com um salão de festas e áreas de lazer modesta;
- c) Classe 3, Padrão Normal: Empreendimento com quatro apartamentos por andar, três quartos sendo um suíte, dois banheiros, sala, cozinha e área de

serviços. Infraestrutura condominial modesta, com sistemas centralizados e 2 vagas de estacionamento por apartamento;

- d) Classe 4, Padrão Normal-Alto: Empreendimento com dois ou quatro apartamentos por andar, com três suítes, sala, cozinha. 2 ou 3 vagas de estacionamento. Infraestrutura condominial estruturada com áreas de lazer, piscinas, jogos e demais espaços;
- e) Classe 5, Padrão Alto: Empreendimento com um ou dois apartamentos por andar, três suítes ou mais, espaços amplos em sala, cozinha e área de serviços. 3 ou mais vagas de estacionamento. Infraestrutura condominial completa com robustez arquitetônica, e múltiplos espaços de lazer.

- Classe de produção:

As obras de construção civil tradicionalmente operam com um estilo artesanal, para avaliar o sistema de produção foi atribuído uma condição ordinal de 1 a 5. Considerando o investimento em padronização e industrialização, aplicados ao mercado local dos estudos de caso. A valor atribuído considera uma média aritmética sobre os critérios a seguir:

- a) Construção à seco: Considera o uso de técnicas de construção à seco no projeto, a exemplo de paredes divisória em gesso acartonado (*drywall*). O valor atribuído é em base ao percentual de uso desse sistema em relação ao comprimento total de paredes internas do pavimento tipo. O valor de 1 a 5 é concedido conforme os quintis da distribuição ordenada.
- b) Sistema de revestimento: O valor 1 e 2 é atribuído à sistemas de revestimentos preparados no local, como argamassa ensacada ou gesso convencional e fachada em pintura ou monocapa. O valor 3 é atribuído em sistemas moderadamente industrializados, como argamassa estabilizada, forro de gesso acartonado e fachadas em placas cerâmicas. E os valores 4 e 5 são concedidos a obras que utilizam meios industrializados e

modulados, como fachadas em pedra ornamental (não aderida), ACM (Material composto de alumínio) ou pele de vidro, em predominância.

- c) Equipamentos: Valores de 1 e 2 são atribuídos em obras que utilizam bandejas como proteção, sistemas de elevação manuais, sem elevadores de obra. Valor 3 é atribuído em obras que utilizam dispositivos elevatórios elétricos, elevadores cremalheira cabine simples e andaimes fachadeiros. Já valores 4 e 5 são atribuídos com obras com uso de mini guas ou guas, cremalheiras cabine simples, dupla ou mais de um elevador, e sistemas de segurança como fachadeiro ou redes de segurança.

a) Classe de gestão

Essa classificação considera as questões de organização e qualidade de gestão por parte da empresa na obra em específico. Uma condição ordinal de 1 a 5 foi atribuído considerando a média entre os critérios a seguir:

- a) Organização do canteiro: Devido as obras da amostra estarem concluídas, ou quase concluídas, a organização foi avaliada conforme a percepção geral do gestor, sendo um valor de 1 a 5. Ademais, foi considerado complementar a frequência que ocorriam eventos de organização e conscientização com os operários, configuração do *layout* de canteiro, e condição das instalações provisórias (madeira, contêineres ou casas/empresa especializada).
- b) Equipe e gerenciamento: O valor atribuído se eleva, considerando o número de colaboradores por parte da construtora envolvidos na obra, como gerentes, engenheiros, estagiários, técnicos, administrativos e mestres de obra. Em adição, verificou se a gestão da obra utilizou ferramentas de qualidade como *KanBan*, *Just in Time*, PDCA. E se a empresa possui um departamento especializado em planejamento, como também um sistema informatizado em gestão.

- c) Certificação e qualidade: O valor atribuído se eleva em ordem de 1 a 5, considerando se a empresa possui um departamento específico de qualidade, como também se a empresa é certificada por selos nesta ordem: ISO 9.001, PBQP-h, ISO 14.001 e selos de sustentabilidade, a exemplo do LEED.

Salienta-se também que cada construtora tem seus métodos de controle de indicadores, bem como cada empreendimento apresentam suas características arquitetônicas peculiares, que compõem o aspecto heterogêneo do mercado imobiliário. Antevendo a terceira etapa foi preciso converter os dados coletados em quantitativos elaborados pelo pesquisador, de modo a processar os mesmos para a etapa final de tratamento dos dados e conclusão da pesquisa.

3.2.3 Etapa 03 - Análise dos dados

A última etapa da pesquisa se encarregou de tratar os dados coletados, descreve-los e comentar as observações da amostra. E por último passo discutir os resultados e concluir a pesquisa. A seguir se detalha esta terceira etapa.

3.2.3.1 Estatística descritiva e comportamento por uma obra modelo

A primeira análise dos dados corresponde a estatística descritiva, que além de descrever a amostra, apresenta a média, mediana, desvio padrão e *outliers* das variáveis. Nesta análise se verifica o desempenho médio, por meio do indicador relacionado à área total construída. Em consumo de energia, trata-se do kWh/m², já para a geração de resíduos e consumo hídrico, o indicador é m³/m².

De modo a analisar o comportamento desses indicadores durante a etapa construtiva, se projetou uma correlação com o cronograma físico das obras. Para tal, com base na amostra coletada se projetou uma obra modelo considerando a média da área total construída, tempo de construção, total de pavimentos e padrão construtivo. O quadro 5 demonstra a compilação dos indicadores na obra modelo.

Quadro 6 - Constituição da obra modelo

Segmento [1]	Indicador médio			Etapa correspondente [5]
	Água [2]	Energia [3]	RCD [4]	
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Fonte: elaborado pelo autor.

O tempo de obra foi segmentado em seis períodos [1] para projetar a evolução do indicador. Para cada 1/6 do tempo das obras, se obtém a média e desvio padrão do indicador para consumo de água [2], energia [3] e geração de resíduos [4], correlacionado com as etapas construtivas correspondente [5]. Tais etapas são de natureza macro sobre uma obra convencional, como: fundações e escavações, supra-estrutura, paredes de vedação, instalações base (água, elétrica, rede de gás e demais), revestimento interno, revestimento externo e acabamentos.

Em sequência, para atender aos objetivos específicos “b” e “c” desta pesquisa, que é avaliar a eficiência técnica dos aspectos ambientais das obras, e os fatores de influência, é descrito a seguir o modelo DEA e regressão linear censurada. O qual foi o modelo utilizado para mensurar e discutir o desempenho ambiental.

3.2.3.2 Análise Envoltória de Dados (DEA)

O modelo DEA toma como base o conjunto de dados coletados em distintas firmas ou organizações, o que serão descritos como as unidades de decisão (DMU). A aplicação do DEA é capaz de identificar as causas e a dimensão das ineficiências relativas de cada DMU estudada. Para implementar um problema que envolva DEA são necessárias três etapas (MEZA,1998): (a) definição e seleção das DMU, (b) seleção das variáveis de entrada e saída, (c) escolha e aplicação do modelo. Com intuito de resumir, a tabela 7 apresenta os critérios que foram utilizadas nessa pesquisa.

Tabela 7- Critérios metodológicos do DEA

DMU	Modelo	Inputs	Outputs
Canteiros de Obras a 16i)	(1a	Orientação <i>input</i>	Área do empreendimento (m ²)
		Retorno Variável de Escala (VRS)	IeC(%)
		Consumo Hídrico (m ³)	
		Consumo Energético (kWh)	
		Geração de RCD (m ³)	

Fonte: elaborada pelo autor.

No presente estudo, os canteiros de obras são as DMU, conforme as disponibilizadas pelas empresas participantes (Tabela 5). O modelo de DEA será orientado ao *input*, isso significa que se manterá constantes as variáveis dos projetos de cada obra. E como objetivo se buscou analisar a eficiência técnica por meio da minimização os insumos, ou *inputs*, que são os consumos de recursos hídricos, energéticos e a geração de RCD. Como fronteira de eficiência se utilizou a tipo VRS, pois é indicado quando as empresas não operam em escala ótima. Isso é quando regulamentações, fiscalizações, limitações financeiras e imperfeição competitiva são evidenciadas na prática empresarial (ISHIZAKA; NEMERY, 2013). Para o cálculo e análise dos dados, foi utilizado o software *DEA FrontierTM*, o qual atua como suplemento do *Microsoft Excel*. Neste software a função *solver* traz como retorno as variáveis otimizadas.

Como resultado, o modelo DEA retorna com valores percentuais, indicando que as DMU em 100% se encontram na isoquantas, e são ditas de eficiência. Já as DMU que situam com valores menores que 100%, são ditas ineficientes. Com isso o modelo traz uma relação de comparação, e apontamento das obras de referência (*benchmarks*).

3.2.3.3 Regressão linearcensurada (Tobit)

Após a análise DEA, aonde se verifica quais canteiros de obras são ineficientes e quais são os *benchmarks*, se investigou quais elementos qualitativos explicaram essa ineficiência, por meio de uma regressão linear censurada, ou Tobit. A justificativa do uso do modelo censurado, é dado que a variável dependente (*y*) está limitada entre valores de 0,0 até 1,0, devido ao resultado do modelo DEA. Um

modelo tradicional baseado no método dos quadrados ordinários (MQO), corre-se um risco de os estimadores da regressão serem inconsistentes, em virtude de as observações estarem concentradas em um intervalo restrito. Por assim, o modelo de regressão tobit a variável dependente (y^*) é orientada para valores inferiores a 1,0 e que valores acima desse patamar serão censurados (Equação 6).

$$y_i = \begin{cases} y^* & \text{se } y_i^* < 1 \\ 1 & \text{se } y_i^* \geq 1 \end{cases} \quad \text{Eq}$$

Para tal configuração, a regressão adota como variável dependente o resultado da eficiência técnica obtido pelo DEA (y_i), e como as variáveis independentes se trata dos atributos qualitativos apontados no item 3.2.2.2. Portanto o padrão construtivo (X_1), classe de produção (X_2) e a classe de gestão (X_3), sendo os coeficientes de estimação (β_i) e erro calculado (ε), resultados retornados pelo modelo. Logo, a função da regressão Tobit é dado pela Equação 10

$$y_i = \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \beta_3 \cdot X_3 + \varepsilon \quad \text{Equação 10}$$

Salienta-se que para os cálculos e procedimentos estatísticos apresentados nesse capítulo, foi utilizado o software STATA IC, versão 15.1.

4 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados da coleta de dados e análise, vide etapas 2 e 3. Em primeira instância trata-se de uma descrição dos fatos observados no que tange ao consumo de energia, água e geração de resíduos, em base à amostra levantada. Em sequência há a aplicação do modelo DEA, de modo a averiguar a eficiência técnica de cada obra, como aspecto comparativo. Por fim, vide à regressão censurada (Tobit), se avalia os fatores que explicam a eficiência calculada, para assim concluir a pesquisa.

4.1 APRESENTAÇÃO DA AMOSTRA

O estudo se delimitou em empreendimentos de concreto armado e voltado a construtoras tradicionais na região de metropolitana de Porto Alegre. Apesar de ser um mercado tradicional, a construção imobiliária apresenta variáveis, tanto no aspecto do projeto, o que implica as suas dimensões e arquitetura, como também na fase de execução, o que se entende pelo nível de organização e tecnologia incorporada. A tabela 8 apresenta as informações de projeto, organizado em ordem decrescente da área construída. Apresenta o *layout* arquitetônico, o padrão construtivo (item 0), área tipo, número de pavimentos, leC (Equação 7) e o percentual do uso de alvenaria e paredes em *drywall* no pavimento tipo (Equação 9).

Tabela 8- Variáveis de projeto







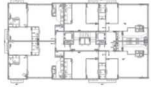
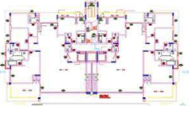


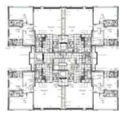





Obra	Layout	Área total construída [m ²]	Padrão Construtivo	Área Tipo [m ²]	Pavs.	leC	Alvenaria [m] ; (%)	Drywall [m] ; (%)
8c		67.519,10	Baixo	974,1	16	34,3%	200,7 (38,4%)	321,9 (61,6%)
7c		34.232,69	Normal	680,8	17	63,7%	187,7 (55,8%)	148,7 (44,2%)
16i		24.231,26	Normal-alto	533,4	17	44,9%	297,7 (100%)	0,0 (0%)
1a		23.411,00	Normal-Alto	927,1	22	41,2%	192,7 (100%)	0,0 (0%)

Tabela 8 - Variáveis de projeto (continuação)

Obra	Layout	Área total construída [m ²]	Padrão Construtivo	Area Tipo [m ²]	Pavs.	Iec	Alvenaria [m] ; (%)	Drywall [m] ; (%)
9d		18.724,55	Normal-alto	662,9	19	60,5%	130,4 (45,1%)	158,8 (54,9%)
13f		16.966,72	Baixo-Normal	742,5	11	52,2%	257,7 (58%)	186,6 (42%)
10e		16.657,63	Normal	585,4	12	65,8%	106,1 (42,7%)	142,4 (57,3%)
3a		14.075,00	Alto	631,0	21	36,5%	251,9 (100%)	0,0 (0%)
12f		10.295,96	Alto	450,0	8	39,0%	199,93 (100%)	0,0 (0%)
2a		9.636,10	Normal	686,0	12	59,0%	163,5 (71%)	67,7 (29%)
14g		9.279,49	Normal	549,8	14	58,9%	110,3 (39,3%)	170,3 (60,7%)
5b		8.688,70	Normal-alto	292,5	19	46,7%	134,2 (63,9%)	75,8 (36,1%)
4b		7.799,80	Normal	332,5	19	69,0%	119,8 (62,2%)	72,8 (37,8%)
11f		7.739,25	Normal	404,8	14	35,0%	157,8 (50,2%)	156,4 (49,8%)
6b		6.058,93	Normal	361,8	14	33,2%	79,00 (47%)	89,1 (53%)
15h		5.670,00	Baixo-Normal	367,0	10	64,0%	191,9 (85%)	33,9 (15%)

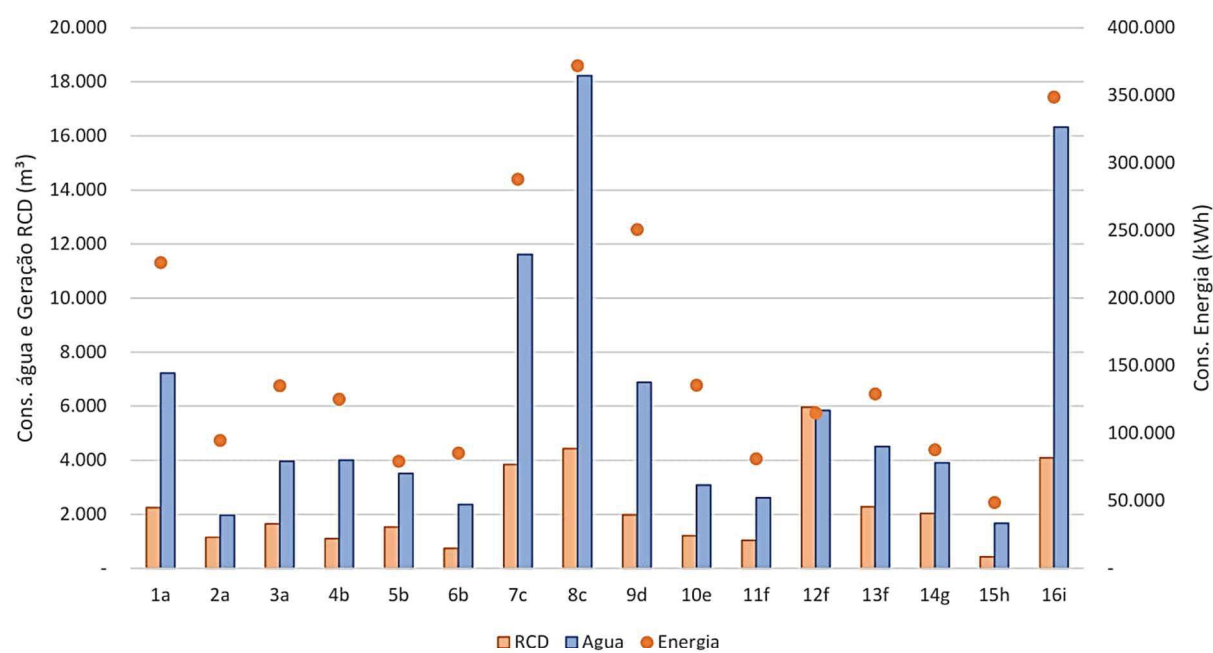
Fonte: elaborada pelo autor.

As variáveis de projeto, implicam diretamente na complexidade da construção, exigindo trabalho e habilidade no gerenciamento da obra. Refletem não apenas as dimensões da obra, mas o seu formato do *layout*, numericamente representado pelo leC, bem como o detalhamento arquitetônico do projeto. Logo, a amostra varia desde edificações com volume construído elevado, como no caso da 7c e 8c, até obras mais convencionais como a 15h e 14g. Assim como o padrão construtivo, que engloba o número de unidades, infraestrutura condominial e nível de detalhamento arquitetônico, para cada empreendimento. Em maneira global, são aspectos peculiares de cada projeto que possam implicar em resultados distintos para as variáveis da pesquisa.

4.2 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Este capítulo apresenta e detalha o desempenho das variáveis de estudo, que são evidenciadas pela geração de resíduos e consumo de água e energia. Os resultados são abordados na figura 15 em valores totais, sendo metro cúbico para consumo de água e geração de resíduos e quilowatt-hora para o consumo de energia. Na mesma imagem, se compila esses módulos na relação com a área total construída, obtendo assim o indicador individual por metro quadrado, que são apresentados em resumo na parte inferior do gráfico. Em destaque verde são apontados os indicadores de menor valor da amostra, já em vermelho o indicador de maior consumo por metro quadrado.

Figura 15 - Consumo de Água, Energia e Geração de RCD



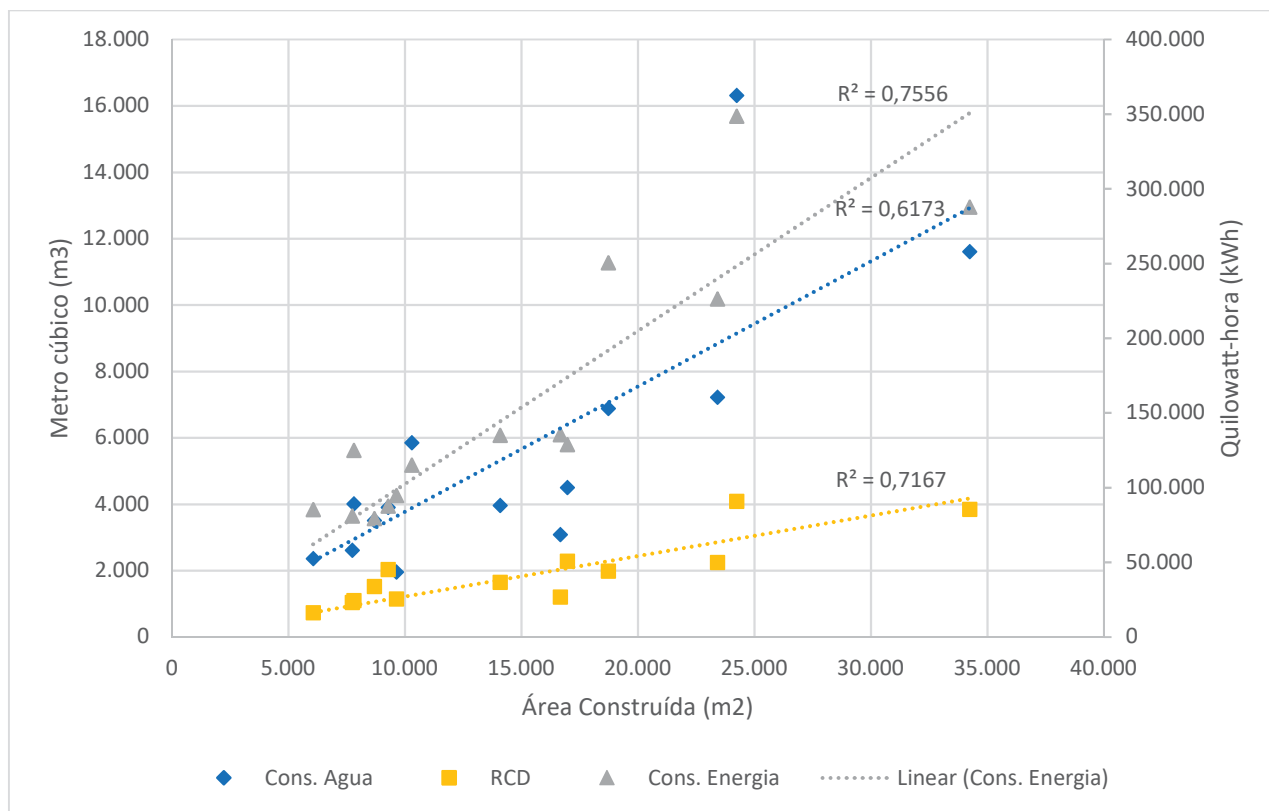
Indicadores por área construída																
	1a	2a	3a	4b	5b	6b	7c	8c	9d	10e	11f	12f	13f	14g	15h	16i
Água (m ³ /m ²)	0,31	0,20	0,28	0,51	0,40	0,39	0,34	0,27	0,37	0,19	0,34	0,57	0,27	0,42	0,37	0,67
Energia (kWh/m ²)	9,67	9,83	9,60	16,04	9,13	14,09	8,41	5,51	13,38	8,14	10,46	11,17	7,60	9,45	10,91	14,40
RCD (m ³ /m ²)	0,10	0,12	0,12	0,14	0,18	0,12	0,11	0,07	0,11	0,07	0,13	0,58	0,13	0,22	0,10	0,17

Fonte: elaborado pelo autor

O indicador por metro quadrado, trata-se de um estimador básico para o desempenho ambiental, pois é percebido que os maiores consumos totais são contemplados em obras de elevada área construída, a exemplo da obra 7c e 8c. Portanto o indicador traz uma equivalência, de modo a facilitar a comparação. A obra 15h, foi a de menor área construída e com os menores valores nas variáveis de estudo, porém o seu indicador por área se comportou com um desempenho médio. Portanto é um estimador de aproximação, visto em áreas muito elevadas, como a 8c, o indicador tende a ser diminuto. Algumas peculiaridades foram observadas, a exemplo da obra 12f, que se trata de um residencial e de alto padrão construtivo. E por influência disto, houve uma geração elevada de RCD, dado ao fato de retrabalhos pela personalização dos apartamentos, este empreendimento também teve o maior indicador de consumo de resíduos, em 0,58m³/m.

Sob evidência da área total construída com os consumos hídricos, energéticos e na geração de resíduos, a figura 16 apresenta a linha de tendência da amostra. Com exclusão dos *outliers* 8c e 15h, de modo a verificar a relação área e variáveis.

Figura 16 - Relação da área total com variáveis de estudo



Fonte: elaborado pelo autor

A variável consumo de energia, apresentou dados mais consistentes em função da área construída, com R^2 de 75,5%. Não muito distante a geração de resíduos, com o R^2 de 71,6%. Já o consumo de água, se desempenhou com um R^2 de 61,6%, demonstrando uma menor consistência dos dados em função da área total construída, entre as variáveis de estudo. Em visão geral, a área construída tem uma relação importante com os indicadores de desempenho ambiental avaliados.

4.2.1 Comportamento dos indicadores em relação ao avanço físico

Sobre a amostra das 16 obras coletadas, a tabela 9 apresenta a estatística descritiva de cada variável a ser testada e analisada.

Tabela 9- Estatística Descritiva da amostra de estudo

Variáveis	n	Mínimo	Máximo	Média	Desv. Pad	Coef. Variação	Média (Sem outlier)
Área	16	4.458,75	67.519,10	17.485,93	15.547,04	89%	12.715,94
Pavimentos	16	9	22	15	3,98	26%	15
Tempo de obra	16	20	57	36,9	9,4	26%	37
IeC	16	33,2%	70,0%	51,8%	12,8%	25%	51,8%
Área Tipo	16	292,5	974,12	587,47	201,07	34%	587,47
Pico Operários	16	30	220	94	48	51%	94
Padrão Constr.	16	1	5	3,3	1,1	33%	3,3
Classe Produção	16	2	5	3,5	0,8	23%	3,5
Classe Gestão	16	2	5	3,6	0,96	27%	3,6
Consumo de água	16	1.670,66	18.231,10	6.108,29	5.025,66	82%	3.966,66
Indicador água	16	0,19	0,64	0,37	0,13	35%	0,35
Consumo de Energia	16	48.629,00	371.947,40	162.615,06	101.649,58	63%	162.615
Indicador Energia	16	5,51	16,04	10,5	2,78	26%	10,5
Geração Resíduo	16	430,00	5.960,00	2.234,36	1.552,32	69%	2.234,36
Indicador RCD	16	0,07	0,58	0,15	0,12	78%	0,12

Fonte: Elaborada pelo autor.

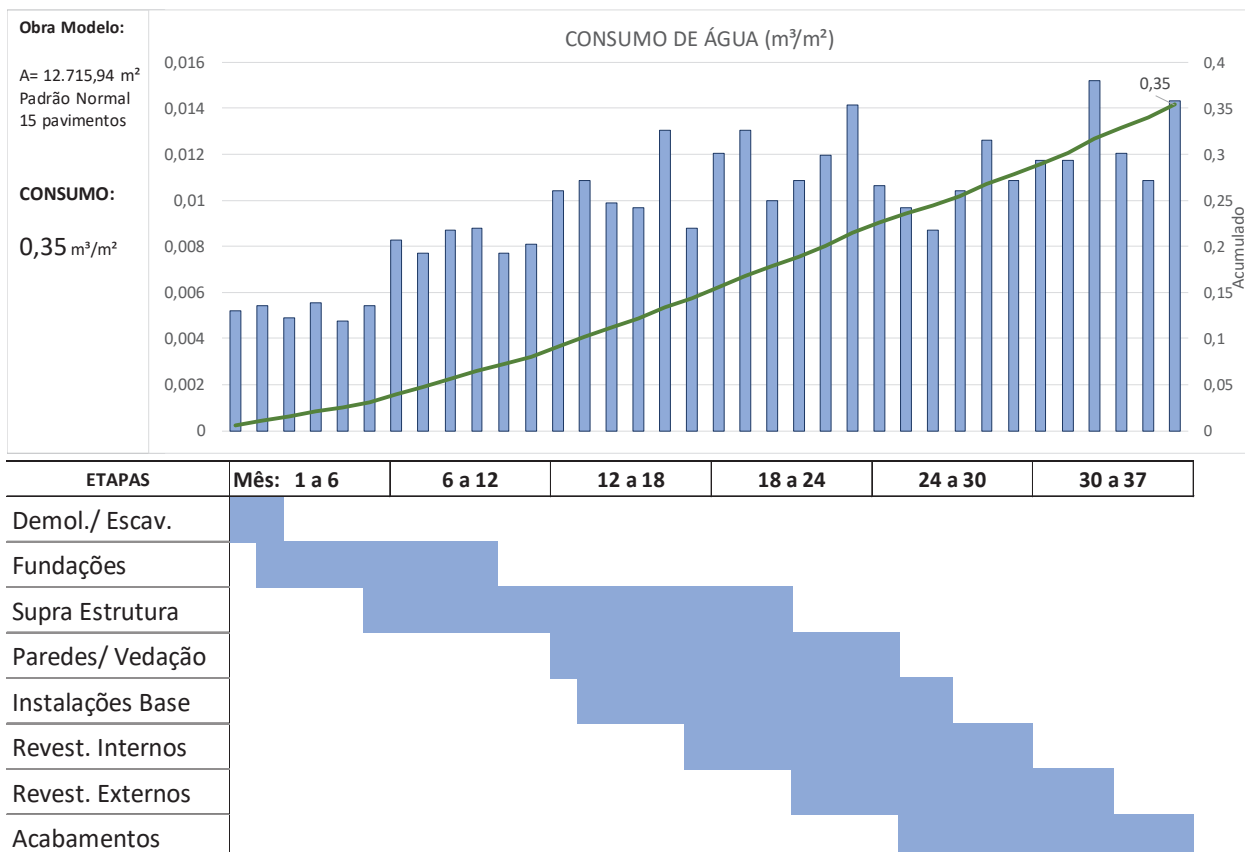
De modo a analisar o comportamento das variáveis de estudo durante a construção da edificação, se projetou uma obra modelo, com base nos dados destacados em azul na coluna “média sem *outlier*”. Portanto nesta obra modelo, se trata de um empreendimento de 15 pavimentos, 12.715,94 m² construídos, em um período de 37 meses e um padrão construtivo em nível 3,3 que representa um padrão normal. Conforme descrito na sessão 3.2.3.1, as fases construtivas foram segmentadas em 6 períodos, logo cada sessão representa com aproximadamente 6 meses. Em cada período se projetou o indicador médio, dos resultados de cada obra da amostra. Projetando um acumulado para o consumo de água, energia e geração de RCD, os respectivos valores: 0,35 m³/m², 10,50 kWh/m² e 0,12m³/m².

Esses indicadores foram correlacionados com as etapas macros de um cronograma físico tradicional de uma construção de edificação de concreto armado. Tais etapas englobam:

- a) Fundações: Estacas, Blocos e contrapiso;
- b) Supra-estrutura: Pilares, Vigas, Lajes e impermeabilizações;
- c) Paredes de Vedação: Alvenaria e Gesso acartonado;
- d) Instalações Base: Água, esgoto, elétrica, gás, ar condicionado e exaustão;
- e) Revestimento Interno: Reboco, Azulejos e Piso cerâmicos;
- f) Revestimento Externo: Reboco externo, pedras, ACM e pastilhas;
- g) Acabamentos: Pinturas, Louças e Metais, elevadores, paisagismo e demais acabamentos.

Sobre essas condições, a Figura 17 demonstra a evolução do indicador de consumo de água em relação ao cronograma físico, sobre uma análise global da amostra.

Figura 17 - Evolução do indicador de consumo de água



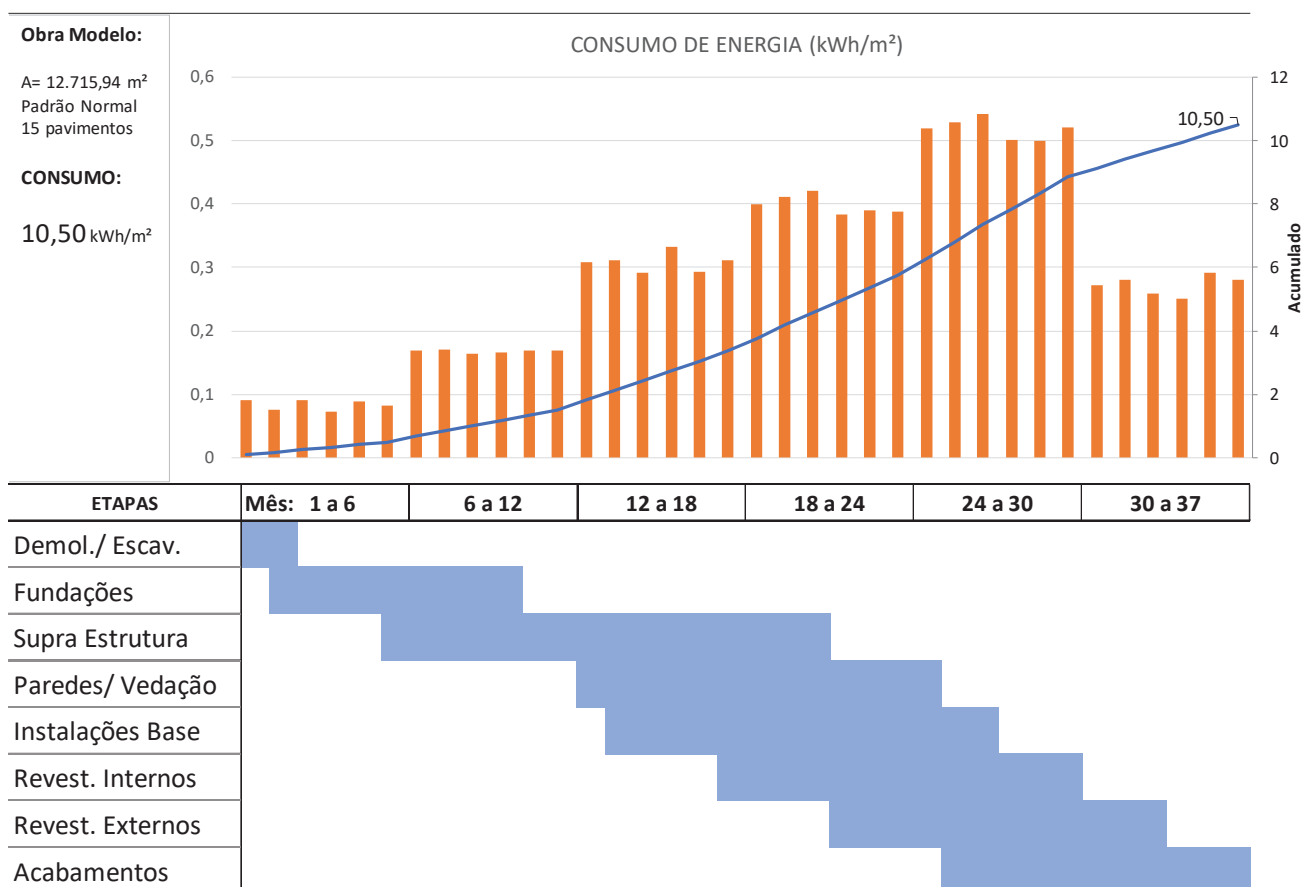
Fonte: Elaborado pelo autor.

O indicador de consumo de água, trata-se de um valor constante durante a construção. Com um crescimento durante o mês 12 a 24, aonde se concentram a maior quantidade dos serviços em sobreposição e conseqüentemente um pico no

número de operários em trabalho. Trata-se de uma variável de uso constante, desde o consumo humano, como para a realização de atividades como fundações, limpeza da obra, umedecimento de formas, cura de concreto, limpeza de substrato, teste de impermeabilizações e enchimento de reservatórios.

É demonstrado a seguir, (Figura 18), a evolução do indicador de consumo de energia elétrica em relação ao cronograma físico, sobre uma análise global da amostra.

Figura 18 - Evolução do indicador consumo de energia elétrica



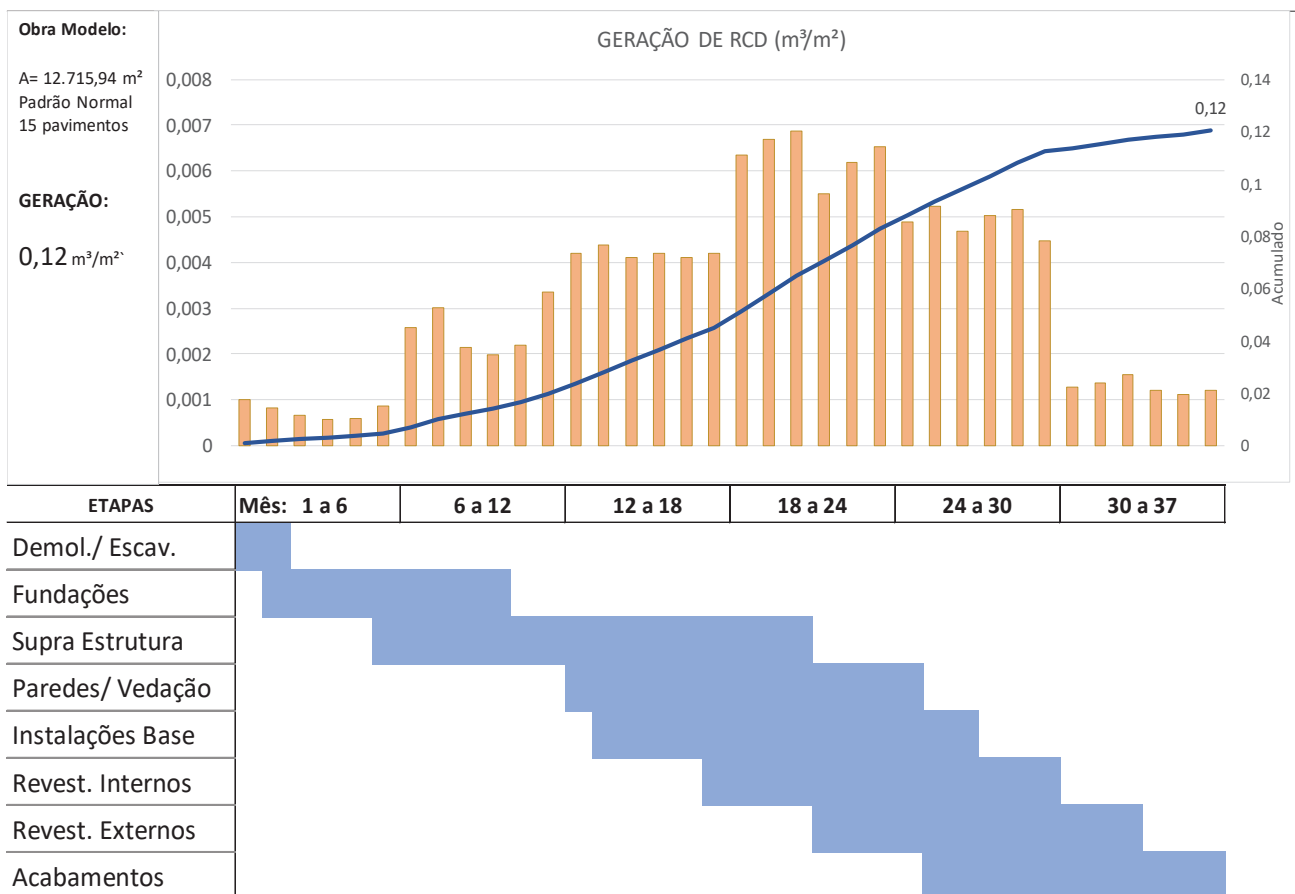
Fonte: Elaborado pelo autor.

A evolução do indicador do consumo de energia já ocorre de uma maneira mais peculiar, comportando em menor escala durante do início da construção, pois entende-se que neste momento a maioria dos maquinários são movidos à combustão. Em decorrência do avanço físico, ocorre uma intensificação na sobreposição das atividades, as quais ocorrem em distintos pavimentos da edificação, logo maior é a demanda pelos equipamentos que são alimentados por energia elétrica. Equipamentos de maior consumo como guas e elevador

cremalheira são aspectos podem influenciar no consumo de energia elétrica, evidenciado em obras mais estruturadas. Principalmente quando há de atender o transporte vertical de pessoas e materiais para diversos pavimentos durante o expediente de trabalho nas etapas de revestimentos e acabamentos. Um menor consumo é observado no período final, aonde por tendência as construtoras finalizam as obras nos pavimentos baixos e térreo, que são passivos das atividades finais de acabamentos e paisagismo. Além disso é evidenciado um menor fluxo de atividades, logo uma menor intensidade de pessoas e materiais no canteiro, em comparação com o pico de serviço.

Quanto a geração de resíduos, a figura 19 demonstra a evolução do indicador em relação ao cronograma físico, sobre uma análise global da amostra.

Figura 19 - Evolução do indicador de geração de resíduo



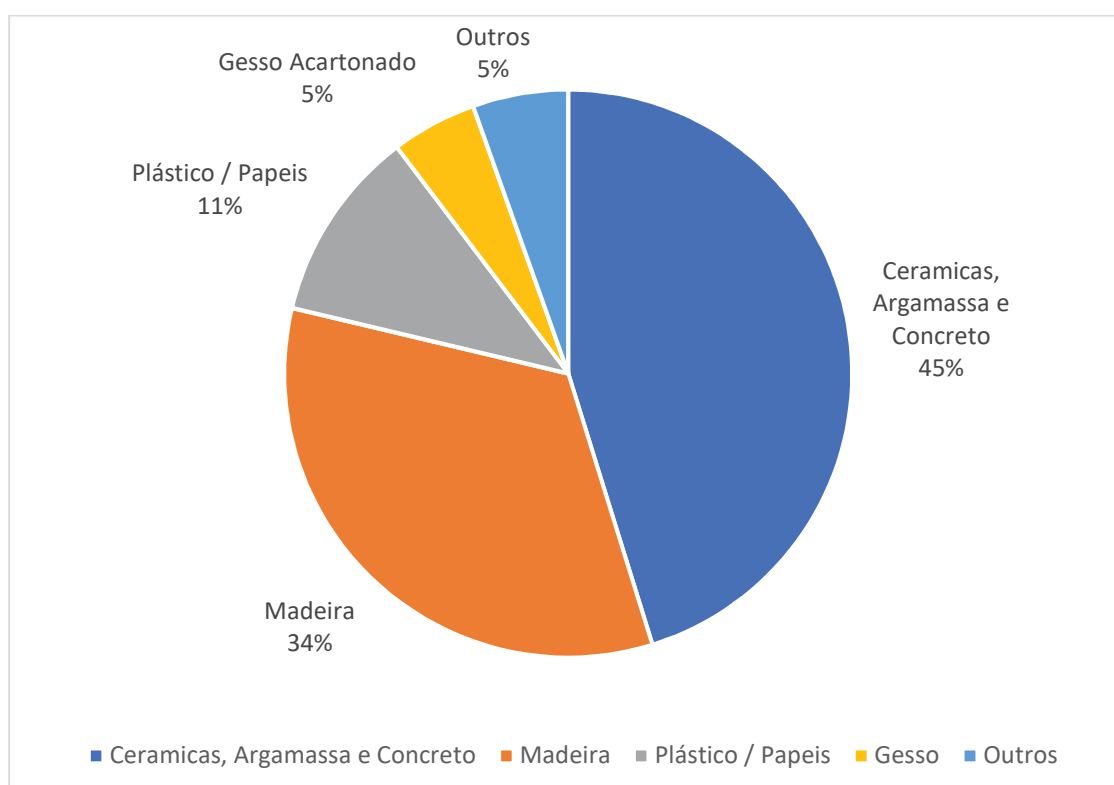
Fonte: Elaborado pelo autor.

Com comportamento similar ao indicador de energia elétrica, a geração de resíduos está relacionada ao maior número de atividades que ocorrem em elevada frequência durante os meses 12 a 24. Esta variável apresentou maior variabilidade,

visto que os resíduos gerados são oriundos de falhas construtivas, retrabalhos, mudanças de projetos e da geração normal da atividade da construção, a qual prediz de frequentes cortes para ajustamentos. Justifica-se em razão de que cada projeto tem geometrias peculiares, e que em muitos casos são incompatíveis aos tamanhos padrões comercializados de cada insumo da construção (SOMMER, 2010; POLAT et al., 2017). Ademais que nas etapas de supra estrutura e revestimentos, englobam um volume maior dos resíduos mais frequentes na construção que são oriundos de madeira, argamassas, concreto, cerâmicas.

Portanto, considerando a variabilidade dos materiais empregados na construção, é evidente sua influência na geração ampla dos resíduos. Portanto com base na informação dos MTR, se diagnostica os resíduos da construção por meio da tipologia e classificação CONAMA dada pela Resolução 307 e suas modificações (BRASIL, 2015). Essa estratificação dos tipos de resíduos gerados é detalhada na figura 20, a qual representa a média das 16 obras estudadas.

Figura 20 - Estratificação dos RCD



Fonte: Elaborado pelo autor.

Representado quase a metade do volume de resíduos, os RCD classe A são oriundos de materiais como cerâmicas, argamassa e concreto, essa parcela pode

ser reaproveitada para ser usada na própria construção civil por meio de agregados reciclados. Os resíduos de madeiras combinados com os plásticos e papeis, representam 45% do volume de resíduos, que são passíveis também de reciclagem por serem classificados como RCD classe B. Portanto 90% dos resíduos da amostra desse estudo abordam um potencial de reciclagem, desde que se encontram com a devida segregação. A classificação outros, é referente a materiais como caçambas misturadas, tintas, e demais materiais secundários na construção. Essa parcela, juntamente com o gesso acartonado, não se enquadra como recicláveis. Salienta-se que essa estratificação, proveniente da amostra de estudo, representa a edificações verticais, porém de maneira similar se equiparou ao estudo de Caetano, Salbach e Gomes (2016), aonde a mesma parcela de 90% do volume de resíduos eram passíveis de reciclagem. Reforçando que o problema dos resíduos da construção está relacionado com a qualidade de seu gerenciamento, tanto na fonte geradora que responsabiliza pela segregação, como nos meios de transporte e recebimento, que destinam e/ou encaminham os mesmos para tratamentos adequados.

4.3 ANÁLISE DO DESEMPENHO AMBIENTAL ATRAVÉS DA DEA

Considerando que cada obra condiz com uma peculiaridade, ocorrem distintos desempenhos em cada uma das variáveis de análise. Busca-se, portanto, avaliar uma eficiência global do consumo de água, energia e geração de resíduos, logo um desempenho ambiental operacional, conforme prediz a NBR ISO 14.031 (ABNT 2004a). Por meio da DEA, se avalia quais DMU (Obras) apresentaram os melhores escores de eficiência técnica, neste quesito avaliatório. E em relação as DMU ditas ineficientes, aponta-se um peso em que cada variável contribuiu com a eficiência calculada e as respectivas obras de referência, ou *benchmark*.

Como apresentado na tabela 7, na sessão 0, os dados de entrada (*inputs*) competem aos consumos de água energia e geração de resíduos totais, visto que se objetiva a sua minimização. Já como dados de saída, ou *output*, é a área total construída (a_{total}) e o índice econômico de compacidade (IeC). O modelo é orientado ao insumo, com retorno variável à escala, por via de que cada obra tem aspectos distintos que não competem perfeitamente entre si. Antevendo o cálculo em si do DEA, se verificou a correlação dos dados do modelo, com intuito de observar a relevância na relação entre as variáveis descritas, conforme a tabela 10.

Tabela 10 - Correlação dos dados do modelo DEA

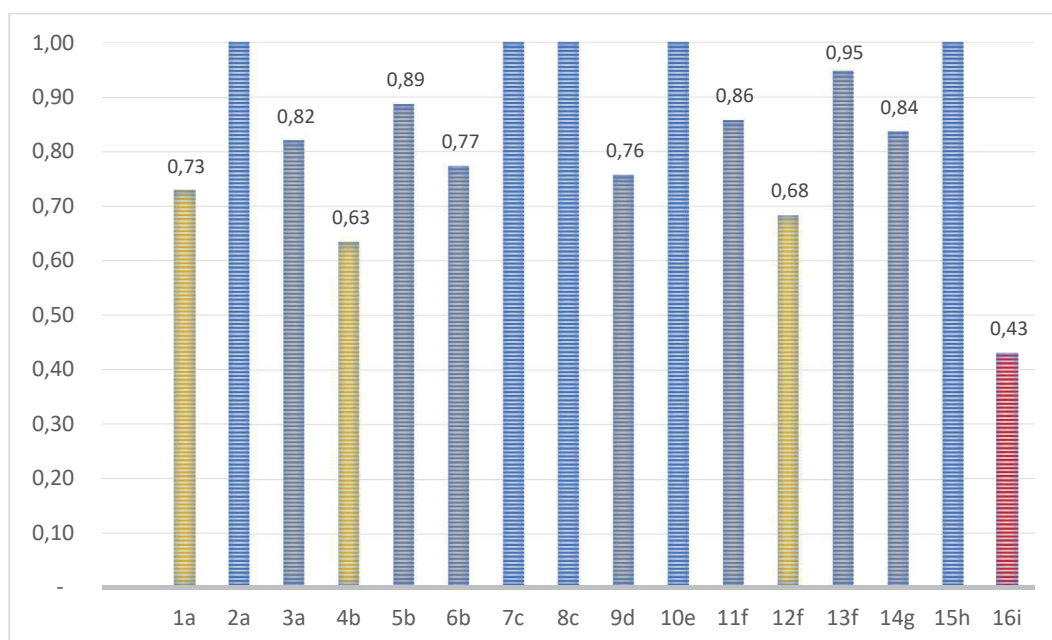
	água	energia	RCD	a_total	leC
água	1				
energia	0,9520*	1			
RCD	0,7308*	0,6259*	1		
a_total	0,8670*	0,8519*	0,5746*	1	
leC	-0,3321	-0,246	-0,4309	-0,3104	1

*: p-
valor<0,05

Fonte: elaborada pelo autor.

A variável área total (a_total) apresenta uma correlação acima de 0,80 com água e energia total consumida, e um resultado menor com a geração de resíduos, porém todos estatisticamente significantes. Quanto ao leC, esse apresenta uma correlação negativa com os dados de entrada, com maior incidência com a geração de resíduos, o que tem coerência pelo que foi abordado no capítulo de revisão bibliográfica. Diante, dessas condições, se calculou a eficiência técnica DEA, como representa a figura 21.

Figura 21 - Eficiência técnica por meio da DEA calculada



Fonte: Elaborado pelo autor

No presente modelo, o valor médio da eficiência técnica da amostra, é na ordem de 83,5%, com desvio padrão de 16,3%. Sendo que cinco DMU destacadas em azul se apresentaram como 100% eficientes, logo como referência sobre as

variáveis de evidência. Em maior parte das DMU ineficientes, se encontram próximas da fronteira de eficiência do modelo, acima de 75%, logo assim são destacadas em cinza. E as demais DMU destacadas em laranja e vermelho, foram as obras com a menor eficiência em questão, entende-se que alguma variável, tanto de entrada como de saída, influenciou no resultado. Ressalva-se que a eficiência calculada pelo DEA é de natureza comparativa desses estudos de caso, apontando que as obras que atingiram a fronteira de 100% tomam como referência as demais, devido ao seu desempenho global nos aspectos avaliados. Logo com intuito de investigar, a tabela 11 apresenta os pesos atribuídos para cada variável no input (u) e nos dados de output(v), o que combinados influenciam no resultado observado da eficiência.

Tabela 11 - Pesos atribuídos no modelo DEA

DMU	Eficiência DEA	Input - coeficiente u			Output - coef. v	
		Água	Energia	RCD	A_Total	leC
1a	0,73	0,0002%		0,044%	0,003%	
2a	1,00	0,019%	0,001%		0,007%	
3a	0,82	0,007%	0,001%		0,005%	
4b	0,63			0,091%	0,018%	3565,2%
5b	0,89		0,001%		0,006%	
6b	0,77	0,034%		0,027%	0,006%	
7c	1,00	0,0003%	0,0003%		0,003%	281,9%
8c	1,00	0,001%		0,017%	0,001%	
9d	0,67	0,0002%		0,050%	0,003%	
10e	1,00	0,008%	0,001%		0,005%	
11f	0,86	0,012%	0,001%		0,007%	
12f	0,68		0,001%		0,004%	
13f	0,95	0,007%	0,001%		0,005%	
14g	0,84		0,001%		0,006%	
15h	1,00		0,002%		0,011%	
16i	0,43		0,0001%		0,001%	

Fonte: elaborada pelo autor.

Esses pesos constituem a fórmula geral do modelo DEA, apresentado na equação 1. Um valor igual a zero, destaca que aquela variável não teve importância para o cálculo da eficiência, apontando como um fator negativo neste quesito de

análise. A título de exemplo da DMU 12f, em que o volume de resíduo foi o maior de toda amostra coletada, o cálculo do modelo aplicou um peso nulo devido a esse aspecto negativo. E não por essa especificidade seu escore foi o mais baixo, pois o que impactou positivamente para a referida obra foi a área total construída, com peso de 0,004%, e em segundo lugar seu consumo de energia elétrica com um peso de 0,001%.

Em outra perspectiva a DMU 7c, seus indicadores por metro quadrado, foram 0,34 m³/m² para consumo água, 8,41 kWh/m² em energia e 0,11 m³/m² em geração de RCD (Figura 15). O que são valores próximos da média, logo não os de referência da amostra. Porém, pelo modelo DEA, sua eficiência é em 100%, pois a importância foi em seu produto (*output*), tanto pela área total construída como um leC relevante, aonde o peso aplicado foi maior. Assim também na obra 4a, onde sua produção de área total foi na ordem de 9.636,10 m², portanto menor que a média amostral, porém foi uma DMU eficiente, dado seu bom desempenho no consumo de água e energia elétrica.

4.3.1 Avaliação dos *benchmarks* e variáveis no modelo DEA

Em relação as obras ineficientes, o modelo DEA destaca o objetivo em que cada DMU deve alterar, de modo a atingir a fronteira de eficiência técnica em 100%. A tabela 12 demonstra o valor em percentual na redução dos insumos como objetivo, para cada obra da amostra. E a coluna *benchmark* no quesito em destaque, trata-se da obra com 100% de eficiência mais próxima da DMU ineficiente em evidência.

Tabela 12– Objetivos e *benchmarks* das DMU

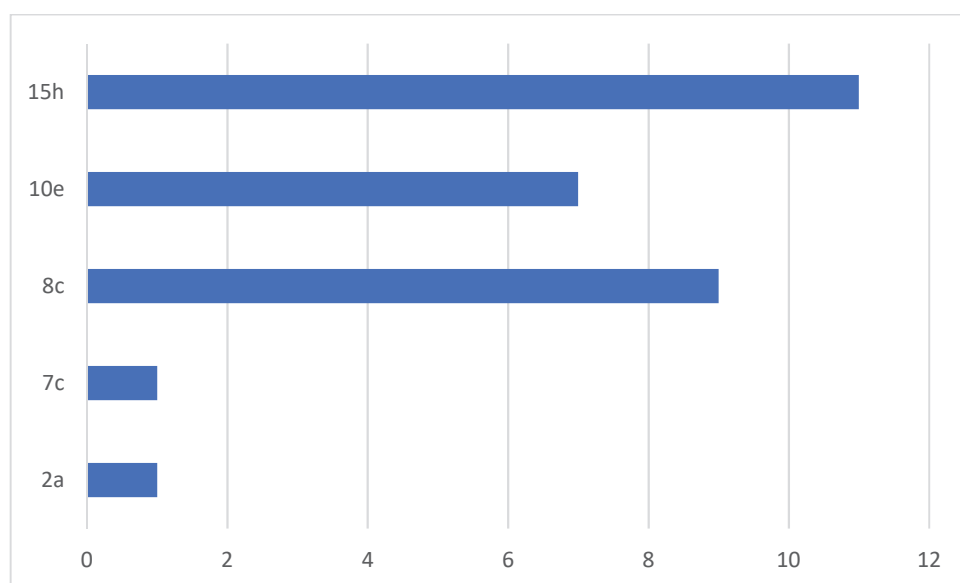
DMU (ineficiente)	Cons. Água		Cons. Energia		RCD	
	objetivo	<i>benchmark</i>	objetivo	<i>benchmark</i>	objetivo	<i>benchmark</i>
1a	-27%	8c	-27%	10e	-27%	15h
3a	-18%	8c	-18%	10e	-37%	15h
4b	-43%	7c	-41%	10e	-37%	15h
5b	-21%	8c	-11%	15h	-54%	
6b	-23%	2 ^a	-29%	10e	-23%	15h
9d	-24%	8c	-50%	10e	-24%	15h
11f	-14%	8c	-14%	10e	-39%	15h
12f	-45%	8c	-32%	15h	-87%	
13f	-5%	8c	-5%	10e	-46%	15h
14g	-25%	8c	-16%	15h	-64%	
16i	-58%	8c	-57%	15h	-59%	

Fonte: elaborada pelo autor.

Esta relação demonstra que as obras com os escores mais baixos, como a 16i e 12f, apresentam objetivos com maiores reduções nas três variáveis, de modo a alcançar o seu *benchmark* mais próximo na relação do modelo DEA no quesito em destaque. Assim, a obra 12f necessitaria reduzir em 45% o consumo de água para atingir a fronteira de eficiência, em que se assemelharia à DMU de referência 8c. E 87% na geração de RCD, porém sem referência visto que nessa variável a obra foi a que mais gerou resíduos dentro da amostra observada.

Por outro lado, as DMU quase eficientes, como no caso da obra 13f e 5b com eficiência de 95% e 89% respectivamente (Figura 21) , o objetivo de redução são de menor magnitude, com exceção do aspecto que não auxiliou no escore de eficiência, o que foi destacado em peso nulo na tabela 11. Observa-se que a mesma DMU 13f, precisa reduzir 46% na geração de RCD, de modo a alcançar a fronteira de eficiência e apenas 5% nas demais variáveis.

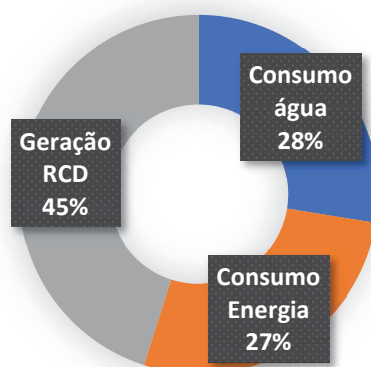
Sobre uma perspectiva dos *benchmarks*, a figura 22 relaciona dentre as obras eficientes, as DMU que obtiveram maior frequência de referência para as obras ineficientes listadas na tabela 12 . Esse conceito é conhecido como *peer* no modelo DEA, destacando as DMU mais importantes dentre as eficientes, por causa da relação de *benchmark*.

Figura 22– DMU de referência *Peers*

Fonte: Elaborada pelo autor

Por assim em relação de destaque, a obra 15h seguido da obra 8c são as quais apresentaram a maior frequência para as DMU ineficientes. Apesar da importância, não significa que estas obras são as mais relevantes na eficiência, que as demais em todos os aspectos. Mas são as que tomam como referência nas variáveis mais deficitárias apontadas no modelo. Por última análise, a figura 23 é relaciona o quanto cada a variável representa para a busca da eficiência, ou seja, apresenta quais aspectos dentre o consumo de água, energia e geração de resíduos precisam ser reduzidos, considerando as obras ineficientes calculadas pelo modelo (Tabela 12).

Figura 23 - Insumos mais deficitários na eficiência



Fonte: Elaborado pelo autor

Em maneira equiparada, o consumo de água e energia abordam com 28% para as reduções proposta pelo modelo. Já a variável geração de resíduos, se apresentou como a mais relevante a se reduzir, destacado em 45% dos objetivos calculados pelo modelo, ou seja, pelo o que foi observado nas obras estudadas. O tal destaque aos resíduos pode ser explicado pela variabilidade entre seu indicador por metro quadrado entre as obras da amostra. Como é o caso da obra 12f, 14g e 16i com geração por metro quadrado de 0,57, 0,22 e 0,17, respectivamente. O que refletiu em elevados percentuais a se reduzir de modo a alcançar a eficiência.

Considerando as informações descritas, se projetou uma simulação dos objetivos proposto pelo modelo DEA, aplicando-se às obras com escores abaixo de 100%. Portanto, a tabela 13 simula um indicador de desempenho para o consumo de água, energia e geração de RCD. Essa simulação considera assim que todas as DMU da amostra estão sobre a fronteira de 100% de eficiência. A exemplo de cálculo, a obra 1a consumiu 7.222m³ durante a execução, por se tratar de uma DMU ineficiente o modelo propõem uma redução de 27% nesse quesito para buscar a fronteira de eficiência técnica. Logo o indicador simulado para o consumo de água é:

$$\frac{7.222m^3 \times (1 - 0,27)}{23.411m^2} = 0,22 m^3/m^2$$

Tabela 13 - Simulação de indicadores com eficiência DEA

DMU	Água [m ³ /m ²]	Energia [kWh/m ²]	RCD [m ³ /m ²]
1a	0,22	7,04	0,07
2a	0,20	9,83	0,12
3a	0,23	7,87	0,07
4b	0,29	9,41	0,09
5b	0,32	8,09	0,08
6b	0,30	10,05	0,09
7c	0,34	8,41	0,11
8c	0,27	5,51	0,07
9d	0,28	6,65	0,07
10e	0,19	8,14	0,07
11f	0,29	8,97	0,08
12f	0,31	7,63	0,08
13f	0,25	7,20	0,07
14g	0,32	7,90	0,08
15h	0,37	10,91	0,10
16i	0,28	6,19	0,07

Fonte: Elaborada pelo autor.

Salienta-se que os valores destacados em negrito, foram os que sofreram alteração, conforme a redução assimilada pelo objetivo das DMU ineficientes (Tabela 12). Com essa alteração se simula um valor médio como o desvio padrão para cada indicador do consumo de água, energia e geração de RCD. Comparados assim, com os resultados do que foi observado em efetivo das 16 obras da amostra de pesquisa, conforme aponta a tabela 14.

Tabela 14 - Indicadores observados e simulados

Indicador	Água [m ³ /m ²]	Energia [kWh/m ²]	RCD [m ³ /m ²]
Observado da Amostra (Tabela 9)	0,37 + - 0,13	10,5 + - 2,78	0,15 + - 0,12
Simulado pela eficiência (Tabela 12)	0,28 + - 0,05	8,24 + - 1,41	0,08 + - 0,02

Fonte: elaborada pelo autor.

Em comparação com a literatura, na tabela 2 apresentada no capítulo 2.3.3, se verifica que o indicador simulado de consumo de água se apresentou com uma similaridade aos dados obtidos de Marques, Gomes e Brandli (2017), aplicado em região similar no Sul do país, em $0,28\text{m}^3/\text{m}^2$. O indicador simulado de consumo de energia apresenta-se 16% menor dessa mesma referência literária. Salienta-se que os números são projeções caso todas as obras estivessem operando na fronteira de eficiência calculada. Ou seja, um indicador positivo para o quesito de estudo. Quanto a geração de resíduos, tanto o indicador observado quanto o simulado se apresentam abaixo do estimado obtido na literatura, abordado no item 2.2, tabela 1 com uma média de $0,20\text{m}^3/\text{m}^2$. A justificativa pode ser a variabilidade deste indicador em relação aos distintos desempenhos das obras.

Como o DEA abordou o cálculo do desempenho ambiental utilizando apenas variáveis quantitativas, a próxima sessão faz uma abordagem do resultado do DEA com fatores qualitativos estudados, para investigar nexos causais.

4.4 ANÁLISE INFLUÊNCIA DE ELEMENTOS QUALITATIVOS ATRAVÉS DA REGRESSÃO CENSURADA (TOBIT)

Em última análise da pesquisa e afim de atender o terceiro objetivo específico, o intuito dessa seção foi investigar a influência dos atributos qualitativos de cada obra com a eficiência calculada (DEA). Por entender que um projeto de construção tem uma natureza peculiar, o desempenho ambiental apresentaria resultados distintos caso esse projeto fosse gerenciado e produzido com métodos variáveis.

Assim como apresentado no capítulo 3.2.2.2, foi agrupado os atributos qualitativos em três classes: padrão construtivo (*pad_const*), classe de produção (*cl_prod*) e classe de gestão (*cl_gest*). A determinação do padrão construtivo foi abordada na tabela 8, no capítulo anterior. Já a composição e detalhamento das classes de produção e gestão são apresentadas a seguir.

4.4.1 Classe de Produção

Em evidência da execução de um determinado projeto de edificação, sistemas de produção são aplicados de forma a executar a obra. A presente classe

investiga aspectos como industrialização e equipamentos utilizados, o que são traduzidos em um valor ordinal de 1 a 5, o qual é composto por três critérios. O primeiro deles é o uso de construção à seco, no caso as paredes internas em sistema *drywall*, sendo representado pelo percentual de uso no pavimento tipo (Equação 9). A atribuição do valor de 1 a 5 é dado conforme nos quintis da distribuição crescente, expressado pelo quadro 6.

Quadro 7 - Critério de construção à seco

Quartil	Obra	% <i>drywall</i>	Avaliação – Construção à seco (1 a 5)
Q _{1/5}	1a	0,0%	1
	3a	0,0%	1
	12f	0,0%	1
	16i	0,0%	1
Q _{2/5}	15h	15,0%	2
	2a	29,0%	2
	4b	36,1%	2
Q _{3/5}	5b	37,8%	3
	13f	42,0%	3
	7c	44,2%	3
Q _{4/5}	11f	49,8%	4
	6b	53,0%	4
	9d	54,9%	4
Q _{5/5}	10e	57,3%	5
	14g	60,7%	5
	8c	61,6%	5

Fonte: elaborado pelo autor

Em observação aos dados, o uso de paredes *drywall* ocorre em torno em torno de 80% da amostra, sendo que a mediana é de 40% das paredes internas serem desse sistema de construção à seco. Tal sistema corrobora a um processo construtivo evitando uso de materiais úmidos como argamassas, trabalhando com módulos pré-fabricados, que são as chapas de gesso acartonado e perfis de alumínio para estruturação. O sistema *drywall* é ilustrado pela figura 24.

Figura 24 - Paredes internas em sistema *drywall*

Fonte: Sul Módulos (2019)

Processos em montagem nesse sistema de construção à seco, tens vantagens em relação ao sistema convencional de alvenaria, a citar na velocidade de execução, menor uso de materiais e de menor densidade, menor imperfeições das peças, simplificação na instalação de sistemas hidráulicos e elétricos. Tais condições podem contribuir em menor geração de resíduos no ato da construção (DA SILVA, 2000).

O segundo critério, dentro da classe de produção é o sistema de revestimento, o que abrange o valor de 1 a 5. Tal critério aborda desde uma obra que usa materiais e processos mais artesanais, produzidos *in loco*, até obras que utilizam materiais industrializados por terceiros ou mais íntegros, para os revestimentos internos e de fachada. O quadro 7 apresenta a composição deste critério.

Quadro 8 - Critério de sistema de revestimento

Descrição/Obra:	1a	2a	3a	4b	5b	6b	7c	8c	9d	10e	11f	12f	13f	14g	15h	16i
Arg. Ensacada (interno)						•								•		
Revestimento Gesso																•
Arg. Estabilizada	•	•	•	•	•		•		•	•	•		•		•	
Arg. Silos								•				•				
Forro Gesso convencional	•		•			•						•				•
Forro Gesso acartonado		•		•	•		•	•	•	•	•		•	•	•	
Fachada Pintura/ Monocapa						•	•	•	•		•		•	•		•
Fachada Cerâmica	•			•			•	•				•			•	
Fachada Pedra Ornamental (não aderida)	•	•	•		•					•		•				
Fachada Pele de Vidro	•	•	•		•				•		•					
Fachada ACM										•					•	
Avaliação (1 a 5):	4	5	5	4	5	2	3	4	4	5	4	4	3	2	5	2

Fonte: Elaborado pelo autor.

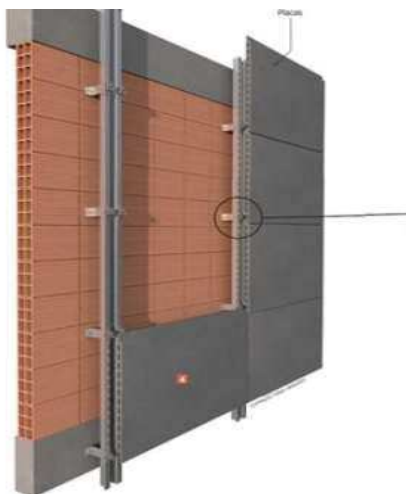
O sistema de revestimento tem uma variedade distribuída entre as obras da amostra. Porém o uso de argamassa estabilizada e forro em gesso a cartonado se apresentam com frequência. Um sistema de argamassa estabilizada ou em silos são de industrialização por parte de empresa terceirizada que ofertam o produto pronto para uso na obra, ao passo que revestimentos ensacados necessitam uso de água e preparo prévio antes do uso. Quanto ao revestimento de fachada a predominância é em pinturas ou monocapa, o que implica um sistema composto de materiais: chapisco, reboco pintura. Ao passo que sistemas mais íntegros como pedras ornamentais ou industrializados como pele de vidro ou placas em ACM envolvem técnicas mais aprimoradas para fixação, como o uso de perfis metálicos ou insertes, como exemplifica as figuras 25 e 26.

Figura 25 - Insertes para fixação de pedras



Fonte: Pacheco (2012)

Figura 26–Sistema ACM



Fonte:EIP Engenharia[2019?].

Por último critério na classe de produção, o tipo de equipamentos utilizado no canteiro, principalmente no que tange a qualidade geral dos equipamentos e ferramentas dos empreiteiros. Estes resultados foram obtidos por meio das entrevistas, assim como o uso de sistemas de segurança mais robustos como andaime fachadeiro ou sistemas de redes e sistema de movimentação na obra, como elevadores cremalheiras e guias. O quadro 8 resume os resultados obtidos neste critério.

Quadro 9 - Critério de equipamentos

Descrição/Obra:	1a	2a	3a	4b	5b	6b	7c	8c	9d	10e	11f	12f	13f	14g	15h	16i
Dispositivo elevatório	•			•	•	•								•		
Gruas/ Minigruas		•	•				•	•	•	•	•	•	•		•	•
Cremalheira Cabine Simples		•		•	•	•	•		•	•			•	•	•	•
Cremalheira Cabine Dupla	•		•					•			•	•				
Bandejas de Proteção													•		•	
Andaime Fachadeiro	•	•	•	•	•	•			•	•		•		•		•
Redes de proteção							•	•			•					
Avaliação (1 a 5):	3	4	5	3	3	3	5	5	4	4	5	5	3	3	3	4

Fonte: Elaborado pelo autor

Quanto a parte de equipamentos, por necessidade, uma obra de edificação pode optar por maquinários para transporte vertical, como elevadores, guias e mini guias. Uma questão relacionada a este fato é a geração de resíduos e perdas na construção, já que materiais frágeis sofrem avarias no deslocamento interno da obra, perdendo sua utilidade (AGOPYAN et al., 2003). O elevador cremalheira trabalha com o transporte vertical de pessoas e materiais. Este equipamento fica concentrado em um único ponto além de ter dimensões limitadas, o que impossibilita o transporte de específicos materiais, a exemplo de vergalhões de aço. Essa necessidade pode ser atendida pela movimentação manual dos operários da obra, o que é mais inapropriado. Porém um equipamento como mini guias ou guias, tem um raio de trabalho mais flexível e seguro para a movimentação exclusiva de materiais especiais. Quanto ao equipamento de proteção coletiva (EPC), encarrega-se em primeiro lugar na segurança global dos operários, o que é rigorosamente exigido por normas e fiscalizações do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), facilitando a execução laboral por parte dos envolvidos no canteiro. Além de que um sistema mais desenvolvido, envelopando melhor a edificação como um todo, reduz o uso de madeira provisória para a proteção coletiva, o que é no caso de obras que usam sistemas de andaime fachadeiro ou de redes, conforme as figuras 27 e 28.

Figura 27 - Andaime fachadeiro



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 28 - Redes de segurança



Fonte: Elaborada pelo autor

Compondo a classe de produção desta amostra, a tabela 15 apresenta o resumo dos critérios previamente apresentados, e o valor médio observado.

Tabela 15-Resultado para classe de produção

Obra	Sistema Produtivo			Classe (valor médio)
	Construção à Seco	Sistema de revestimento	Equipamentos	
1a	1	4	3	3
2a	2	5	4	4
3a	1	5	5	4
4b	2	4	3	3
5b	3	5	3	4
6b	4	2	3	3
7c	3	3	5	4
8c	5	4	5	5
9d	4	4	4	4
10e	5	5	4	5
11f	4	4	5	4
12f	1	4	5	3
13f	3	3	3	3
14g	5	2	3	3
15h	2	5	3	3
16i	1	2	4	2

Fonte: elaborada pelo autor.

4.4.2 Classe de Gestão

Quanto a classe de gestão, foi avaliada a capacidade organizacional da obra e da construtora, sendo uma variação ordinal de 1 a 5. Assim como na anterior, a classe de gestão é composta por três critérios: organização do canteiro, equipe/gerenciamento e certificação. O critério de organização é resumido no quadro 9, o que avalia a organização geral da obra, a frequência de conscientização dos operários, *layout* de canteiro e instalações provisórias.

Quadro 10 - Critério de organização do canteiro

Descrição/Obra:	1a	2a	3a	4b	5b	6b	7c	8c	9d	10e	11f	12f	13f	14g	15h	16i
Avaliação Canteiro de obras	3	4	4	3	4	3	5	5	4	4	3	5	5	4	4	3
Conscientização e Organização (freq. por mês)	1	3	2	2	2	2	4	4	2	3	3	3	4	4	1	1
Layout Moderado		•	•		•				•		•					•
Layout Organizado							•	•		•		•	•			
Instal. Provisória Madeira						•								•	•	•
Instal. Provisória Containers	•		•	•	•						•					
Instal. Prov. Casa ou Terceirizado		•					•	•	•	•		•	•			
Avaliação (1 a 5)	3	5	4	3	4	2	5	5	4	5	3	5	5	4	3	3

Fonte: elaborado pelo autor.

O fator de organização no canteiro é de importância, visto que em obras complexas, como a construção de edificações, envolve um volume em materiais, processos e pessoas, o que demanda por uma configuração organizada dos espaços e logística da obra, assim como as instalações provisórias, o que é representado pelo *layout* de canteiro. Outro aspecto é a frequência em que temas como organização e conscientização para reduzir desperdícios eram abordados em comunicação com os envolvidos da obra, o que pode ocorrer em reuniões de segurança e planejamento.

O segundo critério é em relação a equipe de obras e os auxílios em planejamento e gestão por parte da empresa, esses detalhes são apresentados no quadro 10.

Quadro 11 - Critério de equipe e gerenciamento

Descrição/Obra:	1a	2a	3a	4b	5b	6b	7c	8c	9d	10e	11f	12f	13f	14g	15h	16i
Equipe de Obra (Colaboradores)	6	5	4	7	7	5	10	15	10	10	6	8	11	7	5	7
Ferramentas (PDCA, Just in Time, Kan Ban)		•	•				•	•	•	•						•
Departamento projetos/ planejamento							•	•	•	•	•	•	•	•		•
sistema de gestão informatizado ou padronizado			•				•	•			•	•	•	•		•
Avaliação (1 a 5)	2	3	3	3	3	2	5	5	4	4	3	4	5	4	3	4

Fonte: elaborado pelo autor.

A equipe de obra é a soma de colaboradores em regime CLT da construtora dedicados no canteiro de obra, desde gerentes, engenheiros até almoxarifados e mestres de obra. Foi avaliado o corpo técnico presente no canteiro para gerenciar e supervisionar as atividades de construção. Foi percebido que as obras com maior área construída, por exemplo as obras 7c e 8c, demandam uma equipe maior para o seu gerenciamento. Porém não é uma regra de proporção visto que as obras 3a e 10e são de dimensões similares, porém com uma equipe mais enxuta. Outro ponto de observação é a presença de um departamento de planejamento na obra, assim como um sistema informatizado ou padronizado para controle dos processos. Tais aspectos auxiliam na gestão da obra, por meio do apoio do departamento especializado ou do sistema padronizado para a gestão.

O terceiro critério é as questões de certificação e qualidade, que é discriminado pelo quadro 11.

Quadro 12 - Critério de certificações e qualidade

Descrição/Obra:	1a	2a	3a	4b	5b	6b	7c	8c	9d	10e	11f	12f	13f	14g	15h	16i
Departamento Qualidade							•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Sem certificação				•	•	•				•					•	
ISO 9001	•	•	•				•	•			•	•	•	•		•
PBQP-h	•	•					•	•	•		•	•	•			
ISO 14001																
Selos de sustentabilidade																
Avaliação (1 a 5)	3	3	2	1	1	1	4	4	3	2	4	4	4	3	2	3

Fonte: elaborado pelo autor.

A certificação ISO 9.001 e PBQP-h, são práticas de gestão comum entre as construtoras maiores, aquelas que preferencialmente constroem empreendimentos que visam algum financiamento ou melhor posicionamento no mercado. As empresas C, F, G e H são melhor estruturadas quanto ao setor administrativo, bem como na estrutura do canteiro de obras. Apresentam apoio de departamentos de planejamento e projeto, instalações provisórias mais estruturada, maior número de funcionários, tanto na sede empresarial como nas obras em si. Empresas de menor

porte costumam operar com uma equipe mais enxuta. Esta opção pode concentrar mais carga de trabalho e responsabilidades ao engenheiro executor, limitando a execução de maiores controles. Este fato foi observado na coleta de dados, que ao contrário das empresas mais estruturadas, em empresas menores, as informações não eram controladas em planilhas e possuíam poucos indicadores internos.

De modo a resumir essa etapa, a tabela 16 demonstra os resultados compilados para a classe de gestão.

Tabela 16 - Resultado para a Classe de gestão

Obra	Sistema Gestão			Classe
	Organização Canteiro	Equipe / Gerenciamento	Certificação	
1a	3	2	3	3
2a	5	3	3	4
3a	4	3	2	3
4b	3	3	1	2
5b	4	3	1	3
6b	2	2	1	2
7c	5	5	4	5
8c	5	5	4	5
9d	4	4	3	4
10e	5	4	2	4
11f	3	3	4	3
12f	5	4	4	4
13f	5	5	4	5
14g	4	4	3	4
15h	3	3	2	3
16i	3	4	3	3

Fonte: elaborada pelo autor.

Assim, antevendo o cálculo da regressão, é resumido no quadro 12 as variáveis a serem aplicadas no cálculo, conforme o método proposto.

Quadro 13 - Resumo das variáveis da regressão

Obra	Calculo de Eficiência (DEA)	Padrão Construtivo	Classe de Produção	Classe de Gestão
1a	0,73	4 (Normal-Alto)	3	3
2a	1,00	3 (Normal)	4	4
3a	0,82	5 (Alto)	4	3
4b	0,63	3 (Normal)	3	2
5b	0,89	4 (Normal-Alto)	4	3
6b	0,77	3 (Normal)	3	2
7c	1,00	3 (Normal)	4	5
8c	1,00	1 (Baixo)	5	5
9d	0,76	4 (Normal-alto)	4	4
10e	1,00	3 (Normal)	5	4
11f	0,86	3 (Normal)	4	3
12f	0,68	5 (Alto)	3	4
13f	0,95	2 (Baixo-Normal)	3	5
14g	0,84	3 (Normal)	3	4
15h	1,00	2 (Baixo-Normal)	3	3
16i	0,43	4 (Normal-alto)	2	3

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.3 Análise por Regressão Tobit

A análise por regressão censurada é aplicada em questão, visto que a variável dependente da equação se trata da eficiência DEA (*efic_dea*) e tem um limite de 0% até 100%, ou 0,0 até 1,0. A regressão tobit censura os valores que forem superiores a 1,0. Para tanto a configuração da equação da regressão fica nos seguintes moldes:

$$Efic_{dea} = \beta_0 + \beta_1 \cdot pad_{cont} + \beta_2 \cdot cl_{prod} + \beta_3 \cdot cl_{gest} + \varepsilon$$

O modelo de regressão retorna com os coeficientes de estimação (β_i) e constante ou intercepto (β_0), de modo a verificar sua influência na eficiência DEA em questão do desempenho ambiental das obras. Antes de cálculo do modelo, é preciso

verificar a presença de multicolinearidade entre os preditores da equação, visto que isso é um problema estatístico. Se duas variáveis independentes apresentarem uma forte correlação, significa que estas possuem informações similares e logo há uma dificuldade de separar os efeitos de cada uma isoladamente sobre a variável dependente. A multicolinearidade do ponto de vista técnico, distorce os coeficientes de estimação (β_i) e prejudica a habilidade preditiva da equação (CUNHA; COELHO, 2014). A tabela 17 apresenta a matriz de correlação das variáveis a ser utilizada na regressão tobit.

Tabela 17 - Correlação das variáveis da regressão

Variáveis	efic_dea	pad_const	cl_prod	cl_gest
efic_dea	1			
pad_const	-0,5658*	1		
cl_prod	0,6414*	-0,2500	1	
cl_gest	0,5297*	-0,3411	0,4195	1

* p-valor < 0,05

Fonte: elaborada pelo autor.

A variável independente, eficiência DEA, apresenta correlações acima de 50% com as variáveis dependentes classe de produção, classe de gestão e padrão construtivo, sendo o último uma correlação negativa. Ressalva-se que todas apresentam p-valor menores que 5%, sendo assim estatisticamente significativos. E não há presença de multicolinearidade, pois entre as variáveis independentes as correlações são abaixo de 50%, visto que uma forte correlação é dada a partir dos 80%, assim os dados dessas variáveis não apresentam uma relação que possa interferir no cálculo da regressão (HAIR, 2014).

O método de regressão foi utilizado por meio de inclusão das variáveis independentes, observando o retorno do teste p-valor de cada variável, e o log-verossimilhança, o qual valores maiores indicam uma maior probabilidade do modelo ser consistente. Portanto em os modelos a se inserir são:

- Modelo 1: $Efic_{dea} = \beta_0 + \beta_1.pad_{const} + \varepsilon$
- Modelo 2: $Efic_{dea} = \beta_0 + \beta_1.pad_{const} + \beta_1.cl_{prod} + \varepsilon$
- Modelo 3: $Efic_{dea} = \beta_0 + \beta_1.pad_{const} + \beta_2.cl_{prod} + \beta_3.cl_{gest} + \varepsilon$

Desta maneira, a tabela 18 apresenta o resultado da regressão censurada no intervalo de 0 até 1, para o modelo 1.

Tabela 18 - Regressão Tobit - Modelo 1

		Número de obs:	16
		Não censuradas:	11
		censuradas à esquerda	0
		censuradas à direita	5
Limites: Inferior	0	Razão Verssim.(chi ²)	7,13
Superior	1	Prob> chi ²	0,0076
Log-verossimilhança	0,237	Pseudo R ²	1,0712

efic_dea	coef.	Erro padrão	t	p-valor	[Intervalo Confiança:95%]	
pad_const	-0,133	0,492	-2,7	0,017	-0,237	-0,028
Constante	1,171	0,129	9,11	0,000	0,902	1,452
Var (efic_dea)	0,0292	0,0132			0,011	0,076

Fonte: elaborada pelo autor.

O modelo 1 trabalhou por uma regressão simples, com a variável explicativa do padrão construtivo, atribuído por um coeficiente negativo. Indica que com a aumento de uma unidade no padrão construtivo, a eficiência DEA diminui em 13,3%, iniciando com a constante de 1,171. O p-valor abaixo do alfa 0,05, indica que o preditor é diferente de zero, o que é positivo. A equação 11 apresenta o modelo 1 determinado.

$$Efic_{DEA} = 1,171 - 0,133 pad_const \dots\dots\dots \text{Equação 11}$$

No modelo 2 foi incluído a variável classe de produção (cl_prod), as influências no modelo são abordadas pela tabela 19.

Tabela 19- Regressão Tobit - Modelo 2

		Número de obs:		16
		Não censuradas:		11
Limites:	Inferior	0	censuradas à esquerda	0
	Superior	1	censuradas à direita	5
		Razão Verssim.(chi ²)		22,38
Log-verossimilhança	7,841	Prob> chi ²		0
		Pseudo R ²		3,3617

efic_dea	coef.	Erro padrão	t	p-valor	[Intervalo Confiança:95%]	
pad_const	-0,115	0,029	-3,93	0,001	-0,178	-0,052
cl_prod	0,196	0,042	4,62	0,000	0,105	0,287
Constante	0,448	0,152	2,95	0,011	0,122	0,774
Var (efic_dea)	0,0090	0,0062			0,003	0,023

Fonte: elaborada pelo autor.

A inclusão da variável classe de produção, corroborou com o poder explicativo do modelo, pois o valor da log-verossimilhança elevou de 0,237 do modelo 1 para 7,84 atuais. Ademais houve diminuição do erro padrão de 0,0132 para 0,0062. O preditor, contribui com o aumento de eficiência pelo seu coeficiente de 0,196 positivo, contrapondo o padrão construtivo, agora em -0,115. Ressalvando que os preditores assim como a constante são estatisticamente significantes, visto que o p-valor calculado é abaixo do nível de significância de 5%. Por assim, a equação 12 apresenta o modelo 2 determinado.

$$Efic_{DEA} = 0,448 - 0,115 pad_const + 0,196 cl_prod \dots\dots\dots \text{Equação 12}$$

Por último foi-se inserido a variável classe de gestão (cl_gest) ao modelo 3, apresentado na tabela 20.

Tabela 20 - Regressão Tobit - Modelo 3

		Número de obs:		16
		Não censuradas:		11
		censuradas à esquerda		0
		censuradas à direita		5
Limites:	Inferior	0		
	Superior	1		
		Razão Verssim.(chi ²)		25,52
Log-verossimilhança	9,429	Prob> chi ²		0
		Pseudo R ²		3,8326

efic_dea	coef.	Erro padrão	t	p-valor	[Intervalo Confiança:95%]	
pad_const	-0,106	0,026	-4,05	0,001	-0,162	-0,049
cl_prod	0,179	0,039	4,59	0,001	0,095	0,263
cl_gest	0,051	0,027	1,84	0,088	-0,009	0,110
Constante	0,309	0,156	1,98	0,069	0,028	0,647
Var (efic_dea)	0,0070	0,0031			0,003	0,018

Fonte: elaborada pelo autor.

Por final, com a inclusão da terceira variável qualitativa, o modelo apresentou uma leve elevação no log-verossimilhança de 7,84 para 9,42, assim como uma redução do erro padrão, de 0,0062 para 0,0031, o que indica que a inclusão da terceira variável foi positiva, porém não na mesma magnitude como ocorreu do modelo 1 para o modelo 2, previamente apresentado. A inclusão da variável classe de gestão corrobora positivamente para a eficiência DEA (0,051), porém em uma intensidade menor que a classe de produção (0,179). Resumindo o modelo calculado, a equação 13 apresenta o modelo 3.

$$Efic_{DEA} = 0,309 - 0,106 pad_const + 0,179 cl_prod + 0,051 cl_gest.....Equação 13$$

Com a contemplação dos três preditores, verifica-se que o modelo se inicia com um intercepto na eficiência DEA em 30,9%, e a cada variação de uma unidade nas classes propostas em ordem de 1 a 5, se verifica:

- Redução de eficiência na avaliação DEA em 10,6%, pelo aumento do padrão construtivo;

- b) Aumento de eficiência na avaliação DEA em 17,9%, pelo aumento na classe de produção;
- c) Aumento de eficiência na avaliação DEA em 5,1%, pelo aumento na classe de gestão.

Salienta-se através do teste t, que os preditores e o intercepto apresentam valores estatisticamente significativos, sendo inferior a significância (alfa) de 5%. Com exceção na classe de gestão e constante, em que o p-valor estaria menor que 10%, logo significativo em um intervalo de confiança de 90%.

De modo a resumir a regressão tobit, que busca explicar as influências dos atributos qualitativos na eficiência DEA, a tabela 21 resume os modelos discutidos.

Tabela 21 - Resumo da regressão Tobit

Variável	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
efic_dea			
pad_const	-0,1326**	0,1150***	0,1057***
cl_prod	-	0,1958***	0,1787***
cl_gest	-	-	0,0505*
constante	1,1770***	0,4479**	0,3094*
var. (efic_dea)	0,02922**	0,0895*	0,00702*
Estatística			
N	16	16	16
log-verossim.	0,2371	7,8612	9,4289

Legenda: * $p < 0,10$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$

Fonte: elaborada pelo autor.

Sob perspectiva dos três modelos, entende-se que uma construção reflete em si um desempenho ambiental, mensurado neste estudo pela eficiência DEA sob os *inputs*: consumos de água, energia e geração de resíduos. Esse resultado se apresenta menos favorável à medida que o padrão construtivo se eleva. O que se entende, pois, empreendimentos de alto padrão ofertam com uma arquitetura mais robusta, espaços sofisticados e diversificados e uma infraestrutura condominial mais completa, o que eleva a complexidade na execução. Em contraste a um empreendimento de baixo padrão, onde economias e simplificações são buscadas de forma a viabilizar a oferta do produto imobiliário a preços acessíveis e aderente ao público-alvo (Figura 29).

Figura 29 -Exemplo de padrão construtivo



Fonte: Residencial Baixo padrão...



Fonte: Residencial alto padrão...

Dado a demanda econômica de empreendimentos de baixo e alto padrão, para então conter essa questão desfavorável e poder elevar a eficiência do desempenho ambiental, o investimento em aspectos da classe de produção se mostram relevantes, segundo o modelo. Como o uso da construção à seco, que busca diminuir o uso de materiais úmidos como argamassas e rejuntamentos. Dentro da amostra coletada, as paredes de *drywall* foi uma técnica empregada até mesmo em empreendimentos de padrão mais elevado, como na obra 9d e 10e. Também engloba nesta classe, o uso de materiais e revestimentos mais industrializados ou sistêmicos, como argamassas estabilizadas ou silos, uso de sistemas de fachada ventilada, como placas de ACM (Material Composto de Alumínio) ou sistema em pele de vidro. Também a qualidade dos equipamentos utilizados e sistemas de proteção coletiva, onde se evita um estilo de construção artesanal e de baixa segurança.

Figura 30 - Exemplo de equipamentos e segurança



Madeiramento provisório para EPC

Fonte: IW8 [2019?]



Equipamentos e segurança sofisticados

Fonte: Aecweb[2019?]

Outrossim, a classe de gestão corrobora para o aumento da eficiência segundo o modelo. Em patamares mais elevados dessa classe, se visa um canteiro de obra embasado em um *layout* organizado e estratégico, melhorando aspectos logísticos. Além de uma equipe de supervisão maior, aonde seu gerenciamento é suportado por técnicas de gestão, departamentos de planejamento, sistemas padronizados e certificações de qualidade. Salienta-se que conforme o modelo de regressão, a classe de produção, representado pelo agrupamento da construção à seco, revestimentos industrializados e equipamentos, mostrou um impacto positivo superior do que a classe de gestão apresentada pesquisa.

5 CONCLUSÃO

A indústria da construção civil é um setor muito tradicional e de forte presença macroeconômica, e perante a sua produção há um desafio atual da busca de sustentabilidade em seu processo operacional. A presente pesquisa abordou sobre um panorama do desempenho ambiental nas construções de edificações, traduzidos pelo consumo de água, energia elétrica e geração de resíduos oriundos dos canteiros de obra. O desempenho ambiental foi mensurado por meio da análise envoltória de dados e regressão censurada, investigando relações com aspectos de projeto, produção e gestão. Cabe ressaltar que os resultados observados referem sob a perspectiva na etapa de obras das edificações. Sobre os principais aspectos comentados durante estudo, pode-se concluir:

- a) Pela média amostral, obteve-se os seguintes indicadores para os principais aspectos ambientais estudados:

Consumo de água = 0,37 m³/m².

Consumo de energia = 10,5 kWh/m².

Geração de resíduos = 0,15 m³/m² ;

- b) O comportamento desses indicadores durante o avanço físico das obras, decorre de um baixo consumo nas etapas iniciais (resíduos de solo não foram considerados) e um aumento durante as sobreposições das tarefas, durante o pico operacional da obra;
- c) A avaliação da composição do RCD da amostra é 90% recicláveis, sendo 45% argamassas e concretos, 34% madeira e 11% papeis e plásticos;
- d) A eficiência DEA calculada, que corresponde ao desempenho ambiental das obras, apresentou 5 obras eficientes e 11 ineficientes. Com um valor médio de 83,5% pela amostra coletada;
- e) No observado pelo modelo DEA, a geração de resíduos foi a variável que mais influenciou para a ineficiência das obras, perante a amostra. Em seguida do consumo de água e energia.
- f) O resultado do modelo obtido na Regressão Tobit foi:

$$Efic_{DEA} = 0,309 - 0,106 pad_{const} + 0,179 cl_{prod} + 0,051 cl_{gest};$$

- g) Em evidência da regressão, ao elevar o padrão construtivo do projeto se observou uma diminuição do desempenho ambiental. Decorrente que empreendimentos de alto padrão visam a ser mais robustos e complexos arquitetonicamente, neste estudo de caso;
- h) A classe de produção, que agrupa técnicas de construção à seco, revestimentos industrializados e equipamentos, corroboram com o aumento do desempenho ambiental;
- i) Em menor magnitude, a classe de gestão também contribui no aumento do desempenho ambiental, aqui representado pela organização do canteiro, a equipe de gestão e certificações de qualidade da empresa.

Por fim, cabe a revisão do atendimento dos objetivos específicos deste trabalho, os quais foram atendidos, como indica a relação do quadro 13.

Quadro 14 - Atendimento dos objetivos específicos

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	RESULTADO
Identificar, levantar e determinar indicadores para monitorar a geração de resíduos, consumo de água e energia elétrica, durante a execução de obras civis.	Tabela 9; Figura 17; Figura 18; Figura 19
Determinar a eficiência técnica por meio dos aspectos ambientais das obras estudadas	Figura 21; Tabela 11; Tabela 14
Identificar aspectos qualitativos de produção e gestão que impactam no desempenho ambiental calculado das obras estudadas	Tabela 21; Equação 13

Fonte: elaborado pelo autor.

É importante ressaltar para finalizar que, embora esta pesquisa tenha considerado um conjunto de 16 estudos de caso (obras), os resultados médios, indicadores, avaliação de desempenho e modelos determinados e apresentados, referem-se a estes casos, sendo necessário parcimônia no uso dos mesmos em outras obras e futuras extrapolações para outras situações.

REFERÊNCIAS

- AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Relatório de consumidores, consumo, receita e tarifa média**: região, empresa e classe de consumo. Brasília, DF: ANEEL, 2019. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/relatorios-de-consumo-e-receita>. acesso em: 15 mar. 2019.
- AGOPYAN, Vahan *et al.* Alternativas para redução do desperdício de materiais nos canteiros de obra. *In*: FORMOSO, Carlos Torres; INO, Akemi (ed.). **Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e dissiminação do conhecimento na construção civil**. 2. ed. São Paulo: Habitare, 2003. p. 225-249. (Coletânea Habitare - vol.2). Disponível em: <http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/104.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2018.
- AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2011.
- AMEMIYA, T. Tobit models: a survey . **Journal of Econometricsterics**, [s. l.], v. 24, n. 81, p. 3-61, 1984. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(84\)90074-5](https://doi.org/10.1016/0304-4076(84)90074-5). Acesso em: 20 maio 2019.
- ANGULO, Sérgio Cirelli. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2000. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-05102005-112833/pt-br.php>. Acesso em: 20 abr. 2018.
- ARAÚJO JÚNIOR, Ari Francisco; NOGUEIRA, Daniela Guimarães; SHIKIDA, Cláudio D. Análise da eficiência das firmas de construção civil nacionais. **Brazilian Business Review**, Vitória, v. 9, n. 3, p. 47-71, 2012. Disponível em: <https://www.sumarios.org/artigo/an%C3%A1lise-da-efici%C3%Aancia-das-firmas-de-constru%C3%A7%C3%A3o-civil-nacionais>. Acesso em: 17 jun. 2018.
- ARQUITETURA, CONSTRUÇÃO E ENGENHARIA (AECWEB). **Redes de Piso a Piso**. São Paulo: AECWEB, [2019?]. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/prod/e/rede-piso-a-piso-sistema-u_85_50486 . Acesso em: 15 jun. 2019
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004** : resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12.721** : Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios - Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14.001** : sistemas de gestão ambiental : requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14031**: gestão ambiental: avaliação de desempenho ambiental: diretrizes. Rio de Janeiro:

ABNT, 2004a.

BARDHAN, S. Assessment of water resource consumption in building construction in India.pdf. In: **Ecosystems and Sustainable Development VIII**. USA: WIT Press, v. 144, p. 95–101, 2011. Disponível em: <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/144/21933> . Acesso em: 15 mar.2018

BOEHM, Nadine Indira. Taking Action on Construction Waste : An analysis of construction waste minimisation practices and their barriers . **Proceedings of 2nd Conference: People and Buildings**, n. September, 2012. Disponível em: http://www.nceub.org.uk/mc2012/pdfs/mc12-59_boehm.pdf. Acesso em: 10 dez.2018

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 15 mar.2018.

BRASIL. Ministério das cidades. **Sistema de avaliação da conformidade de empresas de serviços e obras da construção (SiAC)**. Brasília-DF: Ministério das cidades, 2012. Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/> . Acesso em: 20 mar.2019

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2014**. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2016. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-água-e-esgotos/diagnostico-ae-2014>. Acesso em: 10 maio 2018.

CAETANO, Marcelo Oliveira; FAGUNDES, Asafe B.; GOMES, Luciana Paulo. Modelo de regressão linear para estimativa de geração de RCD em obras de alvenaria estrutural. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 309-324, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000200256>. Acesso em: 2 jul.2018.

CAETANO, Marcelo Oliveira; SELBACH, João Batista Oliveira; GOMES, Luciana Paulo. Composição gravimétrica dos RCD para a etapa de acabamento em obras residenciais horizontais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 51–67, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s167886212016000200079> . Acesso em: 11 fev. 2018

CAMERON, A. Colin; TRIVEDI, Pravin. **Microeconometrics Using Stata**. 1. ed. College Station, Texas: Stata Press Publication, 2009.

CAMP, Robert. **Benchmarking: The search for industry best practices that lead to superior performance**. 1. ed. Reino Unido: Taylor & Francis, 1989.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, [s.l.], v. 2, n. 6, p. 429–444, 1978. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8). Acesso em: 19 jun.2018

CHEN, Wenying; YIN, Xiang; MA, Ding. A bottom-up analysis of China's iron and steel industrial energy consumption and CO₂ emissions. **Applied Energy**, [s.l.], v. 136, n. 2014, p. 1174–1183, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.06.002> . Acesso em: 15 jun.2018

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTAVEL (CBCS); MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA); PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA) (Comp.). **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas: Subsídios para a Promoção da Construção Civil Sustentável**. São Paulo, 2014. Disponível em:<https://bit.ly/1FNON8S> . Acesso em: 21 maio 2018

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS); AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA); MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) (Org.). **Água: Fatos e Tendências**. Brasil, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/2JXwDwY>. Acesso em: 11 mai. 2018

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, DF: Conama, 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>. Acesso em: 20 jun. 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Altera art.3 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, estabelecendo nova classificação para gesso. Brasília, DF: Conama, 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649>. Acesso em: 20 jun. 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 469, de 29 de julho de 2015**. Altera a Resolução CONAMA no 307, de 05 de julho de 2002. Brasília, DF: Conama, 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=714> . Acesso em: 20 jun. 2018.

CUI, Qiang et al. The changing trend and influencing factors of energy efficiency: The case of nine countries. **Energy**, [s.l.], v. 64, p.1026-1034, jan. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.11.060>. Acesso em: 3 jul. 2018

CUNHA, Jacqueline Veneroso Alves da; COELHO, Antônio Carlos. Regressão Linear Múltipla. In: CORRAR, Luiz; PAULO, Edilson; DIAS FILHO, José Maria. **Análise Multivariada**. São Paulo: Atlas, 2014. Cap. 3. p. 131-231.

DA SILVA, Márcio Fernandes Andrade. **Gerenciamento de processos na construção civil: um estudo de caso aplicado no processo de execução de paredes em gesso acartonado**. 2000. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2000. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/78897/176541.pdf?sequence=1> . Acesso em: 15 mai 2019

DA SILVA, Robson Rodrigo; VIOLIN, Ronan Takeda. Gestão da água em canteiros de obras de construção civil. In: VIII ENCONTRO INTERNACIONAL DE

PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 2013, Maringá/PR. **Anais...** . Maringá: Cesumar, 2013. p. 121 - 130. Disponível em:http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2013/oit_mostra/Robson_Rodrigo_da_Silva2.pdf . Acesso em: 15 mar.2018

DE CASTRO, Nivaldo et al. **As tarifas de energia elétrica no Brasil e em outros países: O porquê das diferenças**. Rio de Janeiro: Fabrica de Livros, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/2S4V79w>. Acesso em: 27 mai.2019

DING, Tao; XIAO, Jianzhuang. Estimation of building-related construction and demolition waste in Shanghai. **Waste Management**, [s.l.], v. 34, n. 11, p. 2327–2334, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.07.029>. Acesso em: 12 mar.2018

EIP ENGENHARIA. **Fachada Ventilada**. Belo Horizonte: EIP Engenharia, [2019?]. Disponível em: <https://eipengenharia.com.br/fachada-aerada/> . Acesso em: 15 jun. 2019.

FARREL, M. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, [s.l.], v. 120, n. 3, p. 253–290, 1957. Disponível em:<https://www.jstor.org/stable/2343100>. Acesso em: 29 jun .2018

FORMOSO, Carlos T. et al. Material Waste in Building Industry: Main Causes and Prevention. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s.l.] v. 128, n. 4, p. 316–325, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2002\)128:4\(316\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:4(316)). Acesso em: 4 mar.2018

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175p.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energia e meio ambiente. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 21, n. 2007, p. 265–279, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a02v2159.pdf>Acesso em: 17 jun.2018

GOMES, Adriano; FERREIRA, Carlos. **Introdução à Análise Envoltória de Dados: Teoria, modelos e aplicações**. 1ª ed. Viçosa, MG: Editora UFV. 2012

GREENE, W. **Econometric analysis**. 5 edição. Nova Jersey, EUA: Pearson Education. 2002

GUO, Z. C.; FU, Z. X. Current situation of energy consumption and measures taken for energy saving in the iron and steel industry in China. **Energy**, [s.l.] v. 35, n. 11, p. 4356–4360, 2010. Disponível em:<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2009.04.008>. Acesso em: 27 jun.2018

HAIR,J. et al.. **Multivariate data analysis**. 7 ed. Upper Saddle River, New Jearsey: Prentice Hall, 2014

HU, Xiancun; LIU, Chunlu. Managing undesirable outputs in the Australian construction industry using Data Envelopment Analysis models. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 101, p.148-157, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.077>. Acesso em: 4 jul.2018

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Energy Technology Perspective 2010: Scenarios & Strategies to 2050**. Paris, França: OECD, 2010. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/etp2010.pdf> Acesso em: 11 fev. 2018

ISHIZAKA, Alessio; NEMERY, Philippe. **Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software**. Chichester, Reino Unido: Wiley & Sons, 2013.

IW8 EQUIPAMENTOS. **Bandeja Secundária e Primária para obras**. Florianópolis: IW8 Equipamentos, [2019?]. Disponível em: <http://www.iw8.com.br/noticias/bandeja-secundaria-primaria-obras.html> . Acesso em: 15 jun. 2019

KERN, Andrea Parisi; DIAS, Michele; KULAKOWSKI, Marolova; GOMES, Luciana . Waste generated in high-rise buildings construction: A quantification model based on statistical multiple regression. **Waste Management**, [s.l.], v. 39, p. 35–44, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.043> . Acesso em: 27 out. 2017

KÖCHE, José Carlos. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. ed: digital. Petrópolis, RJ. 2011

LLATAS, C.. A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. **Waste Management**, [s.l.], v. 31, n. 6, p.1261-1276, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.023>. Acesso em: 27 jun. 2017

LIU, Jia; ZHANG, Junfei; FU, Zhengben. Tourism eco-efficiency of Chinese coastal cities—Analysis based on the DEA-Tobit model. **Ocean & coastal management**, v. 148, p. 164-170, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.08.003>. Acesso em: 26 jul. 2019

MACKEY, Alison; GASS, Susan. **Second language research: Methodology and Design**. 2. ed. Nova Jearsey, Eua: Lawrence Erlbaum Associates, 2005.

MACIEL, Harine Matos; KHAN, Ahmad Saeed; ROCHA, Leonardo Andrade. Índice de ecoeficiência e a regressão Tobit: uma análise entre os anos de 1991 a 2012. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 49, n. 2, p. 27-42, 2018. Disponível em: <https://ren.emnuvens.com.br/ren/article/view/554>. Acesso em: 27 jul. 2019

MÁLIA, Miguel; BRITO, Jorge De. Indicadores de resíduos de construção e demolição para construções residenciais novas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 351, n. 21, p. 117–130, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S167886212011000300009>. Acesso em: 15 mar. 2018

MANZIONE, Leonardo; MELHADO, Silvio Burrattino. Porque os Projetos atrasam ? Uma análise crítica da ineficácia do planejamento de projetos adotada no mercado imobiliário de São Paulo. Encontro Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção Civil, São Paulo. **Anais..**, n. 1, 2007. Disponível em: <https://bdpi.usp.br/item/002129530> . Acesso em: 25 mai. 2019

MARQUES, Cristian Teixeira; GOMES, Bárbara Maria Fritzen; BRANDLI, Luciana Londero. Consumo de água e energia em canteiros de obra: um estudo de caso do diagnóstico a ações visando à sustentabilidade. **Ambiente Construído**, Porto

Alegre, v. 17, n. 4, p. 79–90, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000400186>. Acesso em: 13 jan. 2019

MASCARÓ, Juan Luis. **O custo das decisões arquitetônicas**. 5. ed. Porto Alegre, Brasil: Masquatro, 2010.

MASCARÓ, Lucia Raffo; MASCARÓ, Juan Luis. **A construção na economia nacional**. São Paulo, Brasil: Pini, 1980.

MEHTA, PK; MONTEIRO, Paulo J. **concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 1 ed. São Paulo, Brasil: IBRACON, 2008.

MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosemback; ANGULO, Sérgio Cirelli; CARELI, Elcio Duduchi. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 57–71, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/2JA8ACn>. Acesso em: 27 jan. 2018

MONTERO, A. et al. Gypsum and organic matter distribution in a mixed construction and demolition waste sorting process and their possible removal from outputs. **Journal of Hazardous Materials**, [s.l.], v. 175, n. 1–3, p. 747–753, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.072>. Acesso em: 12 abr. 2018

NETO, José da Costa Marques. **Demolição Na Bacia Hidrográfica Do Turvo Grande (Ugrhi-15)**. 2009. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP). São Carlos, 2009. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-22042010-135307/pt-br.php> . Acesso em: 27 jul. 2018

OLIVEIRA, J. A. **Proposta de avaliação e classificação da sustentabilidade ambiental de canteiros de obras - Metodologia Eco Obra aplicada no Distrito Federal-DF**. 2011.143f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Departamento de Engenharia Civil e do Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, 2011.

OLIVEIRA, Luciana Alves De; CLETO, Rocha; DELFINO, André. Artigos técnicos Indicadores ambientais em canteiros de obras : estudo de caso. **Revista IPT - Tecnologia e Inovação**, [s. l.], v. 01, n. 1, p. 42–53, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/2xDguW7>. Acesso em: 12 jan.2018

OLIVEIRA, Maria Elane Dias De et al. Diagnóstico da geração e da composição dos RCD de Fortaleza/CE. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 16, n. 3, p. 219–224, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S141341522011000300003>. Acesso em: 27 jan.2019

OLMEZ, Gulnur Maden et al. The environmental impacts of iron and steel industry: A life cycle assessment study. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 130, p. 195–201, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2016.11.006>. Acesso em: 12 maio 2018

ONU. **População mundial atingiu 7,6 bilhões de habitantes | ONU News**. 2017. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2017/06/1589091-populacao-mundial-atingiu-76-bilhoes-de-habitantes>. Acesso em: 3 maio. 2018.

OSMANI, M.; GLASS, J.; PRICE, A. D. F. Architects' perspectives on construction waste reduction by design. **Waste Management**, [s.l.], Loughborough, Reino Unido, v.28,n,1, p. 1147-1158, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2007.05.011>. Acesso em: 19 abr. 2018

PACHECO, André M. M. S. **Caracterização de sistemas de Fixação Indirecta em Pedra Natural**. 2012. Dissertação (Mestrado). Instituto Superior Técnico (IST), Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2012. Disponível em: https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395144337208/Tese_Andr%C3%A9_Pacheco.pdf . Acesso em: 10 jul. 2019

PEIXOTO, Maria Gabriela Mendonça. **Análise envoltória de dados e análise de componentes principais : uma proposta de medição do desempenho em organizações hospitalares sob a perspectiva dos Hospitais Universitários Federais do Brasil**. 2016. 230p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, 2016.

PESSARELLO, Regiane. **Estudo exploratório quanto ao consumo de água na produção de obras de edifícios : avaliação e fatores influenciadores**. 2008. Monografia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2008.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 218p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1999.

POLAT, Gul et al. Identification of Root Causes of Construction and Demolition (C&D) Waste: The Case of Turkey. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 196, n. June, p. 948–955, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.035>. Acesso em: 15 mai. 2019

PORTER, Michael E. **Competição: Estratégias competitivas essenciais**. 2. ed. Rio de Janeiro, Brasil: Editora Campus, 1999.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. **Decreto nº 18.705, de 8 de julho de 2014**. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/netahtml/sirel/atos/Decreto%2018705> . Acesso em: 15 maio 2018.

RESIDENCIAL ALTO PADRÃO. *In*: GOOGLE Imagens. Mountain View: Google, 2019. Disponível em: https://www.google.com/search?biw=1360&bih=608&tbm=isch&sa=1&ei=f40CXZDhL_i55OUP36md2AM&q=empreendimento+alto+padr%C3%A3o&oq=empreendimento+alto+&gs_l=img.3.0.0j0i24i7.184127.186930..188084...1.0..0.194.2116.0j18.....0....1..gws-wiz-img.....35i39j0i8i30j0i30.AodxgWZTMBk#imgrc=_ . Acesso em: 16 jun. 2019

RESIDENCIAL BAIXO PADRÃO. *In*: GOOGLE Imagens. Mountain View: Google, 2019. Disponível em: https://www.google.com/search?biw=1536&bih=754&tbm=isch&sa=1&ei=wowzXb_-Gfi_5OUPi5mniAU&q=residencial+florianopolis&oq=residencial+florianopolis&gs_l=img.3..0i8i30i2j0i24i4.2267.7814..7908...0.0..0.199.3255.0j24.....0....1..gws-wiz-img.....35i39j0i67j0i30j0i5i30.gql-7B9-tgo&ved=0ahUKEwi_58a0vcTjAhX4H7kGHZfMCVEQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=W-

kMR8rm0XpNMM. Acesso em: 16 jun. 2019

RICKARDS, Robert C. Setting benchmarks and evaluating balanced scorecards with data envelopment analysis. **Benchmarking: An International Journal**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 226–245, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/14635770310477762>. Acesso em: 29 maio 2018

ROY, Bernard. The optimisation problem formulation: criticism and overstepping. **Journal of the Operational Research Society**, [s. l.], v. 32, n. 6, p. 427–436, 1981. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2581530>. Acesso em: 29 jun.2018

SÁEZ, Paola Villoria; MERINO, Mercedes; PORRAS-AMORES, César. Estimation of construction and demolition waste volume generation in new residential buildings in Spain. **Waste Management & Research**, [s.l.], v. 30, n. 2, p. 137–146, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1177/0734242X11423955>. Acesso em: 26 jun. 2018

SARRA, Alessandro; MAZZOCCHITTI, Marialisa; RAPPOSELLI, Agnese. Evaluating joint environmental and cost performance in municipal waste management systems through data envelopment analysis: Scale effects and policy implications. **Ecological Indicators**, v. 73, p. 756-771, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.10.035>. Acesso em: 26 jun. 2018

SBRIGHI NETO, C. Agregados naturais, britados e artificiais para concreto. In: **Concreto: ciência e tecnologia Vol II**. São Paulo: IBRACON, 2011. p. 233–260.

SCHRAMM, Wilbur. **Notes on case studies of instructional media projects**. Palo Alto, EUA, Stanford University, 1971. 43p.

SINDUSCON. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil: A experiência do SindusCon-SP**. 1ed. São Paulo, 2005. Disponível em: <https://bit.ly/2LcYYAJ>. Acesso em: 17 nov. 2017

SOLÍS-GUZMÁN, Jaime et al. A Spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste Management**, [s.l.], v. 29, n. 9, p. 2542–2548, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/0.1016/j.wasman.2009.05.009> . Acesso em: 13 abr. 2018

SOMMER, Lucila. **Contribuições para um método de identificação de perdas por improvisação em canteiros de obras**. 2010. Dissertação de Mestrado. Programa de pós graduação em Engenharia Civil – UFRGS. Porto Alegre, RS 2010. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/34763> . Acesso em: 15 jun. 2019

SUEYOSHI, Toshiyuki; YUAN, Yan; GOTO, Mika. A literature study for DEA applied to energy and environment. **Energy Economics**, [s. l.], v. 62, p. 104–124, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2016.11.006> . Acesso em: 27 maio 2018

SULMODULOS. **Divisórias em Gesso Acartonado**. 2019. Disponível em: <http://www.sulmodulos.com.br/categoria/divisorias/gessoacartonado> . Acesso em: 19 jun. 2019

TEIXEIRA, Luciene Pires. **A indústria de construção brasileira sob ótica da demanda efetiva**. 2009. Universidade Federal de Viçosa, 2009. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Economia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 2009. Disponível em: <https://bit.ly/2JnFEPg> . Acesso em: 03 jun.2019

TESSARO, Alessandra Buss; SÁ, Jocelito Saccol De; SCREMIN, Lucas Bastianello. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 121–130, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212012000200008> . Acesso em: 15 jul.2018

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos - CEBRAP**, [s. l.], n. 79, p. 47–69, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S010133002007000300003>. Acesso em: 17 maio 2018

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Buildings and climate change: summary for decision-makers**. Paris: UNEP DTIE, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/2zyOFkW> . Acesso em: 20 abr. 2018.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Global Environment Outlook 6**. Londres, Reino Unido: Earthscan Publications, 2019, 460p. Disponível em: <https://bit.ly/30mttYD> . Acesso em: 24 maio 2018

WASHINGTON, S.P; KARLAFTIS, M.G; MANNERING, F.L. **Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis**. 2 ed. Danvers, EUA: CRC Press. Chapman and Hall. 2011

WORRELL, Ernst et al. Carbon dioxide emissions from global cement industry. **Annual Review of Environment and Resources**. Palo Alto, EUA, v.26, p.303-329,2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.26.1.303>. Acesso em: 25.07.2019

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVOLPMENT (WBCSD). **Vision 2050:the new agenda for business**. Nova York, 2010. Disponível em:<https://www.wbcd.org/contentwbc/download/1746/21728>Acesso em: 23 mar. 2018

XUE, Xiaolong et al. Measuring energy consumption efficiency of the construction industry: The case of China. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 107, p. 509–515, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepr o.2014.04.082>. Acesso em: 18 abr. 2018

YILMAZ, Mustafa; BAKIŞ, Adem. Sustainability in Construction Sector. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, [s.l.], v. 195, p. 2253–2262, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.312> . Acesso em: 18 mai.2019

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

APÊNDICE A – ENTREVISTA REALIZADA COM GESTORES

Pesquisa de eficiência ambiental em canteiro de obras de edificações

O presente formulário aborda questões importantes para a elaboração da pesquisa de mestrado em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Envolve 30 questões de respostas rápidas e objetivas - estimando o tempo aprox. 10 min para responde-lo.

Caso alguma pergunta não se saiba a resposta apenas deixa-la em branco, que ficará em estado de pendente.

*Obrigatório

1. Nome do Empreendimento

2. Endereço / Localização

3. Finalidade da edificação

Marcar apenas uma oval.

- Residencial
- Comercial
- Institucional
- Outro: _____

4. Tipo de Fachada

Marque todas que se aplicam.

- Pintura PVA
- Monocapa
- Pedras Ornamentais
- Placas Ceramicas
- Pele de Vidro
- Placas de ACM (Aluminium Composite Material)
- Outro: _____

5. Numero Pavimentos / Economias

6. Area Total / Area Tipo

7. Sistema de Parede Divisória*Marcar apenas uma oval.*

- Drywall - Gesso acartonado
- Alvenaria
- Outro: _____

8. Data do Início da obra

Indique aproximadamente

Exemplo: 15 de dezembro de 2012 _____**9. Data de Entrega (ou Habite-se)**

Caso estiver em andamento, indicar a previsão de entrega

Exemplo: 15 de dezembro de 2012 _____**SOBRE A GESTÃO**

Busca-se entender da política de gestão da construtora e características no canteiro de obras

**10. A empresa construtora possui alguma certificação?***Marque todas que se aplicam.*

- ISO 9.001 (Gestão da Qualidade)
- ISO 14.001 (Gestão Ambiental)
- PBQP-H (Programa Brasileiro de Produtividade e Qualidade do Habitat - SIAC)
- LEED, BREEM, AQUA (Sustentabilidade)
- Sem Certificação
- Outro: _____

11. Durante a construção do empreendimento teve uma coordenadoria de projetos ou compatibilização? **Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não
- Não sei responder

12. Detalhamento e tipo projeto trabalhado

Escolha as opções que foram trabalhadas durante a obra
Marque todas que se aplicam.

- CAD (Computer Aided Design)
- BIM (Building Information Modeling)
- Perspectivas em 3D
- Projeto de modulação (Piso, alvenaria, revestimentos, etc)
- Projeto de layout de canteiro
- Detalhamentos arquitetônicos em geral
- Outro: _____

13. Há um departamento específico de projeto ou planejamento?

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não
- Outro: _____

14. Há um sistema de gestão informatizado ou padronizado

Exemplo: SIENGE, Job System, ...
Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não
- Outro: _____

15. Qual sistema de proteção coletiva utilizado na obra (Segurança) - Proteção Periférica (Madeira) *

Marcar apenas uma oval.

- Andaime Fachadeiro
- Plataformas (bandejas) com fechamento de vãos em madeira
- Plataforma (bandejas) com fechamento de vãos em rede
- Redes de segurança
- Outro: _____

16. Numero de operários (pico) *

Inserir aproximadamente o pico de pessoas que estiveram em obra

17. Descreva sobre a equipe (funcionários) da incorporadora/construtora

Caso tiver mais de uma torre, indicar do canteiro de obra por inteiro.
 Marcar apenas uma oval por linha.

	0	1	2	3	4 ou mais	Não sei responder
Gerente de obras / projeto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Engenheiro Residente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Engenheiro junior (recém formado)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estagiário	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Técnico de Edificações	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Técnico de Segurança	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Almoxarife	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mestre de obra	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS



18. Durante a construção se reutilizava o resíduo (caliça) internamente? *

No caso da caliça gerada (concreto, alvenaria) foi utilizada como enchimento de vãos, base de contrapiso, etc?

Marcar apenas uma oval.

- Sim, quando viável era utilizada para enchimentos
- Não, o resíduo era destinado apenas ao descarte
- Não sei responder

19. Alguma Ferramenta de Gestão de Qualidade (CONSTRUÇÃO ENXUTA)

Marcar apenas uma oval.

- Kan Ban
- Just In Time
- Ishikawa (6M)
- PDCA
- 5S
- Outro

20. Havia treinamento / Conscientização dos operários *

Treinamento para reduzir desperdícios, segregar o material nas palestras DDS

Marcar apenas uma oval.

- Sempre
- Eventualmente
- Raramente (exceto quando necessário)
- Não sei responder

21. Classifique a Organização do Canteiro

Critérios: Setorização, Limpeza Geral, Layout organizado, Instalações Provisórias
Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

22. Sistema de Forma (laje e pilares) e Aço Pronto (mais industrializado)

23. Realizava segregação dos resíduos (Baías / Containers)

Marcar apenas uma oval.

- Sim, separado conforme as classes do Conama
- Não, descarte com os resíduos misturados

USO DE ENERGIA ELÉTRICA



24. Utilização de DR's nos quadros de disjuntores

Diferencial Residual é utilizado contra fugas de corrente aumentando a segurança contra choques elétricos

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não
- Não sei responder

25. Foi utilizado transformador de tensão na obra?

Exemplo: para caso para obter tensão de 380 V

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não
- Não sei responder

26. Havia eletricitista(s) em tempo integral durante o expediente do canteiro?

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não
- Raramente
- Não sei responder

27. Avalie qual era o estado dos equipamentos

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Antigo ou mal conservado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Equipamento Novo

28. Avalie o estado das enfições e extensões

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Precária e com emendas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Nova

29. Quantidade de equipamentos *

Marcar apenas uma oval por linha.

	0	1	2	3	mais de 4	Não sei responder
Elevador Cremalheira (**caso cabine dupla assinalar 2)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Grua	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mini Grua / Dispositivo Elevatório	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Betoneira	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Serra Circular de Mesa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bombas de Recalque	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Chuveiros (aprox.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

30. Alimentação Chuveiros

31. Gerador em obra?

32. Dispositivos de Economia (Timers, LEDs)

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não

Uso da Água



33. Limpeza periódica da obra e calçada*Marcar apenas uma oval.*

- Com frequência (mais de 2x por semana)
 Somente quando necessário
 Raramente
 Não sei responder

34. Sistema predominante de revestimento em argamassa **Marcar apenas uma oval.*

- Ensacada
 Estabilizada
 Silos
 In-loco
 Outro: _____

35. Sistema predominante de revestimento em Gesso*Marcar apenas uma oval.*

- Convencional
 Acartonado
 Outro: _____

36. Concreto Usinado ou in-loco*Marcar apenas uma oval.*

- Usinado
 In Loco / Feito no local
 Outro: _____

37. Dispositivos de Economia (Timers, Fecho 3/4)

38. Há Piscinas no projeto? Quantas? TESTE + Entrega cheia?

39. Havia hidráulico(s) em tempo integral durante o expediente do canteiro?*Marcar apenas uma oval.*

- Sim
 Não
 Raramente
 Não sei responder