

RENATHIELLY FERNANDA DA SILVA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO E DE EMISSÕES DE
CO₂ DE SISTEMAS DE VEDAÇÕES PARA UMA HABITAÇÃO RURAL
DE INTERESSE SOCIAL

CASCABEL
PARANÁ – BRASIL
OUTUBRO-2017

RENATHIELLY FERNANDA DA SILVA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO E DE EMISSÕES DE
CO₂ DE SISTEMAS DE VEDAÇÕES PARA UMA HABITAÇÃO RURAL
DE INTERESSE SOCIAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura
da Universidade Estadual do Paraná em cumprimento
aos requisitos para obtenção do título de Mestre em
Engenharia de Energia na Agricultura, área de
concentração Agroenergia.

Orientadora: Dra. Maritane Prior

Coorientador: Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
OUTUBRO -2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Sistema de Bibliotecas – UNIOESTE – Campus Cascavel)

Silva, Renathielly Fernanda da.

S578a Avaliação do ciclo de vida energético e de emissões de CO2 de sistemas de
vedações para uma habitação rural de interesse social / Renathielly Fernanda da
Silva.--- Cascavel: UNIOESTE, 2017.
117 f.

Orientadora: Dra. Maritane Prior

Co-orientador: Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus
de Cascavel, 2017.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura
Inclui Bibliografia

1. Sustentabilidade. 2. Energia - Consumo. 3. Construção civil. I. Prior,
Maritane. II. Souza, Samuel Nelson Melegari. III. Universidade Estadual do Oeste
do Paraná. IV. Título.

CDD 333.7963

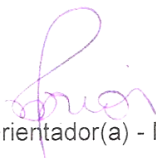
Rosângela A. A. Silva – CRB 9ª/1810

FOLHA DE APROVAÇÃO

RENATHIELLY FERNANDA DA SILVA

Avaliação do ciclo de vida energético e de emissões de CO₂ de sistemas de
vedações para uma habitação rural de interesse social

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do
título de Mestra em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração
Agroenergia, linha de pesquisa Fontes Renováveis e Racionalização de Energia Na
Agroindústria e Agricultura, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



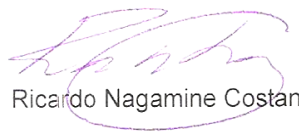
Orientador(a) - Maritane Prior

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Hitomi Mukai

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Ricardo Nagamine Costanzi

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

EPÍGRAFE

*“Mergulha a mente, quanto possível no estudo.
O estudo liberta da ignorância e favorece a criatura ao discernimento.
O estudo e o trabalho são as asas que facilitam a evolução do ser.
O conhecimento é a mensagem da vida.
Não apenas nos educandários podes estudar.
A própria vida é um livro aberto, que ensina a quem deseja aprender.”*

Divaldo Franco/Joanna de Ângelis

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza e Dra. Maritane Prior , pelas preciosas orientações.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura (PPGEA) pelo conhecimento compartilhado e pela prestatividade.

À assistente do programa Vanderléia L. S. Schmidt pela prontidão.

À Dra Hitomi Mukai e ao Dr. Ricardo Costanzi membros da banca da defesa, pelas preciosas contribuições.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), ao Centro Universitário Assis Gurgacz, à Universidade Paranaense (Unipar), à Universidade Estadual do Paraná (Unespar) e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), instituições que fizeram parte da minha caminhada acadêmica até este momento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa cedida.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumo energético por tonelada transportada por quilômetro.....	7
Tabela 2: Proporção da população residente de 0 a 14 anos, de 15 a 64 anos e de Anos 65 anos ou mais na população total, por situação do domicílio - Brasil - 1960/2010.....	8
Tabela 3: Fator de emissão de CO ₂ por fonte energética	15
Tabela 4: Percentual de uso de fontes energéticas na produção de materiais de construção. .	15
Tabela 5: Fator de emissão de CO ₂ por unidade de combustível	17
Tabela 6: Produção de cimento nas economias emergentes (em milhões de toneladas)	19
Tabela 7: Consumo de energia pelo setor de cerâmicos no Brasil (2006 – 2015)	19
Tabela 8: Percentuais de utilização de fontes energéticas no setor da indústria cerâmica.....	20
Tabela 9: Consumo de energia pelo setor cimentício no Brasil (2006 – 2015)	20
Tabela 10: Percentuais de utilização de fontes energéticas no setor da indústria do cimento	20
Tabela 11: Cenários.....	27
Tabela 12: Fator de reposição da pintura.	30
Tabela 13: Fator de reposição dos componentes do <i>steel frame</i>	30
Tabela 14: Fatores de energia e emissões para desconstrução e demolição.....	30
Tabela 15: Cenários.....	34
Tabela 16: Materiais que representam mais que 5% da energia de pré-uso no cenário 1	40
Tabela 17: Materiais que representam mais que 5% da energia de pré-uso no cenário 2	41
Tabela 18: Materiais que representam mais que 5% da energia de pré-uso no cenário 3.....	41
Tabela 19: Materiais que representam mais que 5% da energia de pré-uso no cenário 4.....	42
Tabela 20: Associação dos valores energéticos com valores financeiros	47
Tabela 21: Consumo energético com condicionamento térmico	47
Tabela 22: Percentuais de energia e emissões advindos da mão de obra e uso de equipamentos.	48
Tabela 23: Energia total no ciclo de vida considerando o uso da edificação	49
Tabela 24: Emissões de CO ₂ totais no ciclo de vida considerando o uso da edificação	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Dimensões da sustentabilidade. Fonte: (UNEP; SETAC, 2007).....	5
Figura 2: Perspectivas dos modelos de moradias do PNHR. (a) Modelo Rural 46. (b) Modelo Rural 55. (c) Modelo Rural 63. (d) modelo CIG 47.	9
Figura 3: Estrutura da avaliação de ciclo de vida. Fonte: (ABNT, 2009a).....	10
Figura 4: Vedação com bloco cerâmico. Fonte: Pedroso (2015).	18
Figura 5: Alvenaria estrutural. Fonte: Pedroso (2015).....	21
Figura 6: Steel frame. Fonte: Pedroso (2015).	22
Figura 7: Parede de concreto moldada no local. Fonte: Pedroso (2015).....	23
Figura 8: Localização Cascavel-PR. Fonte: IBGE adaptado pelo autor (2015).....	25
Figura 9: Croqui do projeto selecionado (sem escala). Fonte: Cohapar (2012). Adaptado pelo autor.	26
Figura 10: Variáveis consideradas neste estudo.	28
Figura 11: Energia pré-uso de cada cenário	35
Figura 12: Energia de pré-uso do cenário 4 com reutilização das fôrmas de alumínio	36
Figura 13: Energia de pré-uso do cenário 4 utilizando fôrmas de alumínio reciclado.....	36
Figura 14: Energia da fase de uso (manutenção)	37
Figura 15: Energia da fase de pós-uso	38
Figura 16: Energia total no ciclo de vida dos SVVIE	39
Figura 17: Comparação da energia gasta com transporte com a energia bruta total de cada cenário	39
Figura 18: Comparação da energia incorporada aos materiais com a energia bruta total de cada cenário	40
Figura 19: Emissões de CO ₂ na fase de pré-uso.....	42
Figura 20: Emissões de CO ₂ na fase de uso	43
Figura 21: Emissões de CO ₂ na fase de pós-uso	43
Figura 22: Emissões de CO ₂ totais	44
Figura 23: Comparação das emissões de CO ₂ com transporte com as emissões brutas totais de cada cenário	45
Figura 24: Comparação das emissões de CO ₂ incorporadas aos materiais com as emissões brutas totais de cada cenário	45
Figura 25: Massa dos resíduos sólidos provindos dos sistemas de vedação incluindo desperdícios	46
Figura 26: Comparação da energia incorporada com as emissões de CO ₂ cada cenário	48

SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES DE MEDIDAS

ACVE – Avaliação de Ciclo de Vida Energético

ACV – Avaliação de Ciclo de Vida

EI – Energia Incorporada

EE – Energia Embutida

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ISO - International Organization for Standardization

NBR – Norma Brasileira

ICV – Inventário de Ciclo de Vida

AICV – Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

VUP – Vida Útil de Projeto

PBT - Peso Bruto Total

PBTC - Peso Bruto Total Combinado

t – tonelada

km– quilômetro

J/m² - Joule por metro quadrado

FAO – Organização para Agricultura e Alimentação da ONU

ONU – Organização das Nações Unidas

BEN – Balanço Energético Nacional

EPE – Empresa de Planejamento Energético

OIE – Oferta Interna de Energia

TEP – Tonelada Equivalente de Petróleo

UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

IBICT – Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia

LSF – Ligth Steel Framing

EPS – Polietileno Expandido

USP – Universidade de São Paulo

ACM – Alumínio Composto

ET – Consumo de Energia no Transporte da Fábrica até o Canteiro de Obras

ETOT – Consumo de Energia Total no ciclo de vida

CONMETRO - Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

UNEP - United Nations Environment Programme

SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry

GEE – Gases de Efeito Estufa

PBACV - Programa Brasileiro de Avaliação de Ciclo de Vida

MTC - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

GJ/m² - Giga joule por metro quadrado

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

COPPE - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia

CE – Conteúdo energético

MJ/m² - Mega joule por metro quadrado

CO₂ - Gás carbônico

SVVIE - Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas

EHU – Edificação Habitacional Unifamiliar

SILVA, Renathielly Fernanda da. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Agosto de 2016. **Avaliação do ciclo de vida energético e de emissões de CO₂ de sistemas de vedações para uma habitação rural de interesse social.**

Orientador: Maritane Prior

Coorientador: Samuel Nelson Melegari de Souza

RESUMO

A construção civil é responsável por uma grande parte do consumo mundial de energia, consequentemente também pelas emissões de gás carbônico, uma vez que estas estão diretamente relacionadas à geração de energia. A avaliação de ciclo de vida (ACV) é uma ferramenta que permite computar as entradas e saídas de uma variável em um produto, processo ou parte dele, considerando a fase de pré-uso, uso e pós-uso. Neste trabalho foi analisado o fluxo de energia e as emissões de gás carbônico em sistemas de vedação vertical interna e externa (SVVIEs) de uma residência rural de interesse social. Para realizar avaliação de ciclo de vida energético (ACVE) e a avaliação de ciclo de vida de emissões de gás carbônico (ACVCO₂) destes sistemas foi adotada a metodologia proposta pela NBR ISO 14040 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura, delimitando o sistema como um estudo de caso para o município de Cascavel – Paraná. Neste estudo de caso consideraram-se quatro cenários, onde o cenário 1 corresponde ao sistema de vedação convencional, com estrutura de concreto armado e blocos cerâmicos e os demais cenários são sistemas alternativos que ainda estão ganhando espaço no mercado brasileiro. O cenário 2 corresponde a alvenaria estrutural com blocos de concreto, o cenário 3 equivale ao *steel framing* e o cenário 4 equivale as paredes de concreto armado moldado no local. Analisando o ciclo de vida dos quatro cenários percebeu-se que o cenário 1 requer 3,19 GJ/m², o cenário 2 solicita 2,89 GJ/m², o cenário 3 necessita de 3,47 GJ/m² e o cenário 4 demanda 2,60 GJ/m², considerando que para este haja 100 utilizações da fôrmas de alumínio virgem. No entanto se considerarmos a energia que é utilizada com equipamentos durante a utilização da edificação o cenário 1 consome 19,52 GJ/m², o cenário 2 requer 19,22 GJ/m², o cenário 3 necessita de 19,20 GJ/m² e o cenário demanda 18,93 GJ/m². Analisando as emissões de CO₂ durante o ciclo de vida destes SVVIEs concluiu-se que para este estudo de caso o cenário 1 emite 0,22 t.CO₂/m² de construção, o cenário 2 emite 0,21 t.CO₂/m² de construção, o cenário 3 emite 0,18 t.CO₂/m² de construção e o cenário 4 emite 0,15 t.CO₂/m² de construção. Quando consideradas as emissões oriundas da utilização, têm-se os seguintes valores: 0,61 t.CO₂/m² para o cenário 1, 0,60 t.CO₂/m² para o cenário 2, 0,56 t.CO₂/m² para o cenário 3 e 0,57 t.CO₂/m² para o cenário 4. Desta forma o cenário 4 mostrou-se o mais sustentável diante dos parâmetros analisados.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade, eficiência energética, construção civil.

SILVA, Renathieelly Fernanda da . Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Agosto de 2016. **Assessment of the energy life cycle and CO₂ emissions of fence systems for rural housing of social interest.**

Advisor: Maritane Prior

ABSTRACT

Civil construction is responsible for a large part of the world's energy consumption, and consequently also for carbon dioxide emissions, since these are directly related to the generation of energy. Life cycle assessment (LCA) is a tool that allows computing the inputs and outputs of a variable in a product, process or part of it, considering the phase of pre-use, use and post-use. In this work the energy flow and the carbon dioxide emissions in internal and external vertical sealing systems (SVVIEs) of a rural residence of social interest were analyzed. The methodology proposed by the NBR ISO 14040 - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and structure was adopted to perform energy life cycle assessment (ACVE) and the carbon cycle life cycle assessment (ACVCO₂) of these systems. , delimiting the system as a case study for the municipality of Cascavel - Paraná. In this case study, four scenarios were considered, where scenario 1 corresponds to the conventional sealing system, with reinforced concrete structure and ceramic blocks and the other scenarios are alternative systems that are still gaining space in the Brazilian market. Scenario 2 corresponds to structural masonry with concrete blocks, scenario 3 is equivalent to steel framing and scenario 4 is equivalent to the walls of reinforced concrete cast in place. Analyzing the life cycle of the four scenarios it was observed that scenario 1 requires 3.19 GJ / m², scenario 2 requires 2.89 GJ / m², scenario 3 requires 3.47 GJ / m² and scenario 4 requires 2.60 GJ / m², considering that for this there are 100 uses of the form of virgin aluminum. However if we consider the energy that is used with equipment during the use of the building scenario 1 consumes 19.52 GJ / m², scenario 2 requires 19.22 GJ / m², scenario 3 requires 19.20 GJ / m² and the scenario demands 18.93 GJ / m². Analyzing the CO₂ emissions during the life cycle of these SVVIEs, it was concluded that for this case scenario scenario 1 emits 0.22 t.CO₂ / m² of construction, scenario 2 emits 0.21 t.CO₂ / m² of construction , scenario 3 emits 0.18 t.CO₂ / m² of construction and scenario 4 emits 0.15 t.CO₂ / m² of construction. When considering emissions from the use, the following values are given: 0.61 t.CO₂ / m² for scenario 1, 0.60 t.CO₂ / m² for scenario 2, 056 t.CO₂ / m² for the scenario 3 and 057 t.CO₂ / m² for scenario 4. In this way scenario 4 was the most sustainable before the parameters analyzed.

KEYWORDS: Sustainability, energy efficiency, civil construction.

SUMÁRIO

RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Justificativa.....	2
1.2 Objetivos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Racionalização de energia em edificações	4
2.2 Sustentabilidade na construção.....	5
2.2.1 Desperdícios na construção civil	6
2.2.2 Energia gasta com transporte na construção civil	6
2.3. População e habitação rural.....	7
2.4 Avaliação de ciclo de vida.....	9
2.4.1 Panorama nacional da avaliação de ciclo de vida energético de edificações	11
2.4.2 Panorama internacional da avaliação de ciclo de vida energético de edificações.....	13
2.4.3 Avaliação de emissões de gás carbônico no ciclo de vida de edificações.....	14
2.5 Sistemas de vedações verticais internas e externas	17
2.5.1 Bloco cerâmico com estrutura de concreto armado.....	18
2.5.2 Alvenaria estrutural com blocos de concreto	21
2.5.3 <i>Steel frame</i>	22
2.5.4 Parede de concreto armado moldado no local da obra	23
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Delimitação.....	25
3.2 Projetos e quantitativos.....	26
3.3 Metodologia para avaliação do ciclo de vida dos SVVIEs	27
3.4 Desempenho térmico das edificações.....	31
3.5 Custo dos sistemas de vedação vertical interna e externa	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 Energia incorporada aos SVVIEs	34
4.2 Emissões oriundas do ciclo de vida dos SVVIE's.....	42
4.3 Resíduos provindos dos SVVIE's	46
4.5 Gestão energética da edificação	47
4.6 Análise geral do ciclo de vida dos SVVIE's	48

5 CONCLUSÕES	50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
APÊNDICE A – PROJETO ARQUITETÔNICO	62
APÊNDICE B – PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO	64
APÊNDICE C – PROJETO ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCO DE CONCRETO	75
APÊNDICE D – PROJETO EM <i>STEEL FRAME</i>	80
APÊNDICE E – PROJETO DAS PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS NO LOCAL	82
APÊNDICE F – ENERGIA INCORPORADA AOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	85
APÊNDICE G – INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE CO ₂	88
APÊNDICE H – DISTÂNCIAS	89
APÊNDICE I – ENERGIA NA FASE DE PRÉ-USO	95
APÊNDICE J – ENERGIA NA FASE DE USO	99
APÊNDICE K – ENERGIA NA FASE DE PÓS-USO	101
APÊNDICE L – EMISSÕES NA FASE DE PRÉ-USO	105
APÊNDICE M – EMISSÕES NA FASE DE USO	109
APÊNDICE N – EMISSÕES NA FASE DE PÓS-USO	113
APÊNDICE O – CONSUMO DE ENRGIA PELOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS UTILIZADOS DURANTE A VIDA ÚTIL DA EDIFICAÇÃO	117

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção é responsável por cerca de 40% do consumo mundial de energia e é responsável ainda por aproximadamente 30% das emissões de gases de efeito estufa (GEE), no entanto este seguimento tem apresentado potencial para minimizar esses efeitos (UNEP, 2015).

Umas das ferramentas que podem ser utilizadas para essa redução é a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). A ACV ganhou importância nos anos 1970 quando as indústrias se tornaram mais conscientes e interessadas em preservar os recursos naturais. A ACV é uma forma de avaliar sistemicamente os impactos ambientais de um produto ou um processo no decorrer de toda sua vida útil e objetiva conciliar a preservação dos recursos naturais, tomar atitudes preventivas quanto à poluição, aperfeiçoar o sistema econômico e ainda manter um ecossistema sustentável (CIAMBRONE, 1997).

Diferentes abordagens podem ser adotadas na ACV, uma delas é a Avaliação do Ciclo Vida Energético (ACVE) que corresponde a todas as necessidades energéticas na construção de uma ACV. O sistema inclui a energia de fabricação (energia incorporada), o uso (energia operacional) e a fase de demolição. A fase de fabricação inclui a fabricação e transporte de materiais de construção. A fase de operação inclui todas as atividades (aquecimento, arrefecimento, iluminação, eletrodomésticos, cozinha, água quente) relacionadas com o uso do edifício, ao longo do seu tempo de vida e também a manutenção do edifício. A última fase é a fase de demolição que inclui destruição do edifício e de transporte dos resíduos sólidos até aterros ou usinas de reciclagem (ATMACA; ATMACA, 2015).

Estudos indicam que se as melhorias para eficiência e gestão energética do edifício considerarem apenas o desempenho térmico de materiais, sem considerar a energia embutida na fabricação dos produtos, transporte e instalação, a energia gasta no ciclo total da vida de uma construção pode ser ainda maior do que se os investimentos em desempenho térmico não fossem feitos (CRAWFORD *et al.*, 2016), (INGARAO *et al.*, 2016a).

Neste trabalho foram analisados, por meio de ACVE e ACVCO₂, os materiais utilizados nos Sistemas de Vedação Vertical Interna e Externa (SVVIEs), que são definidos pela norma 15575-2 como partes da edificação habitacional que limitam verticalmente a edificação e seus ambientes, como as fachadas e as paredes ou divisórias internas (ABNT, 2013).

Outra abordagem integrante da ACV que foi adotada neste trabalho foi a Avaliação de Emissões de Gás Carbônico (ACVCO₂) que é feita paralelamente a ACVE, uma vez que as emissões deste gás estão diretamente ligadas ao gasto de energia, variando de acordo com a fonte energética utilizada.

Desta forma este trabalho objetivou a realização de uma ACVE e também de uma ACVCO₂, para diferentes SVVIEs de uma habitação rural de interesse social em um estudo de caso para o município de Cascavel no Paraná.

1.1 Justificativa

De acordo com perspectivas da ONU a população mundial em 2100 alcançará 11,2 bilhões de pessoas (UNITED STATES, 2015), ocasionando aumento na demanda de habitações.

A ACVE dos materiais utilizados nessas habitações pode subsidiar a identificação de oportunidades para a melhoria do desempenho ambiental dos insumos utilizados em sua construção, pode ainda aumentar o nível de informação dos tomadores de decisão na indústria e nas organizações governamentais ou não governamentais (visando, por exemplo, ao planejamento estratégico, à definição de prioridades ou ao projeto ou reprojeção de produtos ou processos), formar indicadores de desempenho ambiental e ser uma ferramenta de *marketing* (como na implementação de um esquema de rotulagem ambiental).

De acordo com Phillis, Kouikoglou e Verdugo (2017) mediante análise pode-se identificar os insumos ou processos que mais afetam a sustentabilidade e se esses insumos forem melhorados a sustentabilidade ambiental pode ser atingida mais rapidamente.

Segundo Paulsen e Sposto (2013) o maior potencial de redução de energia incorporada as edificações brasileiras de interesse social está conectada aos sistemas de vedação pela escolha de materiais e sistemas com menos energia incorporada e maior durabilidade para diminuir a necessidade de manutenção e substituição de materiais, neste sentido a realização da ACVE e ACVCO₂ de SVVIEs podem tornar estas residências mais sustentáveis.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral a realização da ACVE, considerando as etapas de fabricação (energia incorporada), o uso (energia operacional) e a fase de demolição, de

sistemas de vedação vertical interna e externa de uma residência de interesse social localizada na zona rural, que neste estudo de caso está localizada em Cascavel - PR. Dentro deste objetivo geral, apresentam-se os seguintes objetivos específicos:

1. Comparar o dispêndio energético, durante o ciclo de vida, dos SVVIEs de uma residência para os seguintes cenários: sistema de vedação convencional (estrutura de concreto armado e vedação em blocos cerâmicos) e sistemas alternativos (alvenaria estrutural de blocos de concreto, *steel frame* e parede de concreto).
2. Analisar as emissões de CO₂ durante o ciclo de vidas destes SVVIEs;
3. Verificar qual sistema de vedação tem o melhor desempenho térmico;
4. Determinar o cenário mais sustentável, com o objetivo de diminuir o gasto de energia e as emissões de CO₂.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Racionalização de energia em edificações

Para racionalizar energia no setor residencial é necessário que este seja energeticamente eficiente, ou seja, que possibilite conforto térmico, acústico e visual com baixo gasto energético (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2012).

No Brasil a racionalização de energia é norteadada pelo Plano Nacional de Eficiência Energética (BRASIL, 2010) que sintetiza as legislações vigentes sobre a eficiência energética e apresenta as competências de cada setor para a racionalização de energia.

O Plano Nacional de Eficiência Energética dedica um capítulo à racionalização de energia em edificações, onde evidencia que o consumo energético está diretamente ligado ao crescimento do produto interno bruto (PIB) e que os países os quais buscam o desenvolvimento devem fazê-lo de forma eficiente e sustentável.

Este mesmo documento relata que com a crise energética de 2001 foi criada a política nacional de conservação e uso racional de energia (BRASIL, 2001), bem como o incremento do Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica (PROCEL) para propor medidas racionalizadoras de energia.

De acordo com o BEM (EPE, 2016) o consumo energético do setor residencial corresponde a 9,3% do consumo energético total nacional, esse consumo é alcançado devido ao uso de equipamentos, como eletrodomésticos e eletroeletrônicos (PROCEL, 2017).

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2012) o consumo com alguns destes equipamentos, principalmente os relacionados à iluminação, ventilação e condicionamento térmico podem ser reduzidos com técnicas de arquitetura bioclimática, bem como aproveitamento da iluminação natural, favorecimento da ventilação cruzada e correto posicionamento dos ambientes.

Em um estudo feito por Bunning e Crawford (2016) na Austrália, verificou-se a economia de 24% da energia elétrica consumida mensalmente em edifícios comerciais apenas com a utilização de técnicas de sombreamento, sem prejudicar o conforto térmico dos usuários e reduzindo a necessidade de condicionamento térmico artificial.

Na China, por exemplo, as técnicas de racionalização de energia incluem o isolamento térmico do telhado e das paredes externas, técnicas de sombreamento e ventilação natural considerando as diferentes regiões climáticas do país (HUO; SHAO; HUO, 2017).

2.2 Sustentabilidade na construção

A sustentabilidade é o equilíbrio entre as dimensões (Figura 1): social, econômica e ambiental (WCED, 1987). Desta forma uma construção sustentável pode ser definida como uma obra que ao longo do seu ciclo de vida é capaz de promover um desempenho satisfatório em todas as dimensões citadas (KAMALI; HEWAGE, 2017).

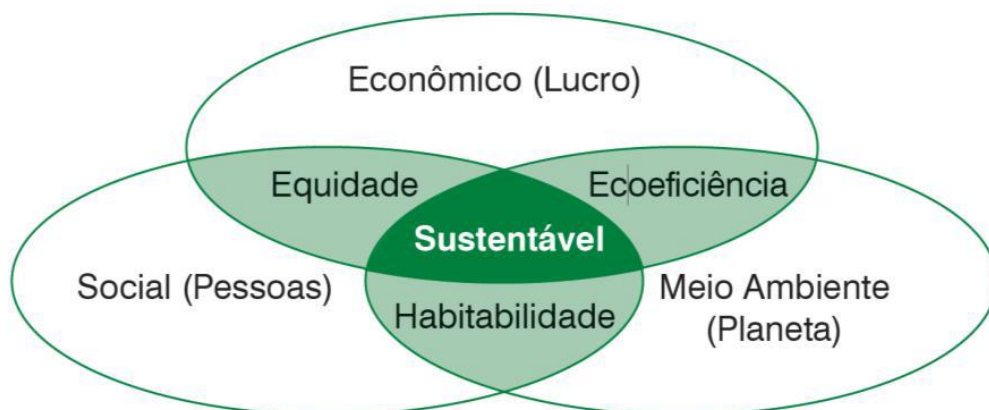


Figura 1: Dimensões da sustentabilidade. Fonte: (UNEP; SETAC, 2007).

A indústria da construção é caracterizada por um enorme consumo de matérias-primas (cerca de 60% das extrações da litosfera) e também por um alto consumo de energia, já que os ciclos de vida de edifícios representam cerca de 40% do demanda global de energia (INGARAO *et al*, 2016b).

A geração de energia é um dos principais contribuintes para as emissões de GEE e outros tipos de poluição do ar que afetam negativamente a saúde humana e o meio ambiente (LOTT; PYE; DODDS, 2017). Para um desenvolvimento sustentável, ou seja, utilizando os recursos naturais dentro de sua capacidade, é preciso ações de entidades privadas e públicas e ainda da população (UNEP; SETAC , 2007).

No Brasil percebe-se que a população atenta-se a preservação ambiental, pois um estudo recente onde 762 empresas foram analisadas, mostrou que empresas brasileiras que investem em produtos sustentáveis obtêm retorno financeiro, devido a preferência dos consumidores nacionais por produtos sustentáveis (SEVERO; GUIMARÃES; DORION, 2017).

Nos países desenvolvidos a avaliação e classificação das edificações quanto ao seu desempenho energético iniciou-se em meados dos anos 70, com a crise do petróleo. No Brasil algumas atitudes começaram a ser tomadas 10 anos mais tarde, contudo apenas em 2001 com

a crise energética nacional ocorreram estudos mais notáveis, mesmo assim, atualmente no Brasil, apenas para prédios públicos é exigido esse tipo de certificação (FOSSATI et al., 2016).

Para uma construção sustentável, na fase de projeto, deve-se realizar uma seleção de materiais que minimize a solicitação de recursos naturais e utilizar materiais produzidos a partir de recursos renováveis, que sejam duráveis e com baixa manutenção, e ainda que estejam disponíveis na região e não sejam tóxicos (TOMOVSKA; RADIVOJEVIC, 2017).

Vale ressaltar que qualquer que seja a estratégia arquitetônica para tornar a edificação mais sustentável deve considerar a zona climática que esta está inserida (MANGAN; ORAL, 2015).

2.2.1 Desperdícios na construção civil

No Brasil os desperdícios na construção civil estão relacionados ao método construtivo e vinculados a falta de especificações técnicas em projeto, as decisões tomadas no canteiro de obras devido a essa falta de informação e aos materiais utilizados nas instalações temporárias (MAGALHÃES; DANILEVICZ; SAURIN, 2017).

A coordenação do projeto através de técnicas BIM (*Building Information Modeling*) também ajudaria na prevenção de ocorrências de geração de resíduos, pois evitaria a sobreposição de elementos das instalações prediais e melhoraria a comunicação entre a equipe multidisciplinar que desenvolve os projetos (AJAYI et al., 2017).

No Brasil os trabalhos mais relevantes sobre desperdícios na construção civil são de Agopyan *et al.* (1998) e Formoso et al. (1998). Ambos apresentam índices de desperdícios por tipo de material e estes vêm sendo frequentemente usados em trabalhos de pesquisa na área de ACVE.

2.2.2 Energia gasta com transporte na construção civil

É possível estimar a energia utilizada no transporte dos materiais de construção, desperdícios, resíduos e trabalhadores, considerando a classificação dos veículos em relação ao Peso Bruto Total (PBT) ou ao Peso Bruto Total Combinado (PBTC), dados de capacidade de carga e consumo médio apresentados pelo Ministério de Meio Ambiente (2014). Por relação destes valores com dados de densidade e poder calorífico disponibilizados pelo

Balanco Energético Nacional (2016), o consumo energético por tonelada transportada por quilometro pode ser obtido, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Consumo energético por tonelada transportada por quilômetro

Categoria de Veículo	PBT e PBTC	Capacidade de carga (t)	Consumo médio (km/l)	Consumo energético (MJ/t/km)
Comerciais Leves	PBT < 3,5 t	2,5	10,5	1,44
Caminhões Semileves	3,5 t < PBT < 6 t	3,8	9,1	1,09
Caminhões Leves	6 t ≤ PBT < 10 t	3,6	5,6	1,87
Caminhões Médios	10 t ≤ PBT < 15 t	9,8	5,6	0,69
Caminhões Semipesados	PBT ≥ 15 t; PBTC < 40 t	12,8	3,4	0,87
Caminhões Pesados	PBT ≥ 15 t; PBTC ≥ 40 t	27,2	3,4	0,41

Fonte: elaborado pelo autor a partir de MMA (2014) e EPE (2016).

*Capacidade de carga para veículos com 2 anos de uso.

** Consumo médio no ano de 2012, perspectivas mostram que no decorrer dos anos os veículos terão melhorias em sua eficiência energética.

*** Consumo energético por tonelada transportada foi calculado de acordo com dados de densidade e poder calorífico do óleo diesel divulgados pelo BEN (2016).

**** Considerou-se o poder calorífico inferior equivalente a 10 750 kcal/kg.

De acordo com a Flórez-orrego *et al.* (2015), emissões específicas de CO₂ associadas a produção de gasolina e óleo diesel são de 0,0103 e 0,0016gCO₂/kJ, respectivamente no Brasil. Considerando a energia química e a densidade desses combustíveis, esses valores são equivalentes a 328.25kgCO₂/m³ para gasolina e 63.13kgCO₂/m³ para óleo diesel.

Os combustíveis fósseis exigem o menor investimento em energia para toda a cadeia de produção, incluindo extração de petróleo e gás natural, transporte, refinação de petróleo e tratamento de gás natural (Flórez-orrego *et al.*, 2015). Contudo são os maiores responsáveis pelas emissões de CO₂ na produção do cimento brasileiro. Juntos a produção de combustíveis fósseis e do clínquer são responsáveis por mais de 70% de CO_{2eq} (STAFFORD *et al.*, 2016).

2.3. População e habitação rural

Nos últimos 50 anos a população brasileira tem passado por um processo de êxodo rural, motivado grande parte das vezes pela mecanização agrícola (AMORIM; CORDEIRO, 2003). Na agricultura o trabalho braçal vem sendo substituído por máquinas agrícolas que realizam operações como arar, colher, bombear água e plantar. A adoção da mecanização

pelos agricultores é um processo evolutivo influenciado e induzido por fatores agroclimáticos, fatores econômicos e condições sociais (DIAO et al., 2014).

Como mostra a Tabela 2, houve nas últimas décadas aumento no percentual da população de idade mais avançada habitando na zona rural e diminuição no percentual de jovens morando na zona rural, este comportamento pode ser explicado pela migração da população jovem rural para as cidades em busca de oportunidades de trabalho.

Tabela 2: Proporção da população residente de 0 a 14 anos, de 15 a 64 anos e de Anos 65 anos ou mais na população total, por situação do domicílio - Brasil - 1960/2010

Anos	Proporção da população de 0 a 14 anos (%)			Proporção da população de 15 a 64 anos (%)			Proporção da população de 65 anos ou mais (%)		
	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural
1960	42,7	38,6	46,0	54,6	58,2	51,6	2,7	3,2	2,4
1970	42,1	38,8	46,3	54,8	57,7	51,0	3,1	3,5	2,7
1980	38,2	35,4	44,2	57,7	60,5	52,1	4,0	4,1	3,8
1990	34,7	32,9	40,3	60,4	62,2	55,0	4,8	4,9	4,7
200	29,6	28,4	35,0	64,5	65,8	59,3	5,9	5,9	5,7
2010	24,1	23,2	28,6	68,5	69,4	63,9	7,0	7,4	7,5

Fonte: IBGE (2010).

Diante desta situação o Governo do Paraná, mediante parceria entre a Companhia de Habitação do Paraná – COHAPAR, a Secretaria de Estado do Abastecimento – SEAB, o Instituto Emater e as Prefeituras Municipais estão desenvolvendo, de forma conjugada com o Governo Federal, através do Programa Nacional de Habitação Rural - PNHR, vinculado ao Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV a construção de residências rurais de interesse social.

O objetivo do programa é de melhorar a qualidade de vida da população do meio rural, viabilizando a aquisição de moradias dignas e sustentáveis, estimulando a agricultura familiar e diminuindo o êxodo para a área urbana (EMATER, 2017).

São quatro modelos de moradias: Rural 46 com 46,94 m², Rural 55 com 55,63 m², Rural 63 com 63,86 m² e CIG 47 com 46,97 m², sendo que este último visa atender a população indígena (EMATER, 2017). A Figura 2 indica a perspectiva destes 4 modelos.



Figura 2: Perspectivas dos modelos de moradias do PNHR. (a) Modelo Rural 46. (b) Modelo Rural 55. (c) Modelo Rural 63. (d) modelo CIG 47. Fonte: COHAPAR (2012).

2.4 Avaliação de ciclo de vida

No Brasil a avaliação de ciclo de vida é normatizada pela NBR ISO 14040 - Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura (ABNT, 2009a) e pela NBR ISO 14044 - Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Requisitos e orientações (ABNT, 2009b).

A NBR ISO 14040 define avaliação de ciclo de vida como compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida e utiliza a estrutura mostrada na Figura 3 (ABNT, 2009a).

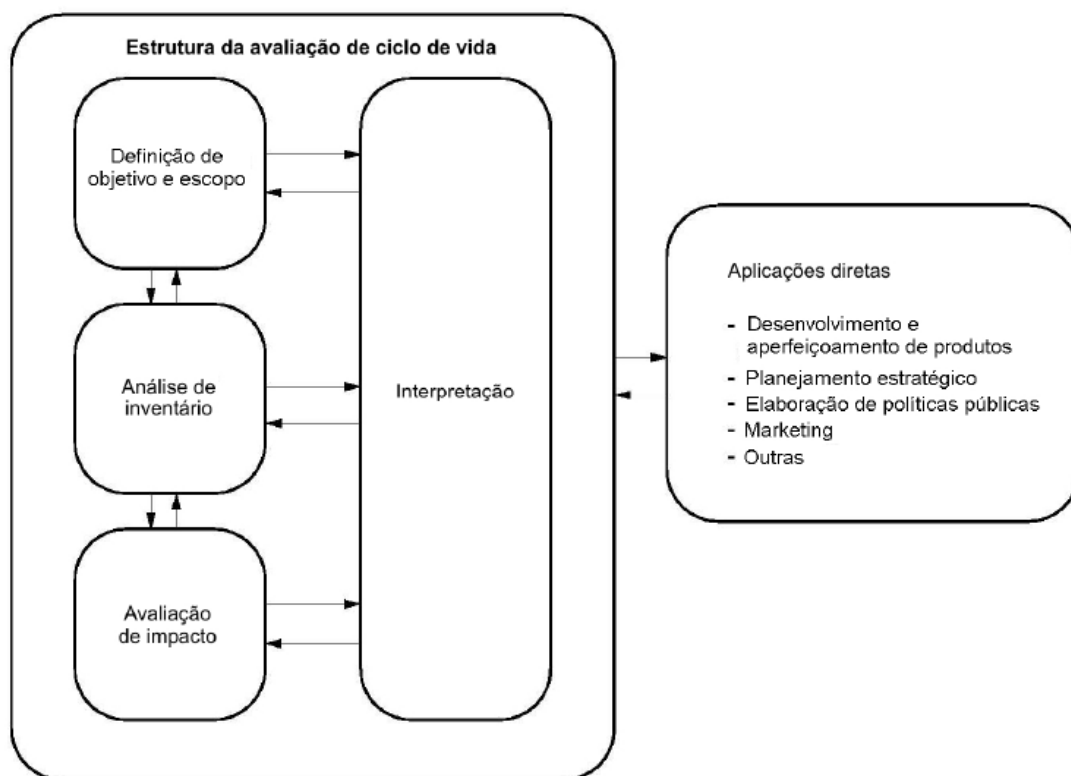


Figura 3: Estrutura da avaliação de ciclo de vida. Fonte: (ABNT, 2009a).

Para seguir a metodologia proposta por essa normativa é necessário a compreensão do significado de alguns conceitos, são eles: sistema, produto, função e unidade funcional.

O sistema de um produto pode ser entendido como o conjunto de processos elementares, com fluxos elementares e de produto, desempenhando uma ou mais funções definidas e que modela o ciclo de vida de um produto (ABNT, 2009a).

O produto é qualquer bem ou serviço que será avaliado. A função no caso de estudos comparativos é o elemento que está variando no estudo. Já a unidade funcional é a forma de quantificar o resultado (ABNT, 2009a).

Por exemplo, para realizar a ACV de resíduos de um pavimento o sistema é a delimitação de atividades que serão consideradas no ciclo de vida do pavimento, o produto são os resíduos gerados na construção do pavimento, a função deste produto pode ser o tipo de pavimento (rígido ou flexível) e a unidade funcional é a massa de resíduos gerada por metro cúbico de pavimento.

Para a formação do inventário a NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b) permite que os dados sejam medidos, calculados ou estimados de acordo com a disponibilidade de informações.

2.4.1 Panorama nacional da avaliação de ciclo de vida energético de edificações

No Brasil a ACV é um tema de pesquisa recente, seu estudo ganhou maior interesse em novembro 2002 quando foi criada a Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV) formada por um grupo de pessoas físicas e jurídicas interessadas na consolidação da Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil.

Em 2009 foram criadas as NBRs 14040 e 14044 que fornecem diretrizes para a elaboração de avaliações de ciclo de vida.

A NBR 14040/2014 declara que o produto de uma ACV pode ser qualquer bem ou serviço onde a partir de fluxo elementar analisa-se a entrada e saída de uma unidade funcional, podendo ser: energia, entradas de matéria-prima, entradas auxiliares, entradas físicas, produtos, coprodutos, resíduos, emissões atmosféricas, água e solo e outros aspectos ambientais.

Em outubro de 2008 foi realizado em Curitiba o primeiro congresso brasileiro de gestão de ciclo de vida.

Em 22 de abril de 2010 o Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO) aprovou o Termo de Referência do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida, criando oficialmente o Programa Brasileiro de Avaliação de Ciclo de Vida (PBACV) (BRASIL, 2010).

Em 2015 aconteceu o primeiro fórum brasileiro de ACV, o BRACV, que surgiu como uma iniciativa do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT) e pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da UFRJ, com o objetivo de ampliar e aprofundar as discussões sobre as aplicações da técnica de Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil. Na sua primeira edição, foram abordados os seguintes temas: “Inventários do Ciclo de Vida de produtos brasileiros”, “ACV e rotulagem ambiental (comunicação da ACV)” e “Tomada de decisão baseada em ACV”.

Contudo, mesmo antes da consolidação das pesquisas sobre ACV, por meio da criação ABCV, alguns estudos sobre ACVE de edificações já vinham sendo realizados por algumas instituições.

Para compor uma ACVE de uma edificação é preciso analisar a energia embutida nos materiais de construção, o consumo de energia na obra, energia embutida de manutenção, o consumo de energia em transportes e a energia de demolição (TAVARES, 2006).

Neste sentido, no Brasil a grande dificuldade para a elaboração de ACVE é referente à escassez de informações sobre a energia embutida nos materiais. Os primeiros estudos iniciaram em 1982 no CETEC/MG onde se comparou a energia incorporada a três tipos de edificações: comercial com resultado de 2,19 GJ/m², pública com 1,50 GJ/m² e residencial onde a energia embutida encontrada foi equivalente a 1,00 GJ/m² (BRASIL, 1982).

Também em 1982 o Instituto de Pesquisas Tecnológicas da USP, levantou o conteúdo energético de alguns dos principais materiais utilizados na construção civil (IPT,1982). Já em um estudo realizado por Guimarães (1985) a energia incorporada a edificações populares obtida foi de 2,47 GJ/m². Pietrobon *et al.* (1995), obteve média de 3,6 GJ/m² para obras térreas.

Os estudos tiveram continuidade com Tavares e Lamberts (2004), que começaram a utilizar para o cálculo da energia operacional residencial os dados de consumo do setor disponibilizados pelo Balanço Energético Nacional (BEN).

Tavares (2006) elaborou a primeira metodologia para elaboração de avaliação de ciclo de vida para edificações brasileiras e neste mesmo trabalho obteve valores na ordem de 15,01 GJ/m² a 24,17 GJ/m², sendo os critérios adotados para comparação associados às faixas de renda e a tipologia da edificação (casa ou apartamento).

Pedroso (2015) em suas condições específicas de pesquisa obteve valores entre 13,17 GJ/m² até 31,99 GJ/m² para energia incorporada em sistemas de vedação de habitações comparando a parede de concreto moldadas no local, a alvenaria estrutural de blocos de concreto, o *steel frame* e o sistema convencional.

Caldas et al. (2015) em estudo sobre *retrofit* de fachada de edifícios concluiu que é possível gerar maior conforto térmico e menor volume de resíduos utilizando elementos de revestimento com transmitância reduzida comparando chapas de alumínio composto (ACM) de 4mm com transmitância térmica (U) de 1.36 W/m².K, onde o consumo do material é de 6,48 kg/m² com placas pétreas de 30mm, U igual a 1,74 W/m².K e consumo de 72,51 kg/m². Desta forma a energia total da ACVE do primeiro material foi reduzida devido às etapas de manutenção e operação.

Caldas et al. (2016) realizou a ACVE e avaliação do desempenho térmico de uma habitação de *steel framing* com quatro configurações de fachada, sendo uma a configuração de referência e três com isolantes térmicos, sendo eles: lã de vidro, lã de rocha e poliestireno expandido. A configuração com lã de rocha apresentou os maiores valores de energia incorporada (86,77 GJ) e energia de transporte (1,21GJ). Para energia operacional a

configuração de referência apresentou o maior consumo de energia e isto ocorreu devido à energia consumida para o condicionamento ambiental utilizado para satisfazer a zona de conforto térmica estabelecida (máxima de 29°C). Ao final, a energia total no ciclo de vida foi maior para o sistema de referência (709,06 GJ), e menor para a configuração com EPS (678,39 GJ).

Zina et al. (2016) em um estudo sistemático sobre avaliação do ciclo de vida energético em edificações notou a existência de uma produção qualitativa a respeito da ACVE em edificações no Brasil, porém limitada ainda pela indisponibilidade de dados adaptados à produção da indústria nacional. Zina também percebeu que 90% da energia embutida está concentrada em 10% dos materiais, sendo eles cimento Portland, blocos cerâmicos e de concreto, telhas cerâmicas e de fibrocimento, tintas e texturas, o aço, a areia, as pedras britadas e cerâmicas de revestimento.

Em uma pesquisa feita por Willers, Rodrigues e Silva (2013) identificou um total de 80 artigos brasileiro sobre ACV, sendo que 63 se restringiram a uma abordagem conceitual da ACV, sem uma aplicação efetiva da metodologia.

2.4.2 Panorama internacional da avaliação de ciclo de vida energético de edificações

Visando reduzir os impactos ambientais, melhorar a eficiência térmica das habitações e tornar as edificações mais sustentáveis, diversas pesquisas vem sendo realizadas sobre a ACVE de edificações ou de materiais utilizados na construção civil no contexto internacional. Neste sentido a seguir apresentam-se alguns estudos desta temática.

Vilcekova et al. (2015) em pesquisa sobre energia incorporada em materiais isolantes verificou também as emissões de gás carbônico e dióxido de enxofre na Eslováquia. O estudo foi feito analisando vedação com blocos cerâmicos combinados com fibra de cânhamo, espuma de vidro e lã mineral. Quanto a energia incorporada no material Vilcekova et al. (2015) notou que a vedação com maior custo energético foi a de lã de vidro (1292,94 MJ/m²), seguida pela fibra de cânhamo (872,09 MJ/m²) e espuma de vidro (839,18 MJ/m²).

Atmaca e Atmaca (2015) em estudo sobre ACV e ACVE comparando dois edifícios habitacionais, um no perímetro urbano e outro na zona rural na Turquia, perceberam que os edifícios residenciais urbanos tem maior energia embutida (15,576 GJ) em comparação com os rurais onde há uma redução de cerca de 70% na energia embutida (4689 GJ) na fase de construção.

Em um estudo italiano sobre a energia não renovável incorporada a materiais de vedação comparando blocos térmicos combinados com poliestireno expandido na densidade de 15 kg/m^3 e poliestireno expandido na densidade de 35 kg/m^3 , lâ de rocha na densidade de 40 kg/m^3 e painéis de PET (poli tereftalato de etila) reciclado constatou-se que a última combinação é a que tem menor consumo energético (INGARAO et al., 2016b).

Já um estudo canadense sobre ciclo de vida de construções modulares em aço e madeira afirma que este método construtivo pode ser uma alternativa efetiva às técnicas convencionais na busca de maior sustentabilidade, contudo frisa que além dos aspectos ambientais, os aspectos sociais e relacionados ao custo financeiro também devem ser considerados para definir no nível de sustentabilidade de uma edificação (KAMALI; HEWAGE, 2017).

2.4.3 Avaliação de emissões de gás carbônico no ciclo de vida de edificações

A AVCCO₂ pode ser entendida como a metodologia de quantificação e avaliação das emissões de CO₂ geradas nas principais etapas envolvidas ao longo do ciclo de vida de um material, componente, sistema ou edificação, e seu estudo é mais recente que as pesquisas sobre ACVE, embora estejam ligados diretamente (CHAU *et al.*, 2015).

Estima-se que a geração de resíduo por pessoa é de aproximadamente 436 quilogramas por ano, e apenas 15% deste material é reciclado. Sendo que se utiliza apenas 12% do potencial de substituição de matéria prima virgem por materiais reciclados, e mesmo esse percentual sendo pequeno, com a atual reutilização de resíduos cada indivíduo deixa de usar por ano cerca de 51,37 kg de materiais, 219 kWh de eletricidade, 48 kg de GEE (CO₂) e 38 L de água (ZAMAN, 2016).

Em alguns países desenvolvidos, como a Inglaterra, já existem programas que buscam a redução da emissão de gás carbônico oriunda de processos de geração de energia (LOTT; PYE; DODDS, 2017).

No âmbito da construção civil, segundo Chau *et al.* (2015) a produção de cimento representa o maior volume de emissões CO₂, entre as emissões não energéticas totais. Contudo a composição da matéria-prima, que não se encontra distribuída de forma homogênea na crosta terrestre influencia nas emissões de CO₂ da indústria do cimento. Regiões cujo calcário apresenta maiores teores de magnésio (Mg), por exemplo, apresentam maior fator de emissão (MCT, 2010). De acordo com *Cement Sustainability Initiative* - CSI

(2012) *apud* Caldas (2016) o Brasil tem um dos menores níveis de CO₂ não energéticos em torno de 600 kg por tonelada de cimento, enquanto a média mundial é de 850 kg de CO₂ por tonelada de cimento.

Em relação às emissões de gás carbônico oriundas dos gastos energéticos, estas podem ser estimadas por um fator de conversão que relaciona as emissões de CO₂ por megajoule de energia utilizada, conforme mostra a Tabela 3:

Tabela 3: Fator de emissão de CO₂ por fonte energética

Fontes Energéticas	Fator de conversão Kg.CO₂/MJ	Fonte
Óleo Combustível	0,077	IPCC(2006)
Óleo Diesel	0,074	IPCC(2006)
GLP (Gás Liquefeito de Petróleo)	0,063	IPCC(2006)
Gás Natural	0,056	IPCC(2006)
Carvão Mineral	0,096	IPCC(2006)
Coque de Petróleo	0,098	IPCC(2006)
Piche	0,081	IPCC(2006)
Biomassa	0,102	IPCC(2006)
Solar	0,043	Goldenberg e Lucon (2011)
Eólica	0,004	Miranda (2012)
Nuclear	0,004	Miranda (2012)
Hidráulica	0,024	Miranda (2012)

Com os dados da Tabela 3 é possível estimar as emissões de CO₂ de cada material a partir do percentual de uso de cada energia na produção dos materiais. A Tabela 4 mostra os percentuais de uso de cada fonte energética para alguns materiais de construção da indústria brasileira.

Tabela 4: Percentual de uso de fontes energéticas na produção de materiais de construção.

Fontes	Óleo diesel e combustível	Gás natural	GLP	Coque de petróleo	Outras secundárias de petróleo	Carvão mineral	Coque de carvão mineral	Eleticidade	Carvão vegetal	Lenha	Outras fontes Renováveis	Outras
Aço e ferro	1	6					71	10				12
Alumínio	21	7					10	54				4

Fontes	Óleo diesel e combustível	Gás natural	GLP	Coque de petróleo	Outras secundárias de petróleo	Carvão mineral	Coque de carvão mineral	Elettricidade	Carvão vegetal	Lenha	Outras fontes Renováveis	Outras
Areia	99							1		80		
Argamassa	86			10				4				
Cal	12							8		85		1
Cerâmica (revestimento)	15	68	5					12	9			7
Cerâmica vermelha	4		8					2				
Cimento	3			61		8		12				
Cobre	10	44					5	41				
Concreto	82			9				9				
Fibrocimento	84		2					14				
Impermeabilizantes	10	30			34			26				
Madeira	83							17				
Pedra	85							15				
Plásticos	10	30			34			26				
Tintas	90							10				
Outros	8	11				7	10	20	9		35	

Fonte: Elaborado a partir de CETEC / MG (BRASIL, 1982); SOARES (2003); Anuário estatístico: Setor metalúrgico (BRASIL, 2004); BELTRAN & MARTINEZ (2004); BEN, (EPE, 2016).

A energia elétrica consumida pode ser multiplicada pelas emissões de CO₂ referente à produção de eletricidade no Brasil. De acordo com BEN (2016), que se refere ao ano de 2015, sendo o balanço energético nacional mais recente, o fator de conversão de energia elétrica para emissões de CO₂ é de 0,038 kg.CO₂/MJ.

A Tabela 5 indica o fator de emissão de CO₂ para combustíveis utilizados no transporte de materiais e trabalhadores. A partir desta tabela pode-se perceber que o biodiesel ultrapassa até mesmo a gasolina em termos de emissões, sendo apenas mais moderado que o óleo diesel, por outro lado, o gás natural liquefeito é o combustível que apresenta o menor valor de emissões por unidade consumida.

Tabela 5: Fator de emissão de CO₂ por unidade de combustível

Combustível	kg .CO₂/unidade	Unidade
Gasolina	2,327	L
Etanol	1,469	L
Óleo diesel	2,681	L
Gás liquefeito de petróleo	1,53	L
Gás natural	1,907	m ³
Gás natural liquefeito	1,178	L
Gasolina de aviação	2,198	L
Biodiesel	2,499	L

Fonte: GHG Protocol (2016).

Diversas ACVCO₂ relacionadas a edificações ou componentes de edificações vem sendo realizados, dentre estes está o trabalho de Vilcekova *et al.* (2015) que analisou isolantes térmicos combinados a blocos cerâmicos, em relação as emissões de CO₂, verificou que a fibra de cânhamo é a mais poluente (361,43 kg.CO₂eq/m²), seguida pela espuma de vidro (357,05 kg.CO₂eq/m²) e lâ de vidro (311,73 kg.CO₂eq/m²).

No trabalho de Atmaca e Atmaca (2015), as emissões de CO₂ na fase de construção foram maiores na edificação urbana (1473 toneladas) que na edificação rural (453 toneladas). Já na fase de utilização se a residência rural utiliza carvão para fins de aquecimento há liberação de mais CO₂ comparado a edificações urbanas que utilizam gás natural para o aquecimento.

A tendência é que essas emissões sejam medidas cada vez com maior frequência para se determinar os impactos ambientais do setor da construção civil. Para aferição das emissões de CO₂, na China, desenvolveu-se um estimador automatizado destas emissões. Em um estudo de caso constatou que durante o ciclo de vida de uma construção, a fase utilização contribuiu com 63% para as emissões de carbono, seguido de produção de material (32%), transporte (2%), construção (1%) e demolição (1%). Sendo que o concreto contribuiu com 44% das emissões incorporadas a materiais e o aço de 20% (LI; CUI; LU, 2016).

2.5 Sistemas de vedações verticais internas e externas

Nos próximos itens serão descritos os SVVIE utilizados neste trabalho e serão apresentados os processos de extração e manufatura dos principais materiais que os compõe.

2.5.1 Bloco cerâmico com estrutura de concreto armado

Mais de 90% das coberturas e alvenarias utilizam material cerâmico no Brasil (IBGE, 2008), sendo que, unido à estrutura de concreto armado é o sistema construtivo mais difundido no país. A norma que rege a execução dessa tipologia estrutural é a NBR 6118 (ABNT, 2014), intitulado Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos.

De acordo com o exposto nesta norma o elemento de concreto armado funciona estruturalmente devido à aderência do concreto, que resiste aos esforços de compressão à armadura, componente de aço que resiste aos esforços de tração (ABNT, 2014).

A vedação é feita com blocos cerâmicos, que neste estudo são vazados e a aderência entre si e na estrutura é adquirida por meio de argamassa, feita com cimento, água e areia. Este sistema construtivo pode ser observado na Figura 4.



(a) Vista

(b) Corte

Figura 4: Vedação com bloco cerâmico. Fonte: Pedroso (2015).

A produção de cimento envolve a mineração de matérias-primas, tais como calcário, argila e areia. Várias indústrias também utilizam resíduos selecionados como adições ou substitutos parciais de matérias-primas. Esses materiais são moídos e misturados antes do processo atingir 1450 °C, o resultado desta mistura é o clínquer, que agregado a outros materiais, especialmente o gesso, origina o cimento (PACHECO-TORGAL *et al.*, 2014).

A intensidade da demanda de cimento está diminuindo nos países desenvolvidos e aumentando em muitos países em desenvolvimento (PACHECO-TORGAL *et al.*, 2014). A produção de cimento nas cinco principais economias nacionais emergentes, (Brasil, Federação

Russa, Índia, China e África do Sul), é apresentada na Tabela 6 que evidencia o aumento da produção em todos os países citados.

Tabela 6: Produção de cimento nas economias emergentes (em milhões de toneladas)

País	2001	2006	2011	2012	2013	2014
Brasil	39.4	41.4	63.0	68.0	71.9	72.0
Rússia	28.7	54.7	56.1	53.0	55.6	68.4
Índia	102.9	159.0	270.0	239.0	272.0	300.0
China	661.0	1236.8	2063.2	2137.0	2359.0	2438.0
África do Sul	8.4	13.1	11.2	13.8	14.9	13.8

Fonte: STAFFORD *et al.*, 2016.

Tendo em vista que cada tonelada de cimento Portland comum pode consumir mais de 1,5 tonelada de matérias-primas e de 2,93 à 6,28 GJ de energia térmica, além de 65 à 141 kWh de energia elétrica, esse aumento na demanda de cimento tem solicitado mais recursos e consequentemente ocasionado mais impactos ambientais (HUNTZINGER E EATMON, 2009; MADLOOL *et al.*, 2011; VALDERRAMA *et al.*, 2012).

Este sistema construtivo se difere dos demais pelo uso de material cerâmico, que também é um grande consumidor de energia pela necessidade da utilização de energia térmica no seu processo de produção. A Tabela 7 mostra o consumo do setor nos últimos anos no Brasil, diante dos dados apresentados percebe-se que o consumo foi crescente até 2014, contudo em 2015 houve um decréscimo que pode ser justificado pela crise econômica nacional e pela consequente recessão da construção civil nacional. A tabela mostra ainda que o setor é responsável por quase 2% do consumo nacional de energia.

Tabela 7: Consumo de energia pelo setor de cerâmicos no Brasil (2006 – 2015)

Ano	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
(10 ³ tep)	3.533	3.841	4.193	4.128	4.485	4.724	4.803	5.069	5.079	4.614
(%)	1,7	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8

Fonte: BEN (2016).

A Tabela 8 mostra os percentuais de consumo de cada fonte energética, revelando que a lenha é responsável por mais da metade dessa energia:

Tabela 8: Percentuais de utilização de fontes energéticas no setor da indústria cerâmica

Fontes	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Lenha	49,9	49,1	50,6	50,4	50,7	50,5	51,2	51,9	52,3	50,1
Gás natural	25,5	25,0	24,0	23,7	25,4	27,3	27,4	26,7	26,4	28,7
Óleo	8,1	8,1	7,7	7,8	6,6	2,6	2,3	2,5	2,0	1,3
Eletricidade	7,8	7,4	7,1	7,3	7,1	7,2	7,5	7,5	7,4	7,3
Outras	8,7	10,4	10,6	10,8	10,1	12,3	11,6	11,4	11,9	12,6
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: BEN (2016).

A Tabela 9 mostra que a produção de cimento tem uma representatividade similar à produção de materiais cerâmicos no consumo de energia em relação ao consumo nacional.

Tabela 9: Consumo de energia pelo setor cimentício no Brasil (2006 – 2015)

Ano	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
(10 ³ tep)	3,129	3,444	3,820	3,778	4,255	5,033	5,135	5,287	5,338	4,750
(%)	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	2,0	2,0	2,0	2,0	1,8

Fonte: BEN (2016).

Quanto à composição das fontes energéticas utilizadas da produção de cimento a Tabela 10 evidencia que o coque de petróleo é a fonte predominante nesta indústria e seu consumo vem aumentando nos últimos anos.

Tabela 10: Percentuais de utilização de fontes energéticas no setor da indústria do cimento

Fontes	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Carvão mineral	1,9	1,5	1,4	1,3	1,2	11,9	2,1	2,5	2,3	1,5
Óleo combustível	0,7	0,7	0,8	0,8	0,2	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
Eletricidade	12,9	13,1	13,0	13,2	13,0	11,9	12,6	12,7	12,8	13,0
Carvão vegetal	8,3	6,4	6,5	1,5	1,5	3,5	2,8	2,4	2,3	2,3
Coque de petróleo	64,9	66,8	67,1	72,2	74,3	71,2	69,7	69,9	70,5	71,3
Outras	11,2	11,5	11,3	11,0	9,8	11,1	12,6	12,1	11,9	11,7
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: BEN (2016).

Outro componente expressivo neste SVVIE é o aço, e de acordo com He e Wang (2017) o processo de fabricação de aço é dispendioso em energia e requer uma grande quantidade de recursos naturais. No Brasil o setor de aço e ferro-gusa foi responsável por 6,3% do consumo nacional de energia em 2015 (BEN, 2016).

De acordo com Zhang *et al.* (2017) o processo de fabricação do aço indica um grande potencial de redução do consumo de energia, e isso dependerá melhoria da eficiência

energética do setor, que serão ocasionadas pela necessidade de certificações ambientais e aumento do custo da energia que ocorrerão entre 2010-2050.

2.5.2 Alvenaria estrutural com blocos de concreto

O sistema construtivo em alvenaria estrutural de blocos de concreto é normatizado pela NBR 15961 “Alvenaria estrutural — Blocos de concreto” parte 1 e 2 (ABNT, 2011) e demais normas complementares.

Como descreve a NBR 15961-1 a alvenaria estrutural com blocos de concreto, são paredes portantes, que transferem as cargas da estrutura para a fundação, sendo que a alvenaria estrutural pode ser armada, não armada, parcialmente armada e também protendida (ABNT, 2011).

Os blocos de concreto são classificados pela NBR 6136 “Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria Estrutural” em classe A e B. O bloco de classe A, aplica-se à alvenarias externas sem revestimento devendo o bloco possuir resistência característica à compressão maior do que 6 MPa, além de sua capacidade de vedação. O bloco de classe B, aplica-se à alvenarias internas ou externas com revestimento devendo possuir resistência característica à compressão de no mínimo 4,5 MPa (ABNT, 1995).

Ainda levando em conta a NBR 15961-1 os materiais utilizados para construção de uma alvenaria são: blocos de concreto, argamassa (que deve ter ao menos 70% da resistência dos blocos utilizados), graute (argamassa ou microconcreto fluido que dispensa adensamento) e, quando solicitado em projeto, armadura (ABNT, 2011).

Como mostra a Figura 5, a argamassa é utilizada para o assentamento dos blocos e o graute para dar aderência entre a armadura e a alvenaria.

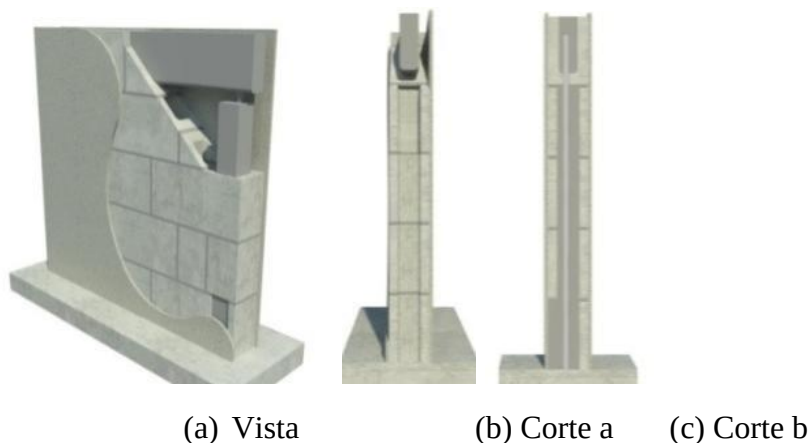


Figura 5: Alvenaria estrutural. Fonte: Pedroso (2015).

2.5.3 Steel frame

O sistema construtivo chamado *steel frame* é estruturado por perfis leves de aço zincado por imersão e utiliza como base a estrutura de perfis leves de aço zincado por imersão a quente ou por eletrodeposição e formados a frio, que são unidos por parafusos autobrocantes e pinos especiais (CAIXA, 2003).

Os componentes de fechamento do *steel frame*, que também é chamado de *steel framing* são constituídos de chapas delgadas, como placas cimentícias, perfis de PVC rígido (*siding*), chapas de OSB (Oriented Strand Board) e chapas de gesso acartonado (*drywall*) (SINAT, 2016).

A Figura 6 mostra um exemplo de sistema *steel frame*, com vedação de OSB.

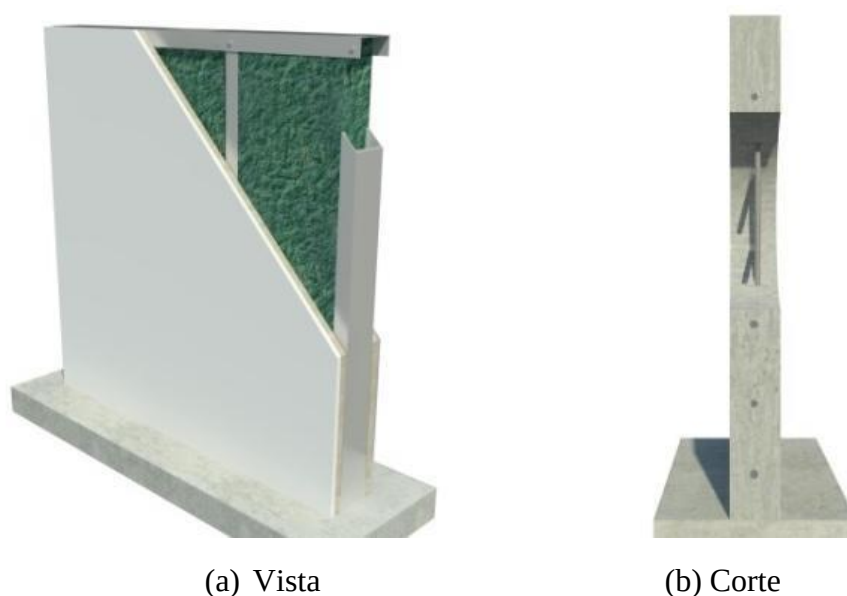


Figura 6: *Steel frame*. Fonte: Pedroso (2015).

O policloreto de vinila (PVC) é amplamente utilizado devido a sua propriedade de isolamento, facilidade de processamento e baixo custo, isso leva o PVC a ser o terceiro polímero de plástico sintético mais produzido (SURESH; MOHANTY; NAYAK, 2017).

Devido ao seu volume de produção buscam-se alternativas para minimizar os impactos ambientais ocasionados na sua fabricação. Ye *et al.* (2017) em estudo sobre a ACV deste produto comparando sua produção convencional com a produção a partir de material reciclado notou uma redução de 2820 kg.CO₂ eq para 646.81 kg.CO₂ eq de emissões por tonelada de produto produzido, além disso verificou grande redução na energia gasta com

transporte de materiais e uso de energias de origem fóssil, apesar que o uso da energia elétrica foi maior na produção de PVC com material reciclado.

2.5.4 Parede de concreto armado moldado no local da obra

Essa tipologia de SVVIE tem como norma balizadora a NBR 16055:2012 (ABNT, 2012), nominada Parede de Concreto Moldada no Local para a Construção de Edificações - Requisitos e Procedimentos. Até o ano de 2012 essa tipologia não seguia uma normativa.

Esta norma define este elemento como uma parede autoportante, com comprimento de pelo menos dez vezes maior que a espessura e que suporta carga ao longo de seu plano.

Para Corsini (2011) essa tipologia é eficaz na construção de casas populares, principalmente quando há repetição de grande número de unidades habitacionais, devido à possibilidade de reuso das formas (há a possibilidade de reutilização de quinhentas a duas mil vezes), pois desta forma o custo das fôrmas de alumínio se dissolve.

Seu processo construtivo consiste na execução da fundação conforme a solução adotada, execução do contrapiso, marcação do posicionamento das fôrmas a partir do eixo central da parede, posicionamento das telas metálicas com espaçadores e instalações elétricas e hidráulicas, travamento das formas com desmoldante, colocação dos gabaritos nas fôrmas para execução de portas e janelas, concretagem e desenforma das paredes na ordem que foi apresentado (SILVA, 2011).

A Figura 7 mostra um exemplo de parede concretada no local da obra.

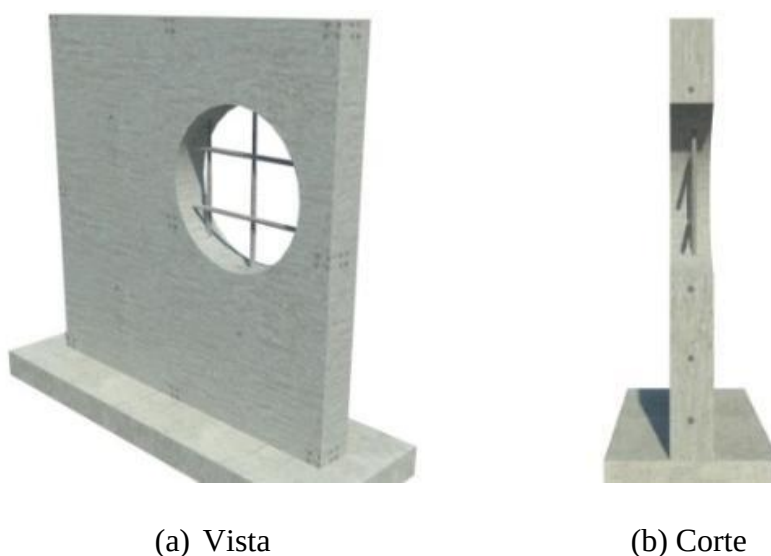


Figura 7: Parede de concreto moldada no local. Fonte: Pedroso (2015).

Devido ao alto consumo de concreto nesta modalidade construtiva de acordo com Vieira, Calmon e Coelho (2016) uma forma de reduzir os impactos ambientais seria incorporar resíduos como escória de alto-forno, cinzas volantes e outras adições minerais (com menos clínquer e mais aditivos minerais) no início do ciclo de vida concreto. Os mesmos autores sugerem utilizar os desperdícios e resíduos incorporando-os no ciclo de vida de novos concretos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização da ACV foi necessário delimitar o contexto do estudo de caso, elaborar projetos e quantitativos para cada cenário analisado e definir a metodologia de aferição de consumo de energia e emissões de CO₂ de casa fase do ciclo de vida dos SVVIEs.

3.1 Delimitação

A pesquisa trata-se de uma ACV de SVVIE de uma casa rural, que para o estudo de caso está localizado no município de Cascavel (Figura 8), situado no oeste do Paraná, pertencente à região Sul do Brasil. A edificação está posicionada a dez quilômetros do perímetro urbano, nas margens da BR 369, na latitude: S 24° 51' 52'' longitude: O53° 20' 18'', em uma altitude 781 metros. De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), esta região está enquadrada na zona bioclimática 3.

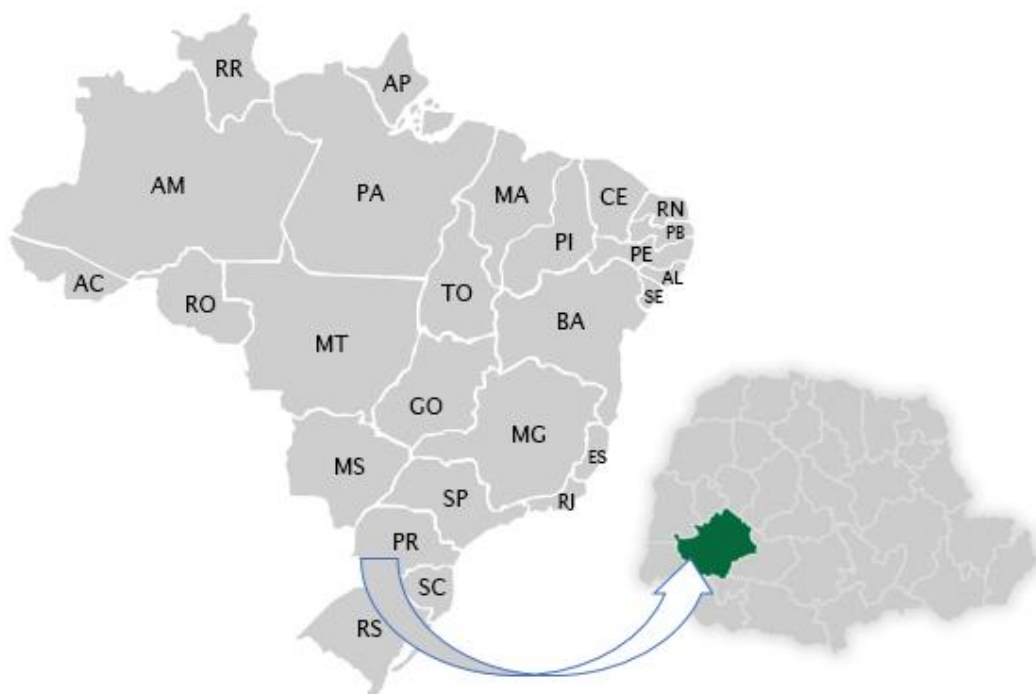


Figura 8: Localização Cascavel-PR. Fonte: IBGE adaptado pelo autor (2015).

Seguindo as definições da NBR ISO 14040 (ABNT, 2009) considerou-se como produto deste sistema a energia incorporada e as emissões de CO₂. Como função têm-se os

SVVIEs e como unidade funcional a energia incorporada a estes sistemas por metro quadrado de construção.

Os gastos com energéticos e emissões de CO₂ com água e com os demais sistemas da edificação não foram computados. Também foram contabilizadas as emissões de CO₂ pelo processo de carbonatação que pode vir a ocorrer na estrutura.

A duração do ciclo de vida considerada neste trabalho é de 50 anos conforme recomenda a norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013) que trata do desempenho das edificações.

3.2 Projetos e quantitativos

O projeto selecionado para este estudo foi o modelo Rural 63 de 63,86 m² do Programa Nacional de Habitação Rural – PNHR, a edificação é uma residência unifamiliar composta por três quartos, sala, cozinha, lavanderia e banheiro. Este modelo foi selecionado, pois é o mais frequente nos conjuntos habitacionais rurais. A Figura 9 mostra um croqui deste modelo de edificação, maiores especificações podem ser observadas no apêndice A.

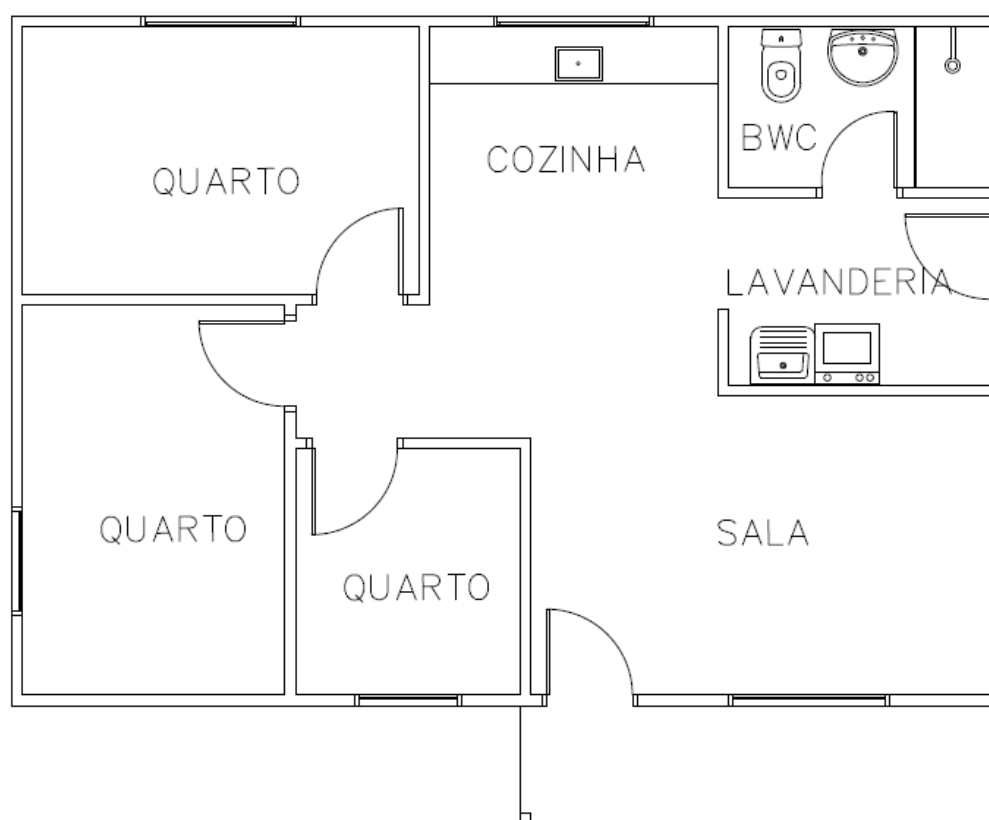


Figura 9: Croqui do projeto selecionado (sem escala). Fonte: Cohapar (2012). Adaptado pelo autor.

Em seguida adotou-se três SVVIEs que vem sendo utilizados como alternativa ao sistema convencional de estrutural de concreto armado com vedação de blocos cerâmicos e elaborou-se os projetos dos respectivos SVVIEs seguindo as normativas vigentes. A Tabela 11 relaciona os SVVIEs selecionados com o respectivo cenário:

Tabela 11: Cenários

Cenário	SVVIE
Cenário 1	Estrutura de concreto armado com vedação de blocos cerâmicos
Cenário 2	Alvenaria estrutural
Cenário 3	<i>Steel Frame</i>
Cenário 4	Parede de concreto moldada no local

Para o levantamento dos quantitativos de materiais e serviços utilizou-se as composições analíticas do SINAPI e TCPO, as quais já consideram o desperdício dos materiais e mão de obra.

Os projetos dos SVVIE estão presentes nos Apêndices B, C, D e E.

3.3 Metodologia para avaliação do ciclo de vida dos SVVIEs

Para a elaboração da avaliação de ciclo de vida dos SVVIEs utilizou-se abordagem do berço ao túmulo como já empregada por Cabeza *et al.* (2014), Atmaca e Atmaca (2015), Muñoz *et al.* (2017), Filimonau *et al.* (2011), Ingrao (2016) entre outros.

Esta avaliação implica na computação das entradas e saídas do produto do sistema na fase de pré-uso, uso e pós-uso do material. Contudo conforme a norma recomenda foram delimitadas as entradas que foram apuradas, como mostra a Figura 10.

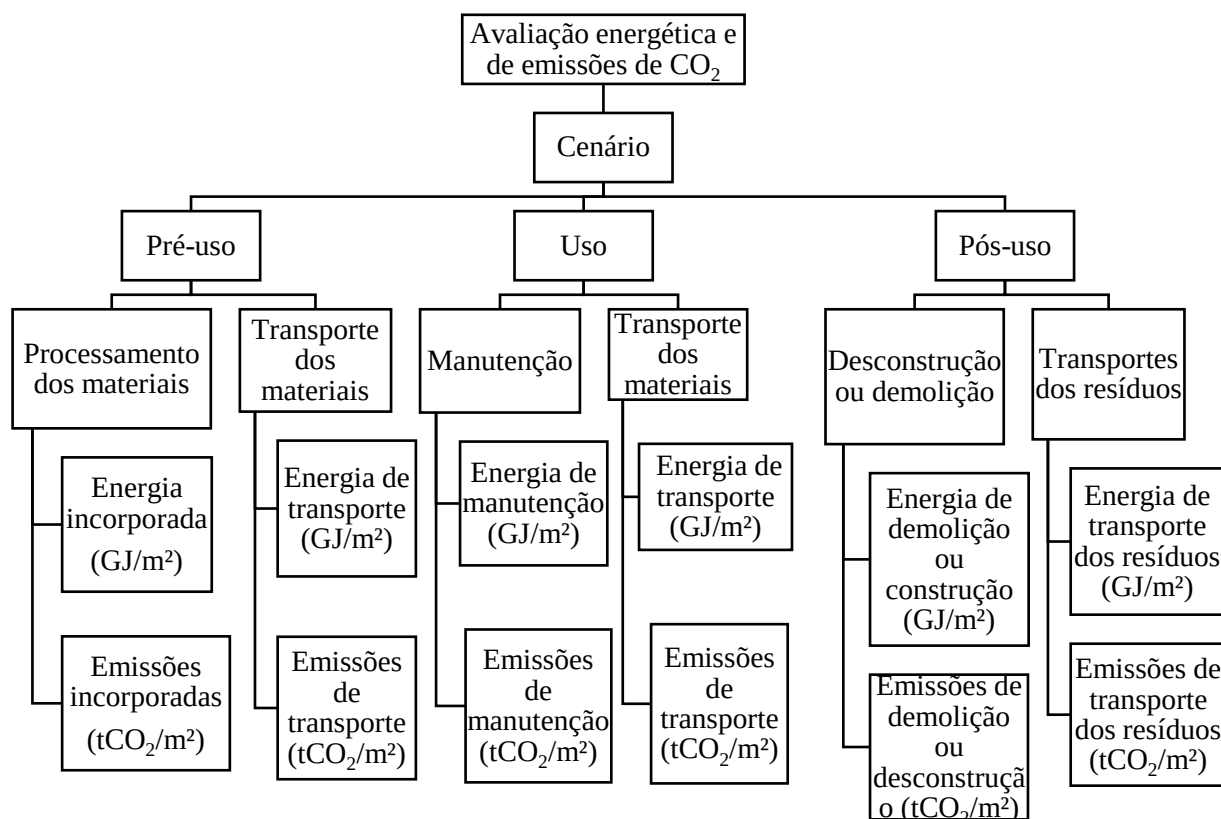


Figura 10: Variáveis consideradas neste estudo.

3.3.1 Energia incorporada aos materiais

Para o levantamento da energia incorporada nos materiais, que são utilizados na fase de pré-uso e uso, foi realizada uma pesquisa em trabalhos nacionais, uma vez que os métodos de extração, processamento ou fabricação de cada país tem uma eficiência energética e então elaborado um inventário com estes dados. Este inventário encontra-se no Apêndice F.

A energia incorporada (MJ/unidade) adotada para cada material foi a média dos valores encontrados na literatura nacional, excluindo valores que fizessem com que a média tivesse coeficiente de variação maior que 100%.

3.3.2 Emissões de CO₂ incorporadas aos materiais

As emissões de CO₂ estão diretamente ligadas ao consumo de energia, desta forma foi elaborado um inventário com fatores de emissões de CO₂ (oriundas dos gastos energéticos) por quilo de material utilizado. O fator utilizado foi a média dos fatores encontrados na literatura conforme mostra o Apêndice G.

3.3.3 Energia e emissões de CO₂ oriundas do transporte

Em todas as fases do ciclo de vida dos SVVIE há gastos energéticos e emissões advindos da necessidade de transporte de materiais, resíduos e trabalhadores.

Sendo assim energia gasta com transporte de materiais e resíduos foi estimada de acordo com a distância entre o ponto de extração ou fabricação e comercialização, e entre o ponto de comercialização e utilização (Apêndice H), utilizando os fatores apresentados na Tabela 1.

Os fatores de emissões de CO₂ utilizado para computar as emissões com transporte foi retirado da Tabela 5.

3.3.4 Energia e emissões de CO₂ da fase de uso

Para a obtenção da energia de manutenção utilizou-se a Equação 1 proposta por Ramesh (2010) que estima a energia de reposição de cada material.

$$EM = EI * Mi [(VUP/VUP_{material}) - 1] \quad (1)$$

Onde:

EM = Energia de manutenção;

EI = Teor de energia do material de (i), por unidade;

Mi = Quantidade de material de construção (i);

VUP = Vida útil do edifício;

VUP_{material} = Tempo de vida útil do material de (i).

Para a estimativa da energia gasta com a manutenção utilizou-se um fator de reposição (FR) obtido a partir da razão entre a vida útil de projeto (VUP) proposta pela NBR 8681

(ABNT, 2003) e a $VUP_{\text{mínima}}$ e VUP_{superior} para a pintura propostas pela NBR 15575 (ABNT, 2013) como mostra a Tabela 12.

Tabela 12: Fator de reposição da pintura.

VUP*	Componente	$VUP_{\text{mínima}}$	VUP_{superior}	$VUP_{\text{média}}$	FR
50	Pintura interna	3	4	3,5	14,29
50	Pintura externa	8	12	10	5

*VUP em anos.

Além da pintura, as vedações em *steel frame* requerem reposição de alguns materiais, de acordo com Palacios (2013) as placas cimentícias devem ser repostas em 40 anos e as chapas OSB e as placas em gesso em 30 anos, resultando nos FRs da Tabela 13.

Tabela 13: Fator de reposição dos componentes do *steel frame*.

VUP	Componente	Vida útil do material	FR
50	Placas cimentícias	40	1,25
50	Placas de OSB	30	1,67
50	Placas de gesso	30	1,67

Para levantar as emissões de CO₂ na fase de uso utilizaram-se os fatores de emissões por quilo de material do Apêndice G multiplicados pela quantidade de materiais de reposição.

3.3.5 Energia e emissões de CO₂ da fase de pós-uso

Para obter a energia na fase de demolição ou desconstrução e determinar as emissões de CO₂ com demolição ou desconstrução utilizaram-se os fatores propostos por Caldas (2016) como mostra a Tabela 14.

Tabela 14: Fatores de energia e emissões para desconstrução e demolição

Serviço	Produto	Fator	Unidade
Demolição	Energia	0,0354	MJ/Kg
Desconstrução	Energia	0,00257	MJ/Kg
Demolição	Emissões de CO ₂	0,00247	Kg.CO ₂ /Kg
Desconstrução	Emissões de CO ₂	0,0000925	Kg.CO ₂ /Kg

O resumo dos cálculos da energia incorporada e das emissões de CO₂ está apresentado nos apêndices. O apêndice I apresenta a energia na fase de pré-uso dos sistemas de vedação. O apêndice J apresenta a energia na fase de uso dos sistemas de vedação. O apêndice K apresenta a energia na fase de pós-uso dos sistemas de vedação. O apêndice L apresenta as emissões de CO₂ fase de pré-uso dos sistemas de vedação. O apêndice M apresenta as emissões de CO₂ na fase de uso dos sistemas de vedação. O apêndice N apresenta as emissões de CO₂ na fase de pós-uso dos sistemas de vedação.

3.4 Desempenho térmico das edificações

Para determinação do desempenho térmico das edificações foi utilizada a metodologia proposta pela NBR 15220 (ABNT, 2005), considerando o fluxo de calor ocasionado pelas paredes, pelo telhado e pelos ocupantes da edificação no dia com maior período com radiação solar do ano e considerando o horário de maior radiação.

O fluxo de calor pelas paredes e telhados depende dos materiais utilizados e é calculado pela Equação 2 para faces opacas:

$$q = U \cdot (t_{sol-ar} + t_{ext} - t_{int}) \quad (2)$$

Onde:

$$t_{sol-ar} = \alpha \cdot I \cdot R_{se} \quad (3)$$

Desta forma:

$$q = U \cdot (\alpha \cdot I \cdot R_{se} + t_{ext} - t_{int}) \quad (4)$$

Em que,

q = densidade de fluxo de calor (W/m²);

U = transmitância térmica (W/m².°C);

t = temperatura;

α = absorvidade da superfície externa do fechamento;

I = radiação solar (W/m²);

R_{se} = resistência superficial externa.

A transmitância térmica de componentes, de ambiente a ambiente, é o inverso da resistência térmica total, conforme mostra a Equação 5.

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (5)$$

Sendo que a resistência térmica é o somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa.

A resistência térmica de um material é sua propriedade em resistir a passagem do calor e foi obtida pela equação (6):

$$R = \frac{L}{\lambda} \quad (6)$$

Em que,

L = espessura da camada (m);

λ = condutividade termica do material (W/m.°C).

Dependendo da disposição dos materiais a soma das resistências devem ser feita em serie ou em paralelo.

Em elementos transparentes o fluxo de calor foi obtido pela equação (7).

$$q = U \cdot \Delta t + F_s \cdot I \quad (7)$$

Em que,

F_s = fator solar.

Neste trablho considerou-se o fator solar de vidro fumê de 3 mm para as janelas da edificação.

Em todos os cenários foi considerado o uso de telhas cerâmicas e forro de pinus.

A densidade de fluxo de calor emitida pela ocupação humana foi feita considerando 125 kcal/h.

Como trata-se de uma edificação de interesse social considerou-se que apenas os quartos possuem equipamentos de condicionamento térmico.

Para a verificação da energia necessária durante o ciclo de vida para correção de temperatura para proporcionar conforto termico aos ocupantes considerou-se quatro moradores e uso de 180 horas de condicionamento térmico por aparelho, o que corresponde a 2 horas de uso por dia de verão.

3.5 Custo dos sistemas de vedação vertical interna e externa

A determinação do custo dos sistemas de vedação foi feita por meio das composições analíticas do SINAPI.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados da avaliação de ciclo de vida dos sistemas de vedação e discutido o desempenho ambiental dos cenários a partir dos parâmetros analisados. Ainda neste capítulo há a comparação dos resultados obtidos com resultados de outros trabalhos. Conforme citado na metodologia os cenários estão relacionados à tecnologia de vedação como mostra a Tabela 15.

Tabela 15: Cenários

Cenário	SVVIE
Cenário 1	Estrutura de concreto armado com vedação de blocos cerâmicos
Cenário 2	Alvenaria estrutural
Cenário 3	<i>Steel Frame</i>
Cenário 4	Parede de concreto moldada no local

4.1 Energia incorporada aos SVVIEs

Analisando a Figura 11 nota-se que o cenário 4 requer uma quantidade consideravelmente maior que os demais cenários na fase de pré-uso, que compreende a extração, fabricação ou processamento, transporte, trabalho humano e uso de equipamentos na construção do SVVIE, este comportamento se dá pelo fato do alto valor de energia incorporada às fôrmas de alumínio. Os resultados da Figura 11 foram obtidos a partir do Apêndice I.

Contudo há a possibilidade de múltiplas utilizações das mesmas fôrmas quando há repetição do mesmo modelo de unidade habitacional, levando em conta que o projeto do estudo de caso é uma habitação de interesse social, sabe-se que esse tipo de edificação é replicado diversas vezes, desta forma nota-se uma redução da energia da fase de pré-uso com a reutilização das fôrmas de alumínio de acordo com a Figura 12.

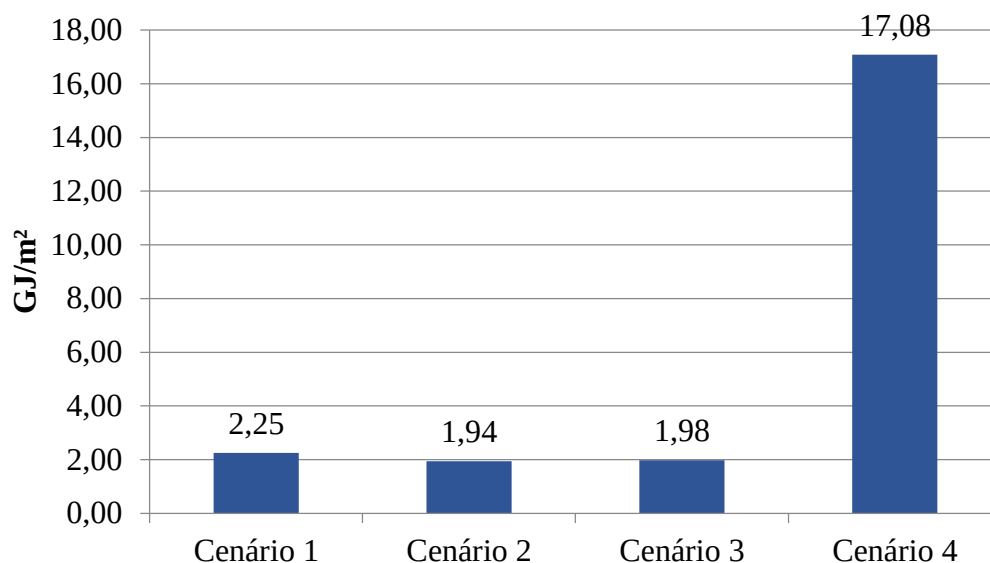


Figura 11: Energia pré-uso de cada cenário

Pedroso (2015) em sua pesquisa sobre energia incorporada a SVVIEs em um estudo de caso para o Distrito Federal obteve 2,02 GJ/m² de energia na fase de pré-uso para um cenário similar ao cenário 1 deste trabalho. Já para alvenaria estrutural com blocos de concreto (sistema de vedação similar ao cenário 2 o mesmo autor encontrou o valor de 1,21 GJ/m² enquanto neste trabalho o valor alcançado foi de 1,94 GJ/m². Essas diferenças podem ser justificadas pela energia gasta com transporte, as distâncias entre ponto de extração e fabricação até a construção são diferentes em função da localidade do estudo de caso.

Percebe-se pela Figura 12 que há uma drástica redução da energia de pré-uso com 100 reutilizações, porém de 500 reutilizações para 1000 não há reduções significantes. Comparando com a energia de pré-uso dos outros cenários nota-se que com 100 repetições o cenário 4 já torna-se mais eficiente que os demais.

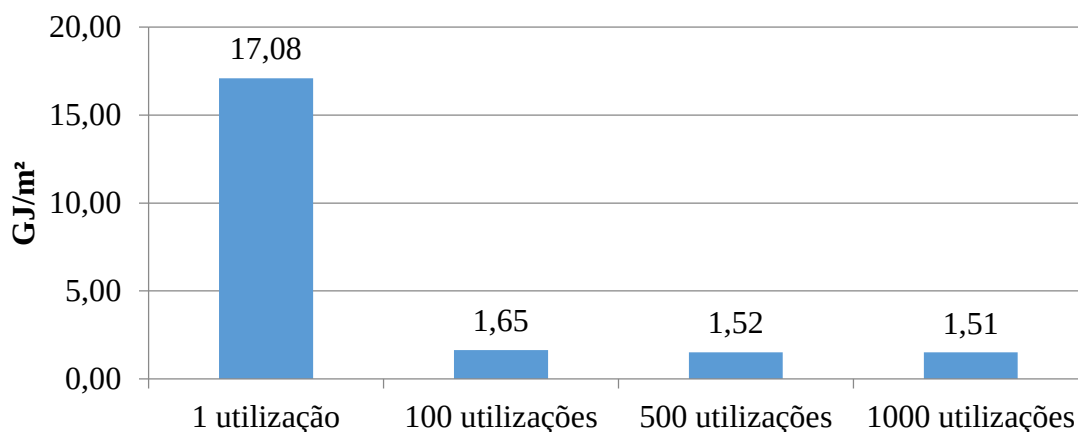


Figura 12: Energia de pré-uso do cenário 4 com reutilização das fôrmas de alumínio

Em seu estudo, Pedroso (2015) estimou que na fase de pré-uso as paredes de concreto moldadas no local consomem 20,03 GJ/m² para 1 repetição de uso das fôrmas de alumínio, 1,77 GJ/m² para 100 utilizações, 1,62 GJ/m² para 500 utilizações e 1,60 GJ/m² para 1000 utilizações, valores próximos aos obtidos neste estudo.

Há ainda a possibilidade de utilizar alumínio reciclado para a confecção das fôrmas de alumínio. Na primeira utilização haveria grande diferença na energia embutida no cenário, contudo com o aumento das utilizações esta diferença seria reduzida como mostra a Figura 13.

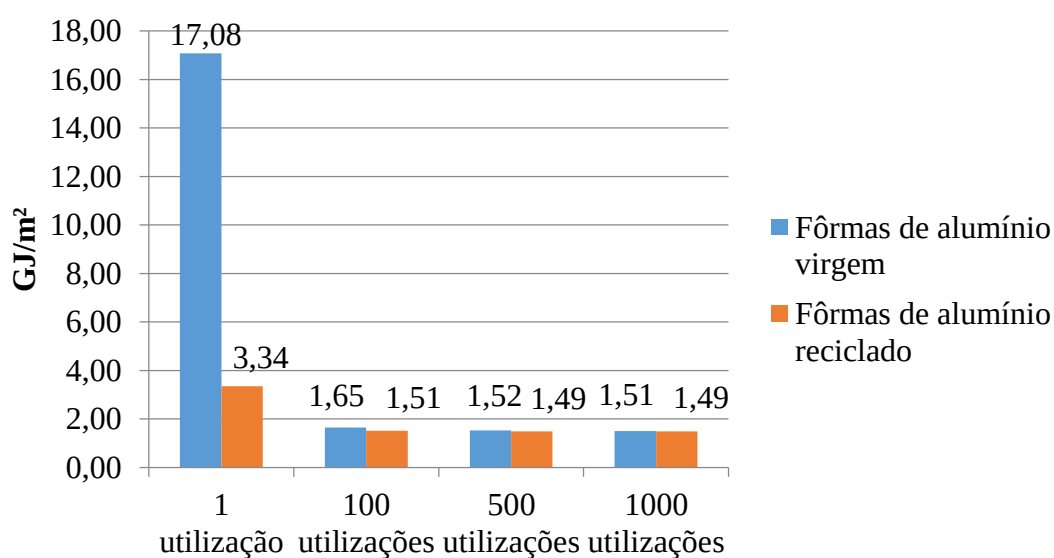


Figura 13: Energia de pré-uso do cenário 4 utilizando fôrmas de alumínio reciclado

Já na fase de uso da edificação a energia que é utilizada nos SVVIEs é a de manutenção. Neste caso o cenário 1, 2 e 4 tem desempenhos similares, pois necessitam apenas do serviço de pintura, entretanto o cenário 3 (*steel frame*) requer reposição de alguns materiais, sendo assim este cenário irá requerer 1,48 GJ/m² como mostra a Figura 14. Os resultados da Figura 14 foram obtidos a partir do Apêndice J.

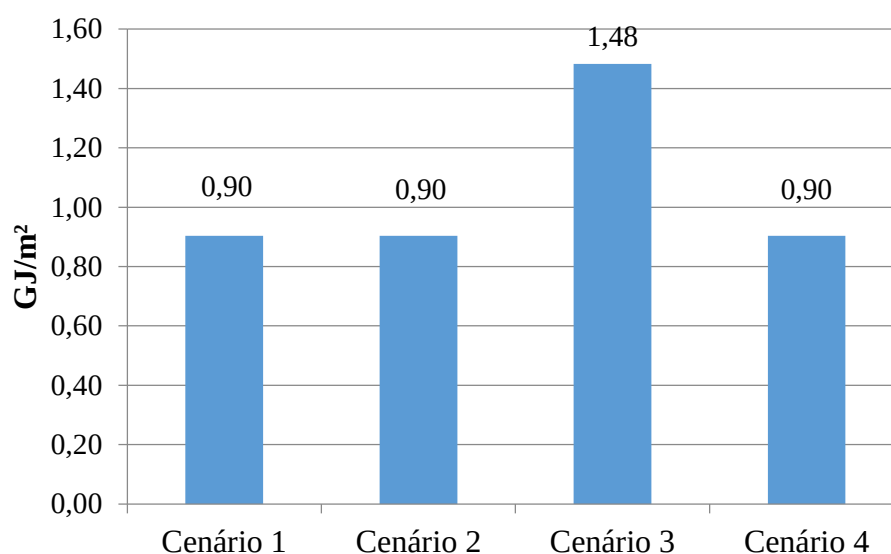


Figura 14: Energia da fase de uso (manutenção)

Na fase de pós-uso, que compreende a demolição ou desconstrução, a energia requerida pelo cenário 3 é reduzida em relação aos demais, isto se dá por dois fatores: menor massa deste cenário e o fator de desconstrução é menor que o de demolição, pois não requer o uso de grandes máquinas movidas a combustível fóssil. Os resultados da Figura 15 foram obtidos a partir do Apêndice K.

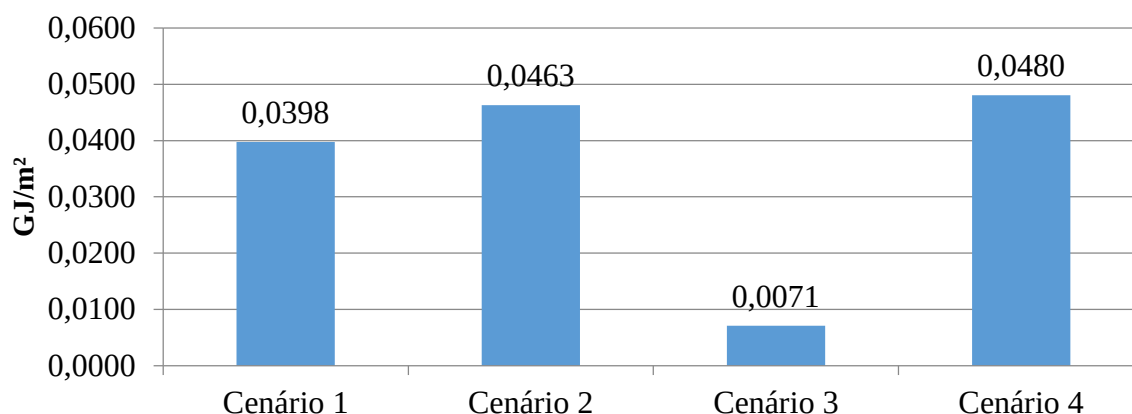


Figura 15: Energia da fase de pós-uso

Pedroso (2015) estimou o gasto energético na demolição/ desconstrução por meio de ensaios em protótipos de 1 m², utilizando esta metodologia obteve o valor de 0,036 GJ/m² para sistema de vedação convencional (cenário 1), 0,033 GJ/m² para alvenaria estrutural (cenário 2), 0,011 para *steel frame* (cenário3) e 0,030 GJ/m² para vedações de concreto (cenário 4).

Analisando o ciclo de vida dos quatro cenários, percebe-se que o cenário 1 requer 3,19 GJ/m², o cenário 2 solicita 2,89 GJ/m², o cenário 3 necessita de 3,47 GJ/m² e o cenário 4 demanda 2,60 GJ/m², considerando que para este último haja 100 utilizações da fôrmas de alumínio virgem.

A Figura 16 evidencia que a fase do ciclo de vida que mais influencia no requerimento de energia dos SVVIEs é a fase de pré-uso, seguida pela fase de uso, sendo que a fase de pós-uso não tem grande expressividade. Contudo a energia é apenas um dos parâmetros de desempenho ambiental dos SVVIEs, a massa e o volume de material a ser descartado são alguns dos fatores que também devem ser analisados.

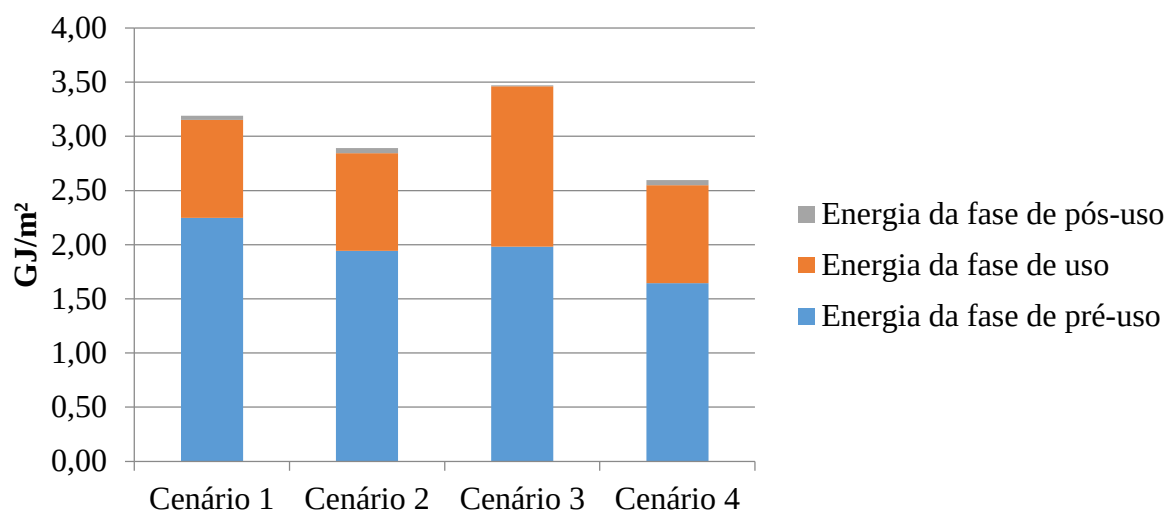


Figura 16: Energia total no ciclo de vida dos SVVIE

Desta forma tem-se que, considerando o ciclo de vida dos SVVIEs analisados, o cenário 4 requer menor quantidade de energia por metro quadrado de edificação e o cenário 3 o que tem a maior demanda.

No entanto a energia gasta com transporte no cenário 3 é significativamente menor que nos outros cenários, como mostra a Figura 17 que compara a energia gasta com transporte e a energia bruta total de cada cenário, esse comportamento pode ser explicado pela massa específica do sistema steel frame ser menor que a massa específica dos demais sistemas de vedação.

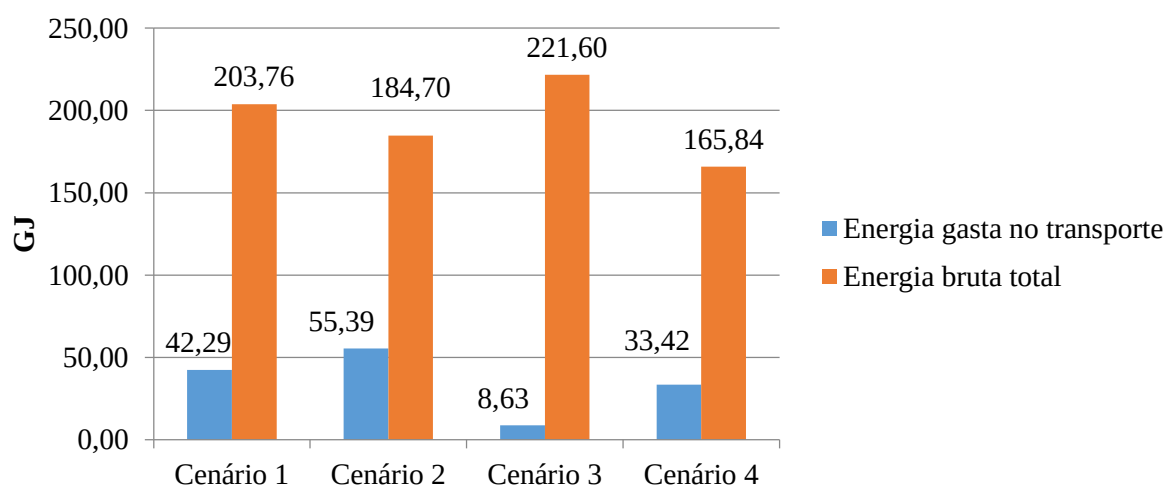


Figura 17: Comparação da energia gasta com transporte com a energia bruta total de cada cenário

A Figura 18 apresenta a comparação da energia incorporada aos materiais com a energia bruta total de cada cenário, e demonstra que grande parte da energia bruta total do

cenário 3 é devida a energia incorporada dos materiais de construção utilizados neste sistema, o que corresponde a 95,19% da energia bruta total.

Nos demais cenários este percentual é menor, no sistema convencional a energia incorporada aos materiais corresponde a 76,63% da energia bruta total, na alvenaria estrutural a 67,00% e na parede de concreto moldada no local esse percentual é de 77,64%.

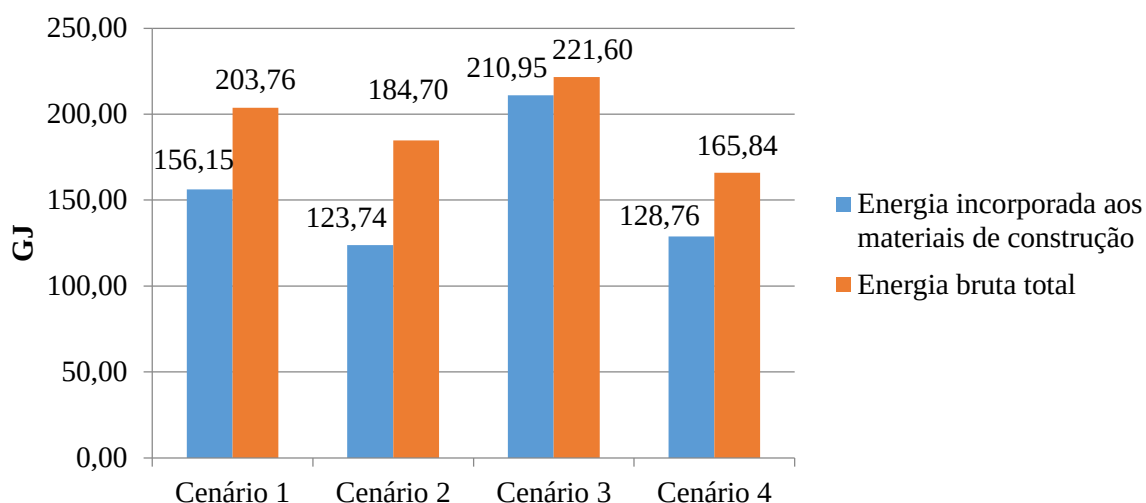


Figura 18: Comparação da energia incorporada aos materiais com a energia bruta total de cada cenário

Em todos os cenários notou-se que alguns materiais são responsáveis pela maior parte da energia incorporada aos SVVIE's, comportamento que pode ser evidenciado pelas Figuras 16, 17, 18 e 19. A tabela 16 mostra os materiais com maior representatividade para o cenário 1. Neste caso pode-se perceber que apenas cinco materiais são responsáveis por mais de 90%.

Tabela 16: Materiais que representam mais que 5% da energia de pré-uso no cenário 1

Material	Percentual (%)
Bloco cerâmico	23,47
Cimento Portland	20,36
Areia	20,08
Massa corrida PVA	16,16
Aço	9,98
Total	90,05

*Os percentuais supracitados incluem energia embutida na fabricação/extração e transporte dos materiais.

Analisando as Tabelas 16, 17 e 19 pode-se perceber que a areia, apesar de ter uma energia incorporada unitária baixa em relação a outros materiais (0,05 MJ/kg), é responsável por uma grande parte da energia embutida nos materiais, isso se deve ao alto percentual de

desperdício deste material aliado a quantidade de material necessária e a distância do local da obra até a jazida de extração do material.

A Tabela 17 evidencia que no cenário 2 apenas 5 materiais já representam 93,28%.

Tabela 17: Materiais que representam mais que 5% da energia de pré-uso no cenário 2

Material	Percentual (%)
Areia	35,36
Massa corrida	22,37
Cimento Portland	18,70
Cal	12,17
Aço	4,68
Total	93,28

*Os percentuais supracitados incluem energia embutida na fabricação/extração e transporte dos materiais.

Já no cenário 3, como mostra a Tabela 18, os materiais que representam mais que 90% da energia na fase de pré-uso são as placas OBS, a lã de rocha, o aço, as placas cimentícias e o gesso.

Tabela 18: Materiais que representam mais que 5% da energia de pré-uso no cenário 3

Material	Percentual (%)
Placa OBS	26,41
Lã de rocha	19,66
Aço	24,10
Placa cimentícia	10,47
Gesso	9,82
Total	90,46

*Os percentuais supracitados incluem energia embutida na fabricação/extração e transporte dos materiais.

No cenário 4, devido ao método construtivo o cimento representou 23,88% da energia total da fase de pré-uso. O percentual de participação no consumo de energia na fase de pré-uso deste cenário dos materiais que representam mais que 5% da energia de pré-uso é mostrada na Tabela 19.

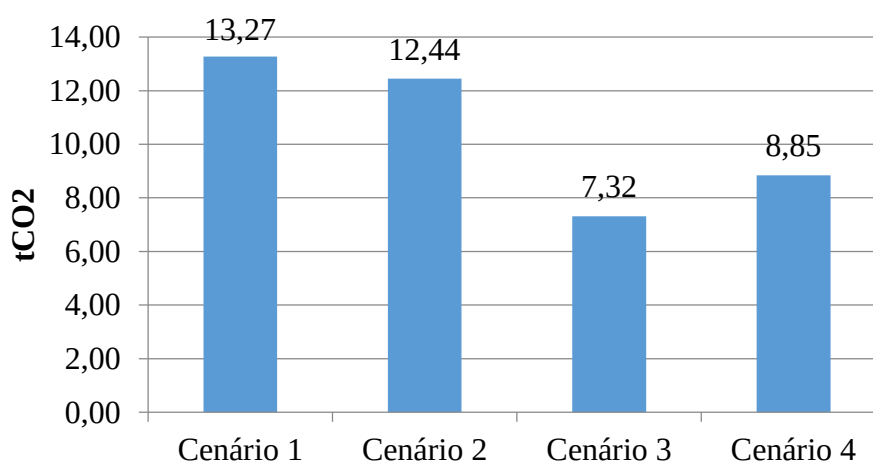
Tabela 19: Materiais que representam mais que 5% da energia de pré-uso no cenário 4

Material	Percentual (%)
Cimento	23,88
Massa corrida	22,07
Areia	21,92
Aço	9,54
Formas de alumínio	9,48
Total	86,89

*Os percentuais supracitados incluem energia embutida na fabricação/extração e transporte dos materiais.

4.2 Emissões oriundas do ciclo de vida dos SVVIE's

De forma semelhante à energia as emissões de CO₂ são majoritárias na fase de pré-uso, no entanto quando a função da ACV são as emissões de CO₂ o cenário 1 é o que apresenta maiores valores e o cenário 3 o que apresenta menores valores. A Figura 19, indica essa situação na fase de pré-uso. Os resultados da Figura 19 foram obtidos a partir do Apêndice L.

**Figura 19:** Emissões de CO₂ na fase de pré-uso

Como evidencia a Figura 20 na fase de uso as emissões são mais significativas no cenário 3 devido a necessidade de reposição de mais materiais que os demais cenários. Nos cenários 1, 2 e 4 os valores são iguais, pois a reposição de materiais e o serviço de manutenção são equivalentes para todos. Os resultados da Figura 20 foram obtidos a partir do Apêndice M.

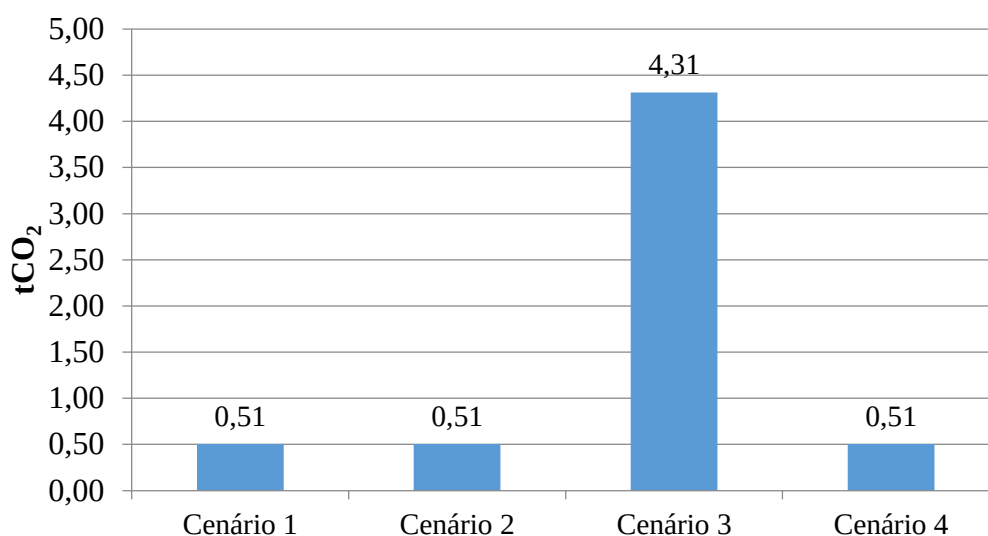


Figura 20: Emissões de CO₂ na fase de uso

A Figura 21 estampa as emissões de CO₂ na fase de pós-uso. Neste caso o cenário 3 é o que tem menor valor de emissão, isso se deve ao método de desmontagem do *steel frame* e a sua massa reduzida. Os resultados da Figura 21 foram obtidos a partir do Apêndice N.

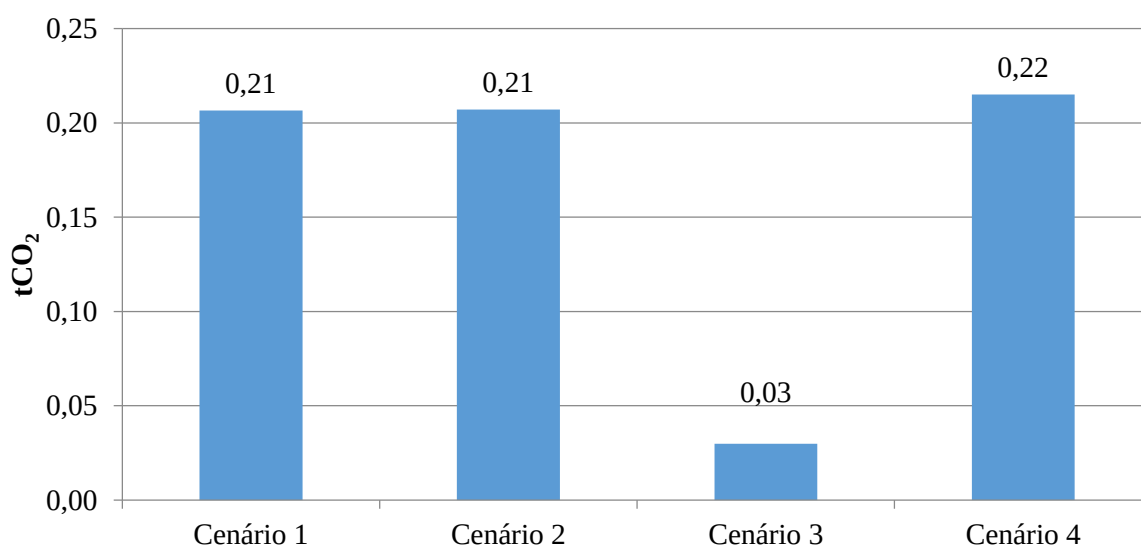


Figura 21: Emissões de CO₂ na fase de pós-uso

Analisando as emissões de CO₂ durante todo o ciclo de vida dos SVVIEs percebe-se que o cenário que apresenta o menor valor é o 4. A Figura 22 mostras as emissões totais de CO₂ para cada cenário.

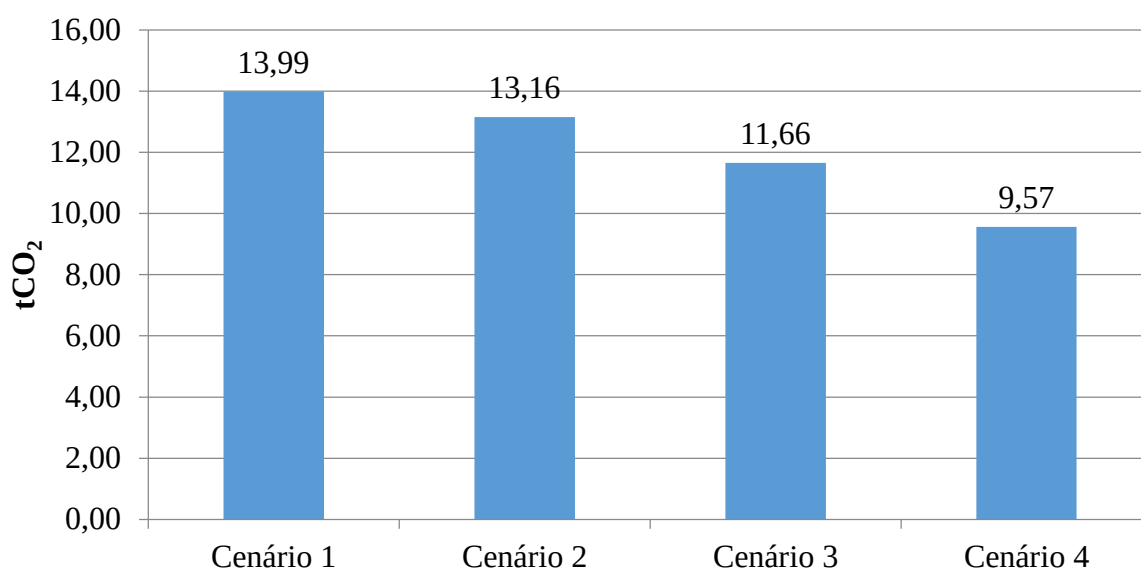


Figura 22: Emissões de CO₂ totais

Convertendo as emissões do cenário 1 para kg.CO₂/m² de vedação obtêm-se o valor de 87,22 kg.CO₂/m² valor próximo ao encontrado por Nabut Neto (2011) que em cenário similar computou 85 kg.CO₂/m² de vedação.

Fazendo a mesma conversão para o cenário 4 chega-se ao valor de 59,67 kg.CO₂/m² de vedação. Para um cenário similar Mequignon et al. (2013) obteve o valor de 65,10 kg.CO₂/m².

Por metro cúbico o cenário 4 emite 5,81 kg.CO₂, no entanto em estudo sobre emissões de paredes de concreto para contenção de solo Molina-moreno, Martí e Yepes (2017) obtiveram 11,05 kg.CO₂/m², isso ocorre pois muros de arrimos necessitam de um concreto com maior resistência, o que reflete no maior consumo de aço e cimento por metro cúbico e de acordo com Zastrow et al. (2017) o cimento e o aço são responsáveis pela maior parte da energia incorporada em muros de contenção.

Islam et al. (2014) em estudo sobre os sistemas de vedação típicos da Austrália, tijolo cerâmico, bloco de concreto e fechamentos em madeira, concluiu que os fechamentos de madeira são responsáveis por uma grandeza menor de emissões que os demais. Huang et al. (2017), em estudo sobre energia incorporada em dormitórios de universidades chinesas também constatou que as estruturas de madeira tem menores emissões, sendo assim a madeira se torna mais uma opção aos sistemas de vedação alternativos no Brasil.

Como as emissões oriundas do transporte de materiais e trabalhadores é proporcional a energia com transporte, o cenário 3 gera menos emissões. A Figura 23 faz uma comparação entre as emissões geradas pelo transporte a as emissões brutas totais de cada cenário.

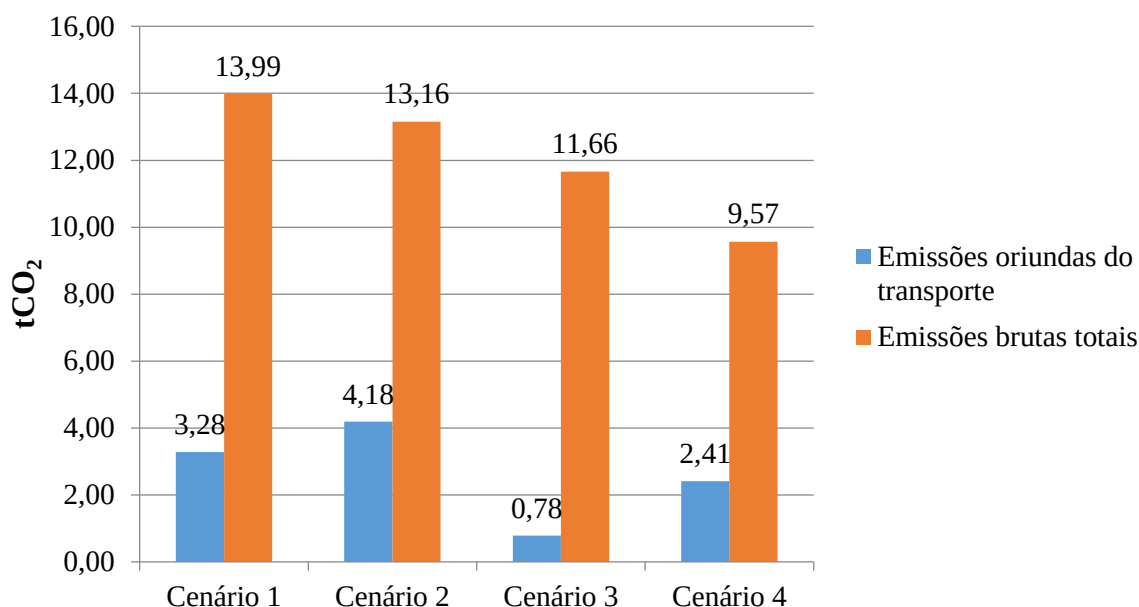


Figura 23: Comparação das emissões de CO₂ com transporte com as emissões brutas totais de cada cenário

Diferentemente das emissões com transporte, nas emissões de CO₂ incorporadas aos materiais, ou seja, provindas da extração, processamento ou fabricação dos materiais, o cenário 3 é o que gera mais emissões de CO₂. A Figura 24 mostra que as emissões do cenário 1 e do cenário 3 geram quantidades próximas.

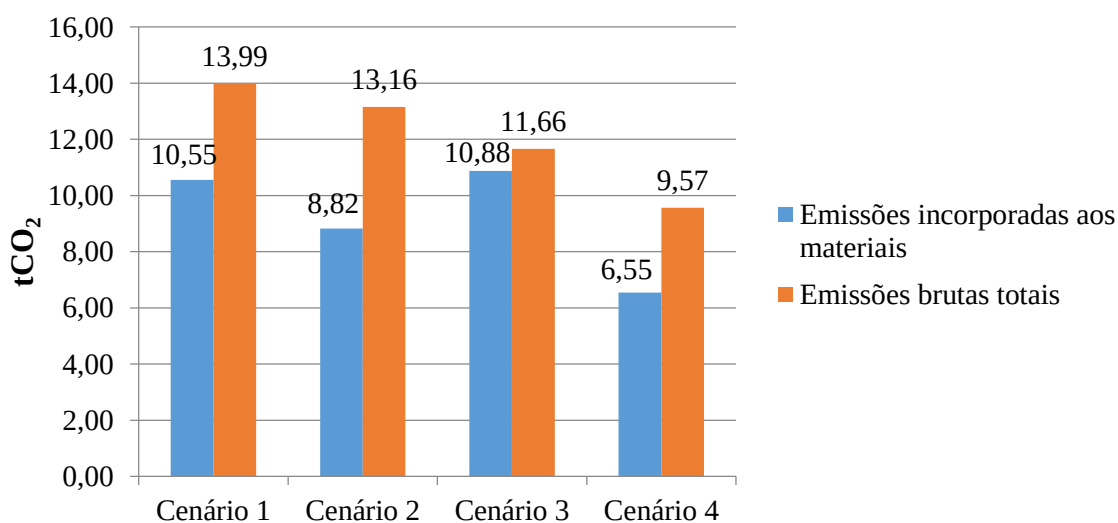


Figura 24: Comparação das emissões de CO₂ incorporadas aos materiais com as emissões brutas totais de cada cenário

4.3 Resíduos provindos dos SVVIE's

Em relação aos resíduos produzidos por cada SVVIE com desperdícios e na demolição ou desconstrução, os cenários 1, 2 e 4 apresentam valores próximos, no entanto o cenário 3 a massa de resíduos é consideravelmente menor.

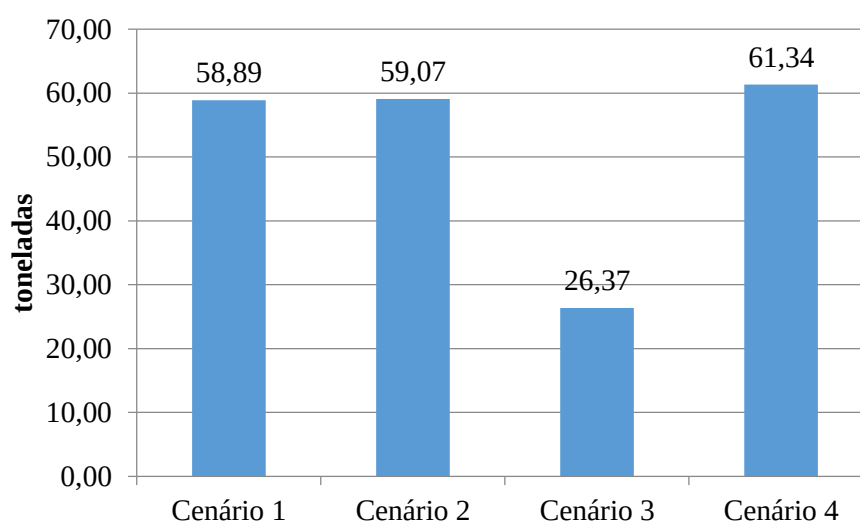


Figura 25: Massa dos resíduos sólidos provindos dos sistemas de vedação incluindo desperdícios

Comparando a Figura 25 com a Figura 22 nota-se que a massa de materiais utilizados na construção não está relacionada à massa de emissões, pois o cenário 4 apesar de ter a maior massa de resíduos é o que tem menor valor de emissões de CO₂.

Relacionando as Figuras 25 e 16 também se pode perceber que o consumo energético também não está relacionado a massa de resíduos, pois o cenário 3 é o que possui maior consumo energético e é o mais leve entre os cenários estudados.

4.4 Custo dos sistemas de vedação vertical internos e externos

A Tabela 20 relaciona o custo de implantação de SVVIE's por metros quadrado de edificação com os gastos energéticos e as emissões de CO₂. Pode-se perceber que o cenário 3 tem o maior custo de implantação, uma das motivações desse alto custo é a ausência de mão

de obra especializada neste tipo de sistema construtivo o que encarece o serviço. O cenário 3 também é o cenário que apresenta as maiores relações custo/energia e custo/emissões.

Tabela 20: Associação dos valores energéticos com valores financeiros

Cenário	Custo (R\$/m ²)	Custo/energia (R\$/GJ)	Custo/emissões de CO ₂ (R\$/kg.CO ₂)
Cenário 1	505,17	158,32	2306,57
Cenário 2	316,93	109,58	1538,51
Cenário 3	611,96	176,35	3351,86
Cenário 4	371,30	142,97	2478,11

Ainda na Tabela 20 pode-se perceber que o cenário 2 é o cenário com menor custo de implantação e menores relações custo/energia e custo/emissões o que pode ser explicado pelo baixo consumo de aço desse sistema construtivo.

4.5 Gestão energética da edificação

Conforme mostra o Apêndice O, desconsiderando os equipamentos de condicionamento térmico a energia gasta com a gestão energética da edificação é de 12,61 GJ/m² de edificação.

Como mostra a Tabela 21, a partir do dimensionamento dos equipamentos de correção da temperatura notou-se que os cenários 1, 2 e 4 necessitam de aparelhos com a mesma potência, no entanto o cenário 3, devido a utilização de um isolante térmico (lã de rocha), requer, nos quartos 1 e 2, equipamentos com menor potencia, resultando assim num consumo de 3,72 GJ/m² para os cenários 1, 2 e 4 e 3,12 GJ/m² para o cenário 3 durante o ciclo de vida da edificação.

Tabela 21: Consumo energético com condicionamento térmico

Cômodo	Cenários 1,2 e 4	Cenário 3
	Potência (BTU)	Potência (BTU)
Quarto 1	9000	7000
Quarto 2	9000	7000
Quarto 3	7000	7000
Total de energia consumida no ciclo de vida (kWh)	65982,40	55425,22
Total de energia consumida no ciclo de vida (GJ)	237,54	199,53
Total de energia consumida no ciclo de vida (GJ/m ²)	3,72	3,12

Desta forma durante o ciclo de vida os cenários 1, 2 e 3 consomem 16,33 GJ/m² e o cenário 3 utiliza 15,73 GJ/m².

4.6 Análise geral do ciclo de vida dos SVVIE's

A Figura 26 mostra as emissões de CO₂ e a energia incorporada ao ciclo de vida de cada cenário, a partir desta é possível perceber que o cenário 4 apresenta os menores valores para ambas as funções, no entanto, como mostra a Figura 26 este mesmo cenário ~~é o~~ gera a maior massa de resíduos.

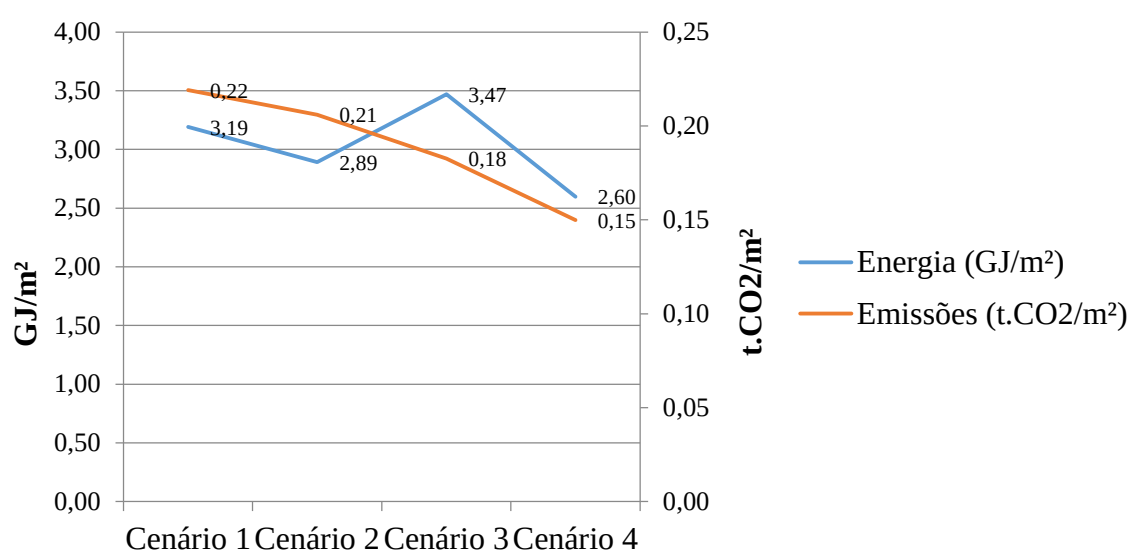


Figura 26: Comparação da energia incorporada com as emissões de CO₂ cada cenário

Analisando as Figuras 17, 18, 23 e 24 nota-se que o transporte e os materiais são responsáveis por grande parte da energia consumida e emissões de CO₂, diante disto a Tabela 22 mostra os percentuais de energia e emissões advindas das demais fontes e evidencia que não são valores de grande participação.

Tabela 22: Percentuais de energia e emissões advindos da mão de obra e uso de equipamentos.

Cenário	Percentual de energia gasta com mão de obra e equipamento utilizados na construção, manutenção e demolição (%)	Percentual de emissões de CO ₂ advindas do uso de equipamentos (%)
Cenário 1	2,62	1,07
Cenário 2	3,02	1,15
Cenário 3	0,91	0,05
Cenário 4	2,21	3,87

Considerado a energia despendida com a construção, manutenção e demolição/desconstrução dos SVVIEs e também com a utilização de equipamentos durante o ciclo de vida das edificações tem-se os valores dados pela Tabela 23.

Tabela 23: Energia total no ciclo de vida considerando o uso da edificação

Cenário	Energia incorporada aos SVVIEs (GJ/m ²)	Energia consumida com o uso da edificação (GJ/m ²)	Energia total (GJ/m ²)
1	3,19	16,33	19,52
2	2,89	16,33	19,22
3	3,47	15,73	19,20
4	2,60	16,33	18,93

Analisando a Tabela 23 percebe-se que quando se considera a energia de uso da edificação o cenário 4 continua sendo o cenário que menos consome energia, contudo o cenário 3, devido a suas propriedades de isolamento passa a ser mais econômico em relação ao cenário 1 e 2.

A Tabela 24 mostra o mesmo comportamento para as emissões, ou seja, considerando as emissões geradas com o uso da edificação o cenário 4 continua sendo o que menos emite, seguido então pelos cenários 3, 2 e 1.

Tabela 24: Emissões de CO₂ totais no ciclo de vida considerando o uso da edificação

Cenário	Emissões incorporada aos SVVIEs (t.CO ₂ /m ²)	Emissões geradas com o uso da edificação (t.CO ₂ /m ²)	Emissões de CO ₂ totais (t.CO ₂ /m ²)
1	0,22	0,39	0,61
2	0,21	0,39	0,60
3	0,18	0,38	0,56
4	0,15	0,39	0,54

5 CONCLUSÕES

Buscando atender os objetivos deste trabalho conclui-se que cenário 1 requer 3,19 GJ/m², o cenário 2 solicita 2,89 GJ/m², o cenário 3 necessita de 3,47 GJ/m² e o cenário 4 demanda 2,60 GJ/m², considerando que para este último haja 100 utilizações da fôrmas de alumínio virgem.

Analisando as emissões de CO₂ durante o ciclo de vida destes SVVIEs consuma-se que para este estudo de caso o cenário 1 emite 0,22 t.CO₂/m² de construção, o cenário 2 emite 0,21 t.CO₂/m² de construção, o cenário 3 emite 0,18 t.CO₂/m² de construção e o cenário 4 emite 0,15 t.CO₂/m² de construção.

No entanto se considerarmos a energia que é utilizada com equipamentos durante a utilização da edificação o cenário 1 consome 19,52 GJ/m², o cenário 2 requer 19,22 GJ/m², o cenário 3 necessita de 19,20 GJ/m² e o cenário demanda 18,93 GJ/m².

Quando consideradas as emissões oriundas da utilização, têm-se os seguintes valores: 0,61 t.CO₂/m² para o cenário 1, 0,60 t.CO₂/m² para o cenário 2, 056 t.CO₂/m² para o cenário 3 e 057 t.CO₂/m² para o cenário 4.

Desta forma o cenário 4 mostra-se o mais sustentável para as dimensões analisadas, no entanto salienta-se que outros parâmetros como classificação dos resíduos e consumo de água também devem ser analisados para uma avaliação mais completa do cenário, contudo estes parâmetros não fazem parte do escopo deste trabalho.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Elaboração de um inventário de custo energético dos materiais de construção fabricados e extraídos na região oeste do Paraná;
- Comparação da ACVE de uma edificação feita pelo método híbrido e por *software*;
- Elaboração de *software* de ACVE e ACVCO₂ que utilize inventário brasileiro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais — Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 15220-4: Edificações Desempenho térmico de edificações. Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 15961-1: Alvenaria estrutural — Blocos de concreto Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 15961-2: Alvenaria estrutural — Blocos de concreto Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 16055: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações — Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Brasília, 2010.

AGOPYAN, V. et al. **Alternativas para a redução de desperdício de materiais nos canteiros de obras**. Relatório Final. PCC-USP/FINEP/ITQC, 5 volumes. 1355 p. Setembro de 1998.

AJAYI, Saheed O. et al. Attributes of design for construction waste minimization: A case study of waste-to-energy project. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 73, p.1333-1341, jun. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.084>.

AMORIM, L. M.; CORDEIRO, J. S. Aspectos da Ocupação de Fundos de Vale na Área Urbana de São Carlos-SP. Anais... III Encontro Nacional Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis (ENECS). Curitiba, 2003. 14 p.

ATMACA, Adem; ATMACA, Nihat. Life cycle energy (LCEA) and carbon dioxide emissions (LCCO₂A) assessment of two residential buildings in Gaziantep, Turkey. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 102, p.417-431, set. 2015. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.008>.

BAIRD, G.; ALCORN, A.; HASLAM, P. The energy embodied in building materials – update New Zealand coefficients and their significance. **IPENZ Transactions**, Lisboa, Vol. 24, N° 24/CE. 1997.

BOUCHARD et al. A method to assess energy expenditure in children and adults. **American journal of clinical nutrition**. 1983.

BRASIL. Lei nº 10297, de 17 de outubro de 2001. **Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia**. Brasília, 2001.

BRASIL. Ministério da Indústria e Comércio, Secretaria de Tecnologia Industrial –Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC / MG. **Balanco Energético de Edificações Típicas**. Brasília, 1982.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. . **Plano nacional de eficiência energética**. Brasília, 2010.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Resolução nº 3. **Aprovação do Termo de Referência do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida**. Brasília, 22 abr. 2010.

BUNNING, Myles E.; CRAWFORD, Robert H.. Directionally selective shading control in maritime sub-tropical and temperate climates: Life cycle energy implications for office buildings. **Building And Environment**, [s.l.], v. 104, p.275-285, ago. 2016. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.009>.

CABEZA, Luisa F. et al. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 29, p.394-416, jan. 2014. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>.

CAIXA. **Sistema construtivo utilizando perfis estruturais formados a frio de aços revestidos – Requisitos e condições mínimos para financiamento pela Caixa / Caixa Econômica Federal**. – Brasília, DF. 2003.

CALDAS, Lucas Rosse et al. **Aplicação da avaliação do ciclo de vida energético (ACVE) no retrofit de fachadas**. In: congresso internacional na recuperação, manutenção e restauração de edifícios, 5., 2015, Rio de Janeiro. **Anais...** . Rio de Janeiro: [s.e.], 2015. p. 1 – 12

CALDAS, Lucas Rosse et al. Avaliação do ciclo de vida energético (ACVE) e do desempenho térmico de uma habitação de light steel framing com o uso de diferentes tipos de isolantes térmicos. **Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [s.l.], v. 11, n. 2, p.1-14, 20 mar. 2016. Universidade Federal de Goiás. <http://dx.doi.org/10.5216/reec.v11i2.37863>.

CAMILO, Henrique Fernandes et al. Assessment of photovoltaic distributed generation – Issues of grid connected systems through the consumer side applied to a case study of Brazil. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], p.857-870, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.099>.

CARMINATTI JR., R. **Análise do ciclo de vida energético de projeto de habitação de interesse social concebido em light steel framing**. Dissertação de Mestrado. São Carlos, SP, UFSCar, 2012.

CARNEIRO, Manasses Guimarães; CERQUEIRA, Bruno Dantas. Participação da geração eólica em leilões de energia e sua contribuição em tempos de crise energética. **R. Bras. Ener. Renov.**, [s.l.], v. 5, n. 1, p.51-64, 30 mar. 2016. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v5i1.43051>.

CHAU, C.k.; LEUNG, T.m.; NG, W.y.. A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings. **Applied Energy**, [s.l.], v. 143, p.395-413, abr. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.023>.

CIAMBRONE, David F. **Environmental Life Cycle Analysis**. Newport Beach: Lewis, 1997.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS). **Benchmarking consumo de energia em edificações**. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/CTEnergia-benchmark/CBCS_Benchmarking_objetivos.pdf> Acesso em 12/07/2015.

CORSINI, Rodnei. **Paredes normatizadas**. 2011. Publicado pela revista Técnica. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/183/artigo287955-1.aspx>>. Acesso em: 07 fev. 2017.

CRAWFORD, Robert H. et al. Evaluating the life cycle energy benefits of energy efficiency regulations for buildings. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 63, p.435-451, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.061>.

DANTAS, Guilherme de A. et al. Prospects for the Brazilian electricity sector in the 2030s: Scenarios and guidelines for its transformation. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 68, p.997-1007, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.003>

DIAO, Xinshen et al. Mechanization in Ghana: Emerging demand, and the search for alternative supply models. **Food Policy**, [s.l.], v. 48, p.168-181, out. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.05.013>.

EMATER. **Habitação Rural - O Programa**. Disponível em:
<<http://www.emater.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=182>>. Acesso em:
09 fev. 2017.

EPE. 2016. **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro, Brasil: Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em
<https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf>.

FALCÃO, C. M. B. DE B. *et al.* **Análise da qualidade do investimento e emissões de CO2 associadas à produção de agregados reciclados na Região Metropolitana de São Paulo**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

FIGUEIREDO, Paulo N.. New challenges for public research organisations in agricultural innovation in developing economies: Evidence from Embrapa in Brazil's soybean industry. **The Quarterly Review Of Economics And Finance**, [s.l.], v. 62, p.21-32, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.qref.2016.07.011>.

FILIMONAU, Viachaslau *et al.* Reviewing the carbon footprint analysis of hotels: Life Cycle Energy Analysis (LCEA) as a holistic method for carbon impact appraisal of tourist accommodation. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 19, n. 17-18, p.1917-1930, nov. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.002>.

FLÓREZ-ORREGO, Daniel *et al.* Renewable and non-renewable exergy costs and CO2 emissions in the production of fuels for Brazilian transportation sector. **Energy**, [s.l.], v. 88, p.18-36, ago. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.031>.

FORMOSO, C. T.; DE CESARE, C. M.; LANTELME, E. M. V.; SOIBELMAN, L. **As perdas na construção civil: Conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor**. NORIE, UFRGS, Porto Alegre, RS, 1998. 12 p.

FOSSATI, Michele *et al.* Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 65, p.1216-1231, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.048>.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 3ª ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011.

GRAF, G. F. **Transmitância térmica e energia incorporada na arquitetura: sua relação nas superfícies do invólucro de uma edificação residencial unifamiliar conforme a Norma NBR 12721**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

GUIMARÃES, G. D. **Análise energética na construção de habitações**. Rio de Janeiro, 1985. Dissertação de mestrado, Programa de Planejamento Energético, COPPE, UFRJ.

HUANG, Lizhen *et al.* Life cycle assessment and life cycle cost of university dormitories in the southeast China: Case study of the university town of Fuzhou. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], p.88-100, jun. 2017. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.021>

HE, Kun; WANG, Li. A review of energy use and energy-efficient technologies for the iron and steel industry. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 70, p.1022-1039, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.007>.

HUNTZINGER, Deborah N.; EATMON, Thomas D.. A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 17, n. 7, p.668-675, maio 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.007>

HUO, Haie; SHAO, Junhu; HUO, Haibo. Contributions of energy-saving technologies to building energy saving in different climatic regions of China. **Applied Thermal Engineering**, [s.l.], v. 124, p.1159-1168, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.06.065>.

IBGE. Censo Demográfico 2010 – Características Gerais da População. Resultados da Amostra. IBGE, 2010. Disponível em http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd_2010_religiao_deficiencia.pdf. Público acesso em 09 de fevereiro de 2017.

IBICT – INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Desenvolvimento sustentável e avaliação do ciclo de vida**. Brasília: CNI, 2014, 33 p.

INGARAO, Giuseppe *et al.* Energy and CO₂ life cycle inventory issues for aluminum based components: the case study of a high speed train window panel. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 126, p.493-503, jul. 2016a. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.070>.

INGRAO, Carlo *et al.* A comparative Life Cycle Assessment of external wall-compositions for cleaner construction solutions in buildings. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 124, p.283-298, jun. 2016b. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.112>.

INTERNACIONAL REFRIGERAÇÃO (Santa Catarina). **Painel Isotérmico - EPS**. Disponível em:

<<http://www.internationalrefrigeracao.com.br/portal/index.php/solucoes/camara-frigorifica/painel-isotermico/painel-isotermico-eps>>. Acesso em: 07 fev. 2017.

IPCC. 2006. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, v. 2- Energy. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>> Acesso em 20/03/2015.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Pesquisa de oferta de materiais de construção no Estado de São Paulo. São Paulo.1982.

ISLAM, Hamidul *et al.* Life cycle assessment and life cycle cost implications of wall assemblages designs. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 84, p.33-45, dez. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.041>.

KAMALI, Mohammad; HEWAGE, Kasun. Development of performance criteria for sustainability evaluation of modular versus conventional construction methods. **Journal Of**

Cleaner Production, [s.l.], v. 142, p.3592-3606, jan. 2017. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.108>.

KOVACIC, Iva; WALTENBEREGER, Linus; GOURLIS, Georgios. Tool for lifecycle analysis of facade-systems for industrial buildings. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 130, p.260-272, set. 2016. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.063>.

LAMAS, Wendell de Queiroz; GIACAGLIA, Giorgio Eugenio Oscare. The Brazilian energy matrix: Evolution analysis and its impact on farming. **Energy Policy**, [s.l.], v. 63, p.321-327, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.09.009>

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª ed. São Paulo: Pro Livros, 2012.

LI, Dezhi; CUI, Peng; LU, Yujie. Development of an automated estimator of life-cycle carbon emissions for residential buildings: A case study in Nanjing, China. **Habitat International**, [s.l.], v. 57, p.154-163, out. 2016. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.07.003>.

LOBO, F. H. R. **Inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono e energia embutida na composição de serviços em obras públicas: estudo de caso no estado do Paraná**. Dissertação de Mestrado, Setor de Tecnologia, PGCC, UFPR, Curitiba, PR, 2010.

LOTT, Melissa C.; PYE, Steve; DODDS, Paul E.. Quantifying the co-impacts of energy sector decarbonisation on outdoor air pollution in the United Kingdom. **Energy Policy**, [s.l.], v. 101, p.42-51, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2016.11.028>.

MADLOOL, N.a. *et al.* A critical review on energy use and savings in the cement industries. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 15, n. 4, p.2042-2060, maio 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.005>.

MAGALHÃES, Ruane Fernandes de; DANILEVICZ, Ângela de Moura Ferreira; SAURIN, Tarcisio Abreu. Reducing construction waste: A study of urban infrastructure projects. **Waste Management**, [s.l.], v. 1, n. 35, p.1-13, maio 2017. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.025>.

MANGAN, Suzi Dilara; ORAL, Gül Koçlar. A Study on Life Cycle Assessment of Energy Retrofit Strategies for Residential Buildings in Turkey. **Energy Procedia**, [s.l.], v. 78, p.842-847, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.005>.

MCT. **Segundo inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa**: emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais – produtos minerais. Brasília: Mct, 2010.

MEQUIGNON, Marc et al. **Impact of the lifespan of building external walls on greenhouse gas index**. Building And Environment, [s.l.], v. 59, p.654-661, jan. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.09.020>.

MIRANDA, M. M. **Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MMA. 2014. “Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários”. Brasília, Brasil: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=71044&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1402513929715>>.

MOLINA-MORENO, Francisca; MARTÍ, José V.; YEPES, Víctor. **Carbon embodied optimization for buttressed earth-retaining walls: Implications for low-carbon conceptual designs**. Journal Of Cleaner Production, [s.l.], v. 164, p.872-884, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.246>.

MONTEIRO, Marcelo Barbosa. **Avaliação do Ciclo de Vida Energético do Sistema de Painéis de Aço Isotérmicos Aplicados em Edifícios no Contexto Bioclimático**. 2015. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

MUÑOZ, Pedro *et al.* Implications of Life Cycle Energy Assessment of a new school building, regarding the nearly Zero Energy Buildings targets in EU: A case of Study. **Sustainable Cities And Society**, [s.l.], v. 32, p.142-152, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.03.016>.

NABUT NETO, A.C. **Energia Incorporada e Emissões de CO2 de Fachadas. Estudo de Caso do Steel Frame para Utilização em Brasília**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

PAULSEN, Jacob Silva; SPOSTO, Rosa Maria. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program “MY HOUSE MY LIFE”. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 57, p.95-102, fev. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.014>.

PACHECO-TORGAL, F. *et al.* Contributor contact details. **Eco-efficient Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.1-591, nov. 2014. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-85709-767-5.50026-1>.

PEDROSO, Gilson Marafiga. Avaliação de ciclo de vida energético (ACVE) de sistemas de vedação de habitações. 2015. xvii, 226 f., il. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil)—Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

PHILLIS, Yannis A.; KOUIKOGLOU, Vassilis S.; VERDUGO, Catalina. Urban sustainability assessment and ranking of cities. **Computers, Environment And Urban Systems**, [s.l.], v. 64, p.254-265, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.03.002>.

PIETROBON *et al.* Análise comparativa do consumo energético na fase de fabricação dos materiais de construção. Anais do III Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC-, julho de 1995. ANTAC, 1995.

PROCEL. **Dicas de Economia de Energia**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={E6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000}>>. Acesso em: 11 jul. 2017.

Review of distributed generation with photovoltaic grid connected systems in Brazil: Challenges and prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 124, p.41-50, Nov 2016 . Elsevier BV.
<http://dx.doi.org.ez89.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.rser.2016.10.076>

ROSSI, E. **Avaliação do ciclo de vida da brita para a construção civil: estudo de caso**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2013. Disponível em: http://www.bdttd.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado/tde_bu-sca/arquivo.php?codArquivo =6566.

SEVERO, Eliana Andrea; GUIMARÃES, Julio Cesar Ferro de; DORION, Eric Charles Henri. Cleaner production and environmental management as sustainable product innovation antecedents: A survey in Brazilian industries. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 142, p.87-97, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.090>.

SILVA, Fernando Benigno da. **Paredes de concreto armado moldadas in loco**. 2011. Publicado pela revista Técnica. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/167/paredes-de-concreto-armado-moldadas-in-loco-286799-1.aspx>>. Acesso em: 07 fev. 2017.

SILVA, B. V. **Construção de Ferramenta Para a Avaliação do Ciclo de Vida de Edificações**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SILVA, V. G.; SILVA, M. G. Seleção de materiais e edifícios de alto desempenho ambiental. In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Cap. 5. p. 129-151.

SINDICATO NACIONAL DA INDUSTRIA DO CIMENTO. **Relatório Anual 2013**. Rio de Janeiro, 2013.

SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS DE PRODUTOS INOVADORES. **DIRETRIZ 003**: Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Steel Framing”. Brasília: Ministério das Cidades, 2013.

SOUZA, Danielle Maia de et al. Comparative life cycle assessment of ceramic brick, concrete brick and cast-in-place reinforced concrete exterior walls. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 137, p.70-82, nov. 2016. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.069>.

SOUZA, Rodrigo Vargas. **Aspectos ambientais e de custo de produção do sistema plataforma em madeira para habitação de interesse social: estudo de caso em Florianópolis**. 2013. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SPOSTO, R. M. **Gestão e tecnologia para a sustentabilidade e qualidade de componentes e alvenaria cerâmicos**. FINEP, Habitare, Brasília, 2004.

STAFFORD, Fernanda N. *et al.* Life cycle assessment of the production of cement: A Brazilian case study. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 137, p.1293-1299, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.050>.

SURESH, Sunil S.; MOHANTY, Smita; NAYAK, Sanjay K.. Composition analysis and characterization of waste polyvinyl chloride (PVC) recovered from data cables. **Waste Management**, [s.l.], v. 60, p.100-111, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.033>.

TAVARES, S. F.; LAMBERTS, R. CO2 embutido em edificações residências brasileiras. In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 12., 2008, Fortaleza. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2008.

TAVARES, S. F; LAMBERTS, R.. Estudos comparativos sobre consumo energético no ciclo de vida de edificações residenciais do Brasil, Austrália e Suécia. In X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ENTAC 2004. São Paulo, SP. Julho de 2004. CDROM.

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. 225 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TOMOVSKA, Radmila; RADIVOJEVIC, Ana. Tracing sustainable design strategies in the example of the traditional Ohrid house. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], p.1-28, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.073>.

UNEP; SETAC. **Life cycle management: a business guide to sustainability**. Paris, 2007. 51 p.

UNITED NATIONS, DepartmentOfEconomicAnd Social Affairs, PopulationDivision. **World PopulationProspects: The 2015 Revision**. United NationsPublications, 2015.

United Nations Environment Programme. Driving green and energy efficiency buildings through nama development. 2015. Disponível em: <<http://www.unep.org/energy/Publications/Publication/tabid/131188/language/en-US/Default.aspx?p=a6413657-0c8d-4773-9c54-6d62b28dc303>>. Acesso em: 19 ago. 2016.

VALDERRAMA, César *et al.* Implementation of best available techniques in cement manufacturing: a life-cycle assessment study. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 25, p.60-67, abr. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.11.055>.

VIEIRA, Darli Rodrigues; CALMON, João Luiz; COELHO, Felipe Zanellato. Life cycle assessment (LCA) applied to the manufacturing of common and ecological concrete: A review. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 124, p.656-666, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.125>.

VILCEKOVA, Silvia *et al.* Comparison of Environmental and Energy Performance of Exterior Walls. **Energy Procedia**, [s.l.], v. 78, n. 1, p.231-236, jan. 2015.

WCED, 1987. Our Common Future. World Commission on Environment and Development. Oxford University Press, Oxford, NY.

WILLERS, Camila Daniele; RODRIGUES, Luciano Brito; SILVA, Cristiano Alves da. Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. **Produção**, [s.l.], v. 23, n. 2, p.436-447, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-65132012005000037>.

YE, Liping *et al.* Life cycle assessment of polyvinyl chloride production and its recyclability in China. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 142, p.2965-2972, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.171>.

ZAMAN, Atiq Uz. A comprehensive study of the environmental and economic benefits of resource recovery from global waste management systems. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 124, p.41-50, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.086>.

ZASTROW, Phillip *et al.* Life cycle assessment of cost-optimized buttress earth-retaining walls: A parametric study. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 140, p.1037-1048, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.085>.

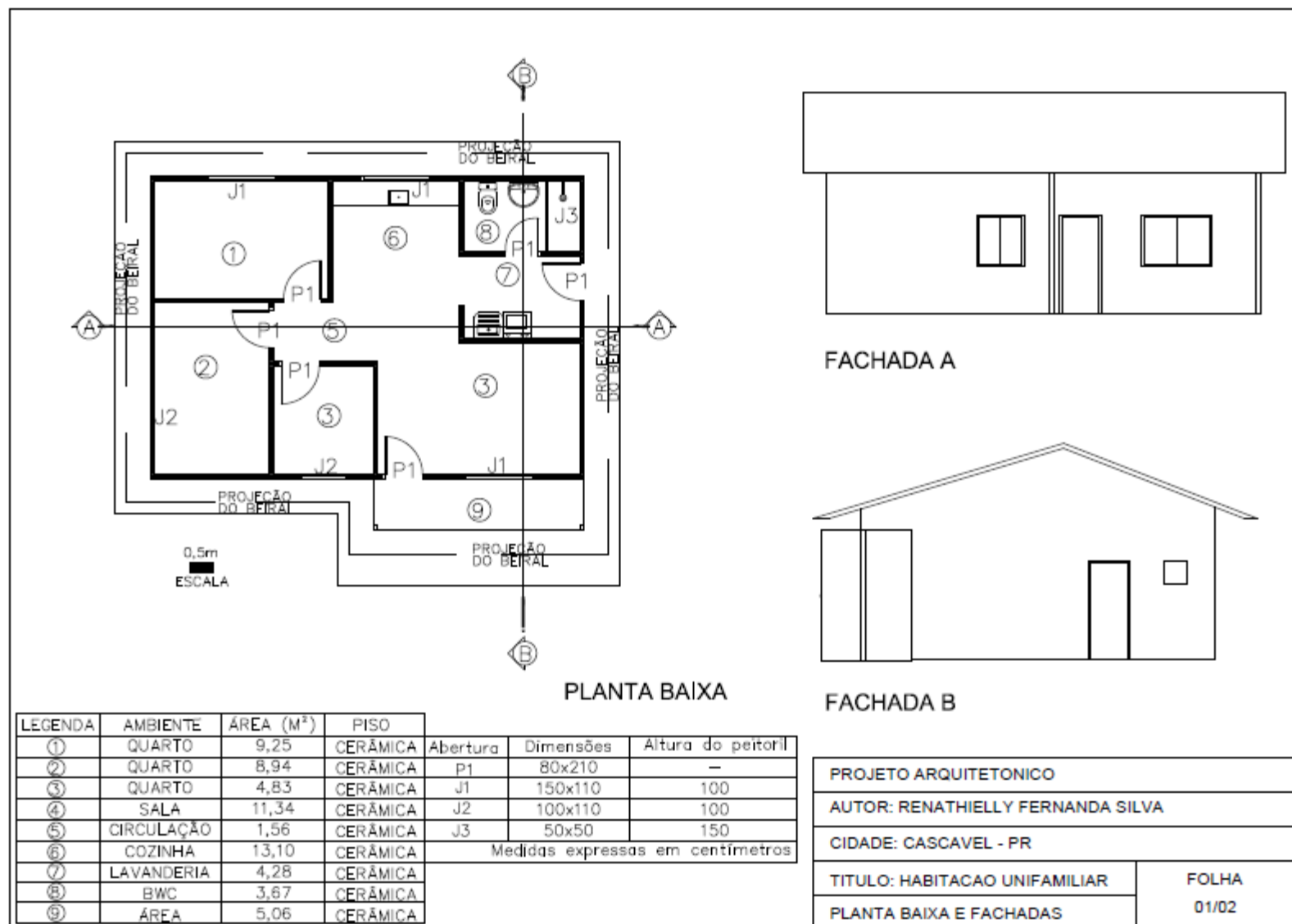
ZEBARI, Hariwan N.; IBRAHIM, Rojhat K.. Methods & Strategies for Sustainable Architecture in Kurdistan Region, Iraq. **Procedia Environmental Sciences**, Kurdistan, v. 34, n. 1, p.202-211, out. 2016

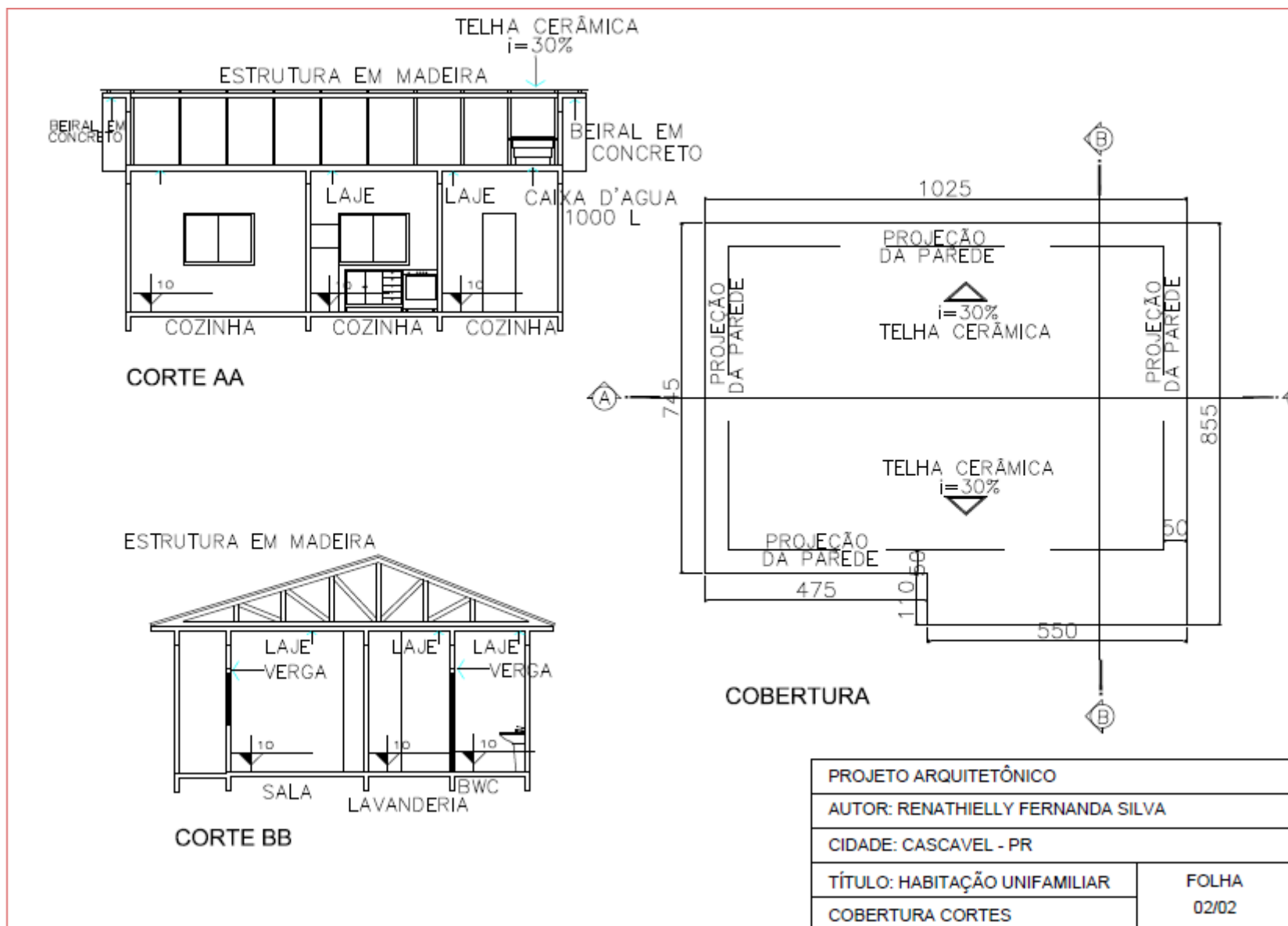
ZINA, Carolina Mendonça *et al.* ESTUDO SISTEMÁTICO SOBRE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO EM EDIFICAÇÕES. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** . São Paulo: Usp, 16. p. 2377 - 2386.

ZHANG, Qi *et al.* Waste energy recovery and energy efficiency improvement in China's iron and steel industry. **Applied Energy**, [s.l.], v. 191, p.502-520, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.072>.

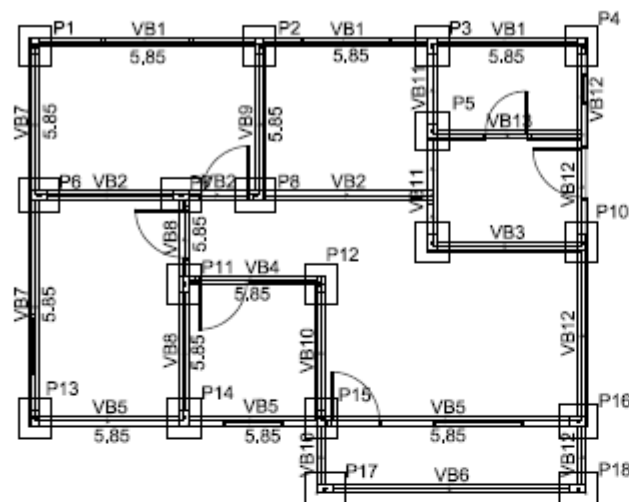
ZURN, Hans H. *et al.* Electrical energy demand efficiency efforts in Brazil, past, lessons learned, present and future: A critical review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 67, p.1081-1086, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.037>.

APÊNDICE A – PROJETO ARQUITETÔNICO

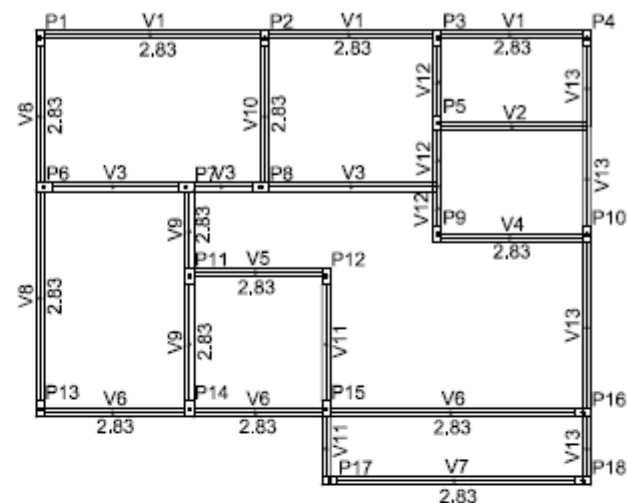




APÊNDICE B – PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO

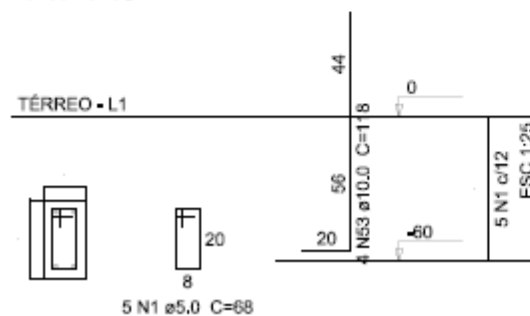


PLANTA DE FORMA — VIGAS BALDRAMES

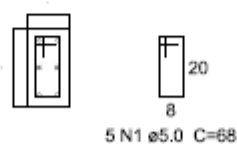


PLANTA DE FORMA — VIGAS SUPERIORES

P2=P3=P4=P5=P6=P7=P8=P9=P10=
=P11=P12=P13=P14=P15=P16=
=P17=P18



P1
TÉRREO - L1



CONCRETO ARMADO

AUTOR: RENATHIELLY FERNANDA SILVA

CIDADE: CASCAVEL - PR

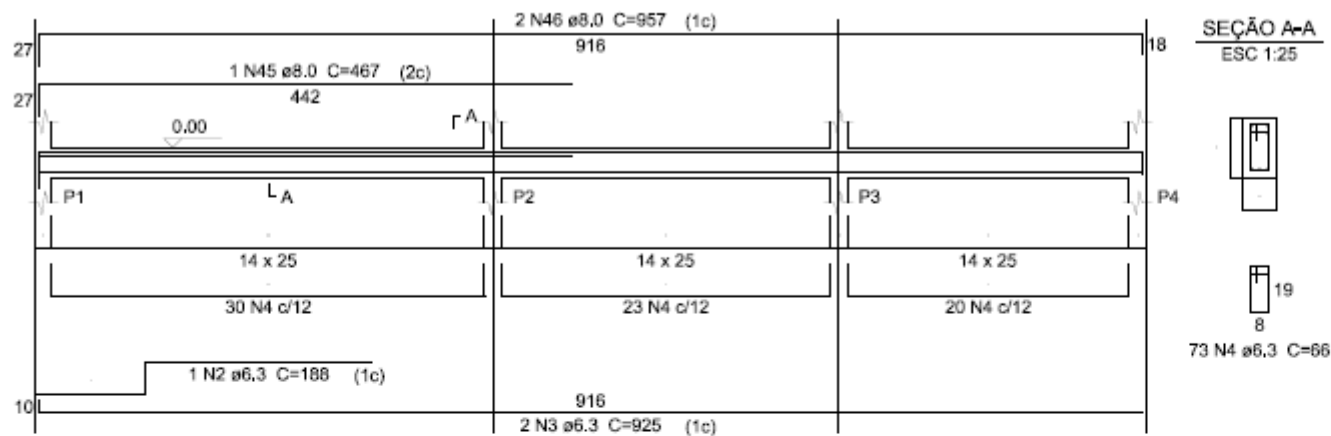
TÍTULO: HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

PLANTA BAIXA E DETALHAMENTO

FOLHA

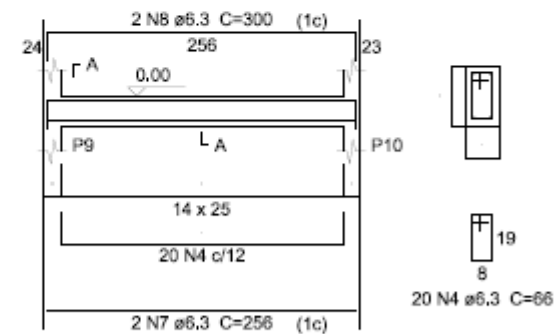
01/11

VB1

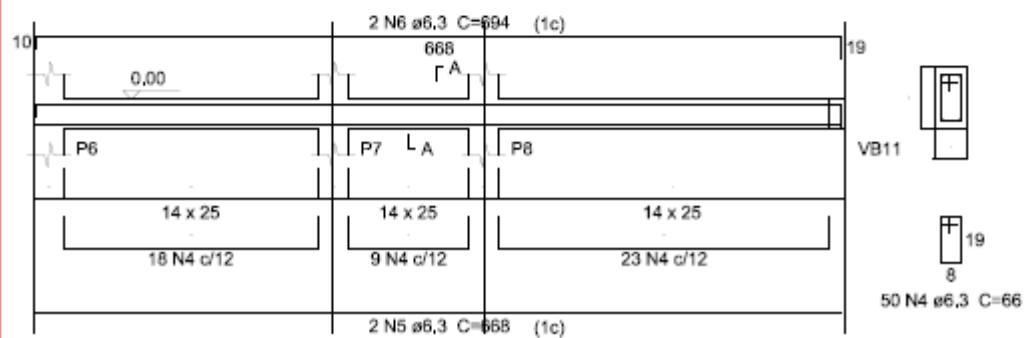


VB3

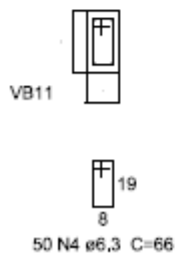
SEÇÃO A-A



VB2



SEÇÃO A-A



CONCRETO ARMADO

AUTOR: RENATHIELLY FERNANDA SILVA

CIDADE: CASCAVEL - PR

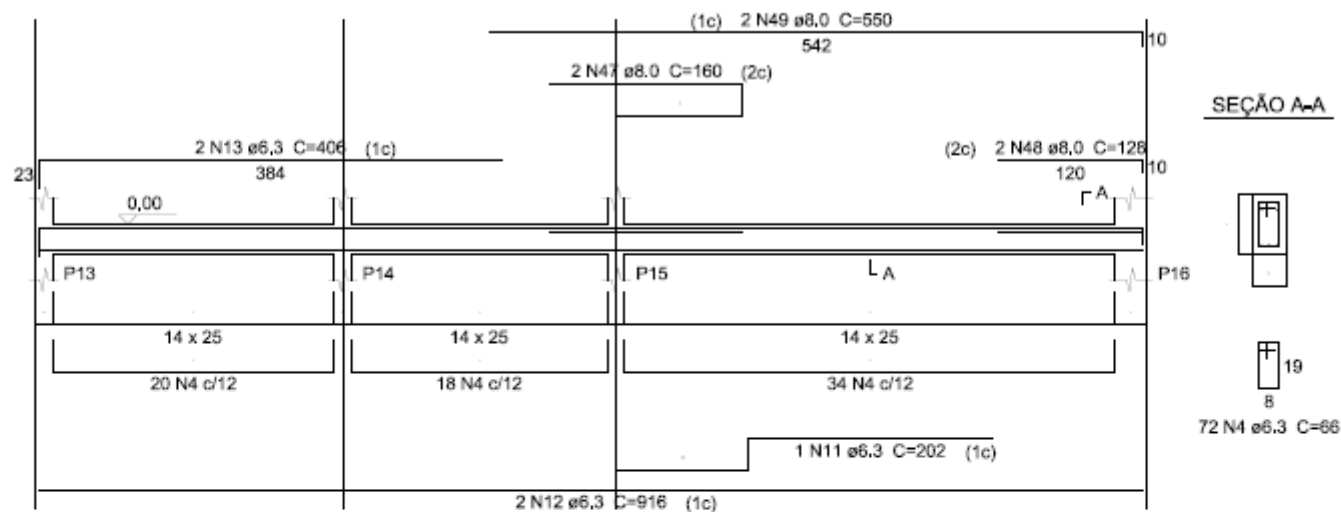
TÍTULO: HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

DETALHAMENTO

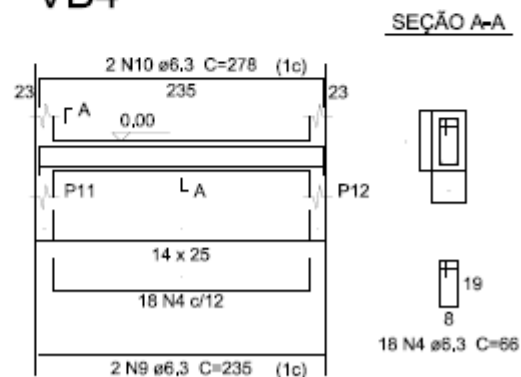
FOLHA

02/11

VB5



VB4



CONCRETO ARMADO

AUTOR: RENATHIELLY FERNANDA SILVA

CIDADE: CASCAVEL - PR

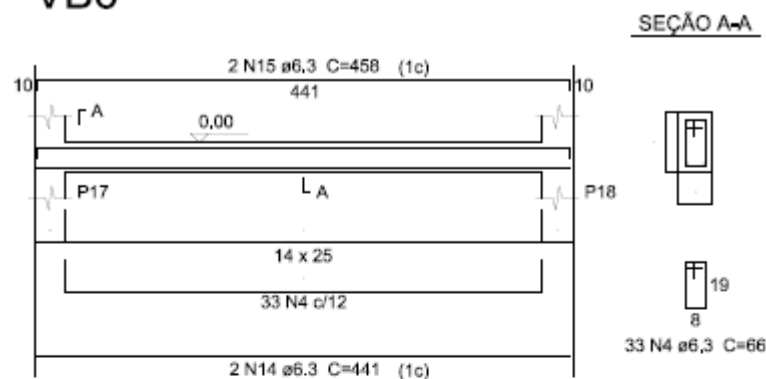
TÍTULO: HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

DETALHAMENTO

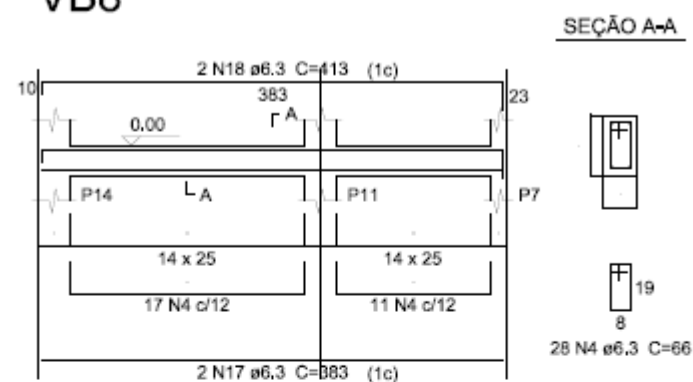
FOLHA

03/11

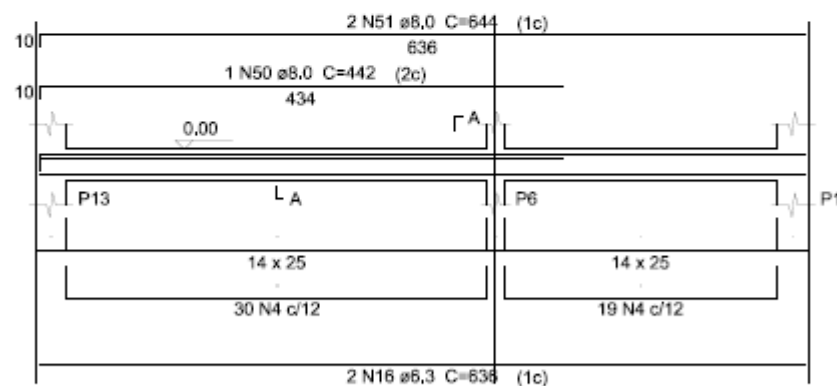
VB6



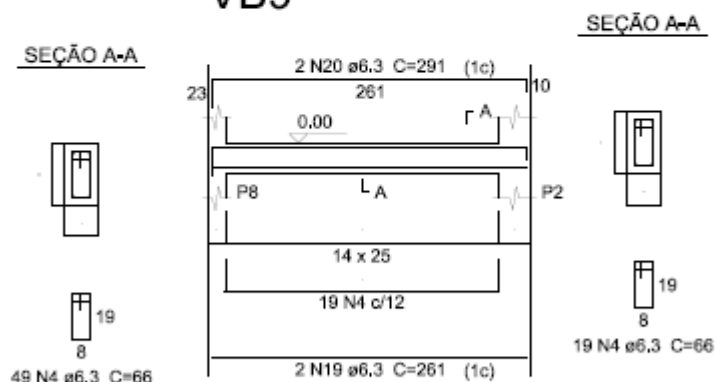
VB8



VB7



VB9



CONCRETO ARMADO

AUTOR: RENATHIELLY FERNANDA SILVA

CIDADE: CASCAVEL - PR

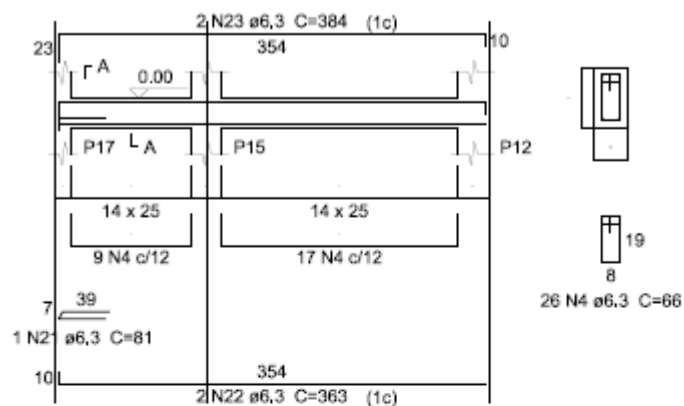
TÍTULO: HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

DETALHAMENTO

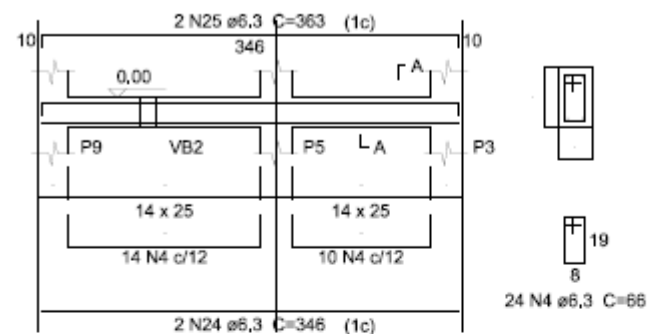
FOLHA

04/11

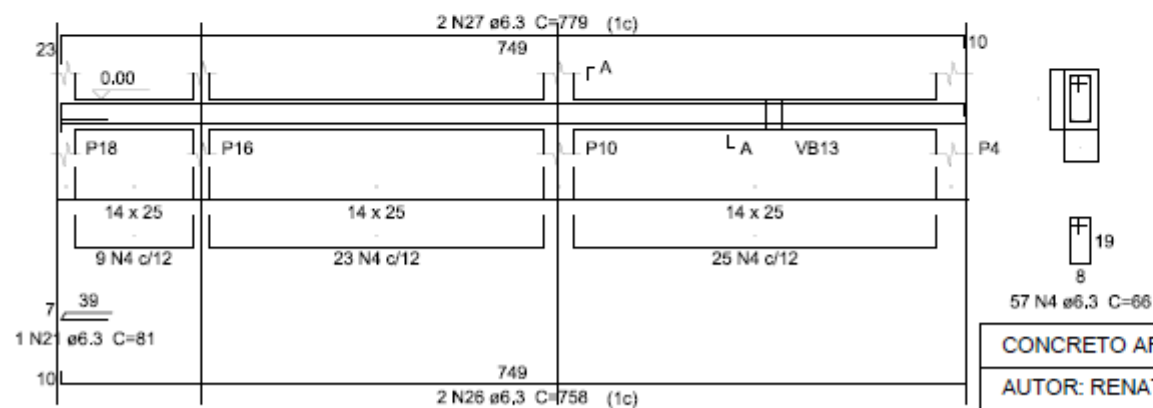
VB10



VB11



VB12



CONCRETO ARMADO

AUTOR: RENATHIELLY FERNANDA SILVA

CIDADE: CASCAVEL - PR

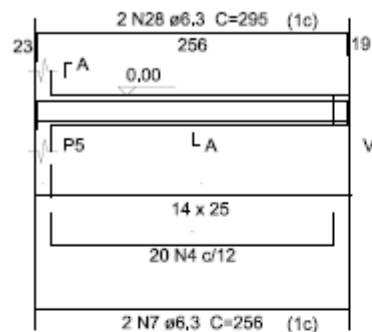
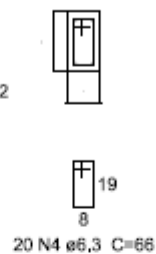
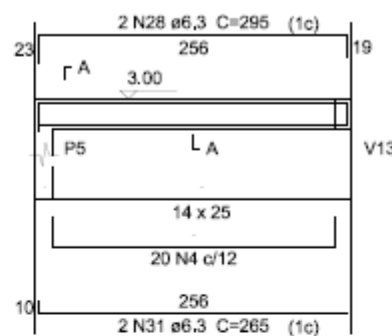
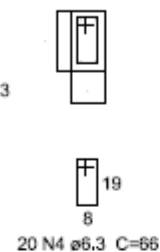
TÍTULO: HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

DETALHAMENTO

FOLHA
05/11

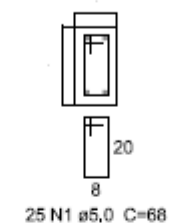
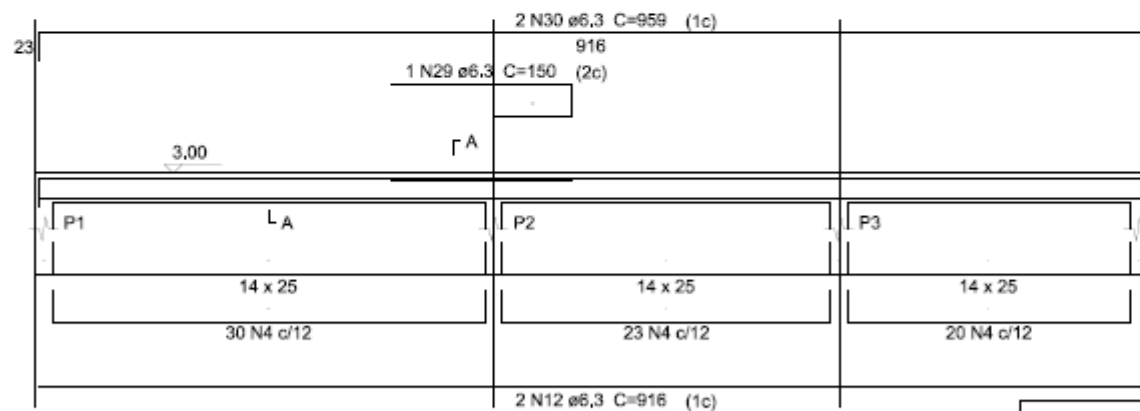
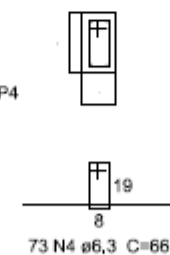
VB13

ESC 1:50

SEÇÃO A-A**V2**SEÇÃO A-A

P1=P2=P3=P4=P5=P6=P7=P8=
=P9=P10=P11=P12=P13=P14=
=P15=P16=P17=P18

COBERTURA - L2

**V1**SEÇÃO A-A297
4 N54 ø10,0 C=297

25 N1 c/12

CONCRETO ARMADO

AUTOR: RENATHIELLY FERNANDA SILVA

CIDADE: CASCAVEL - PR

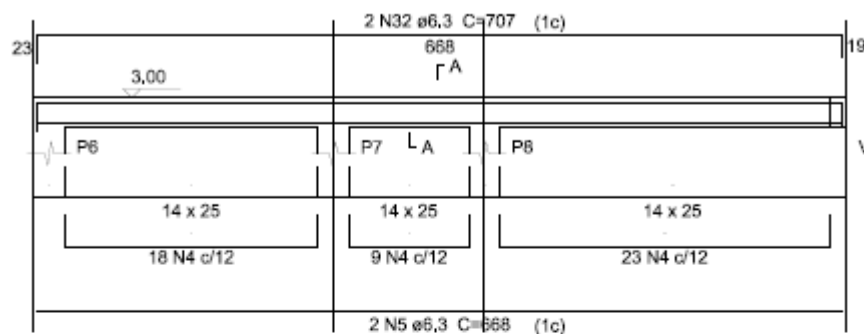
TÍTULO: HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

DETALHAMENTO

FOLHA

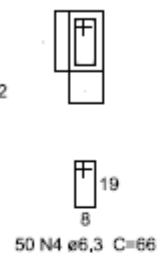
06/11

V3

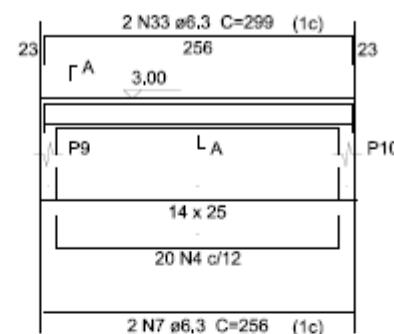


SEÇÃO A-A

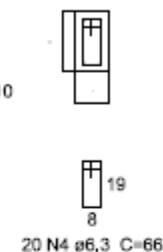
V12



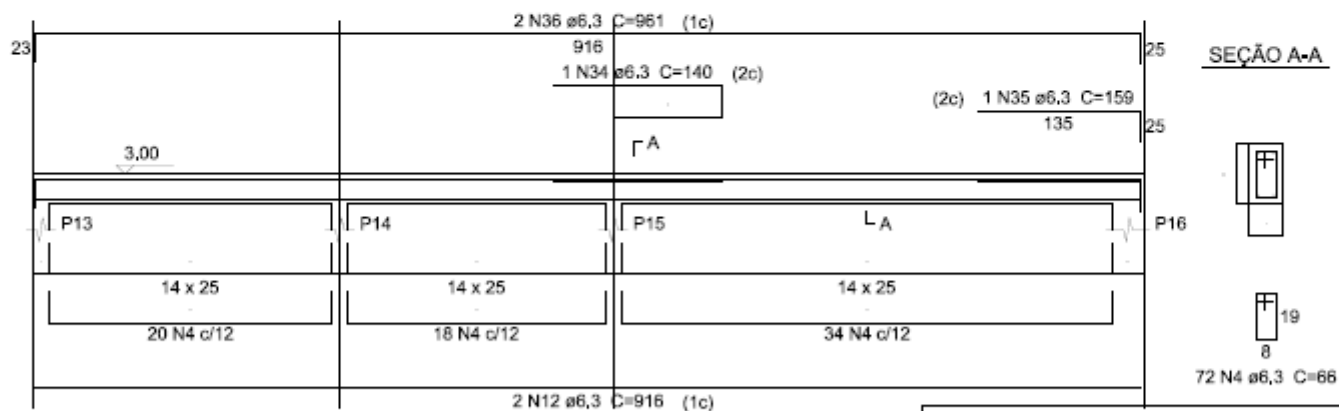
V4



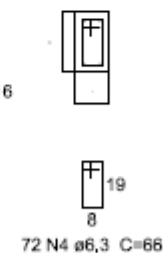
SEÇÃO A-A



V6



SEÇÃO A-A



CONCRETO ARMADO

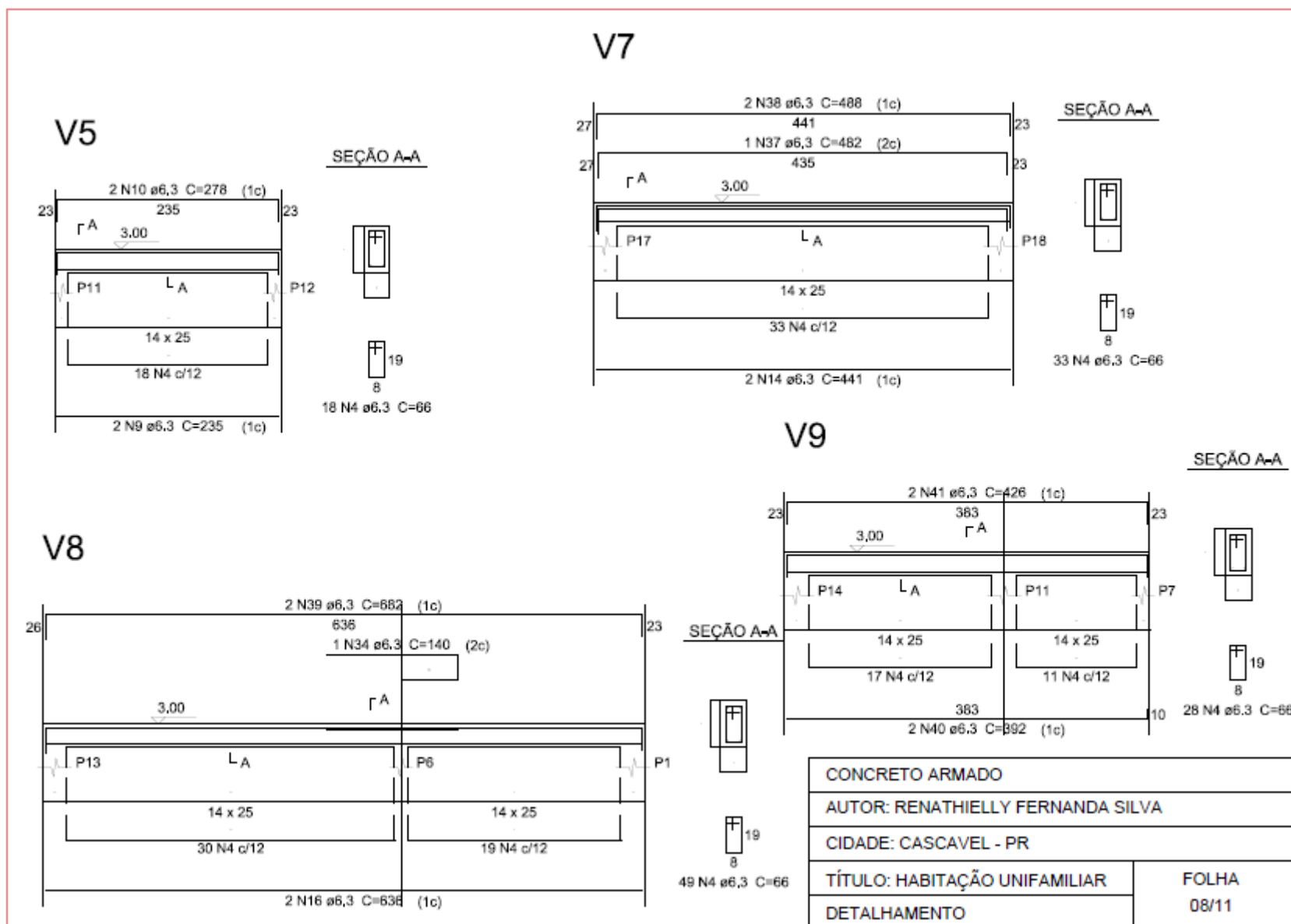
AUTOR: RENATHIELLY FERNANDA SILVA

CIDADE: CASCAVEL - PR

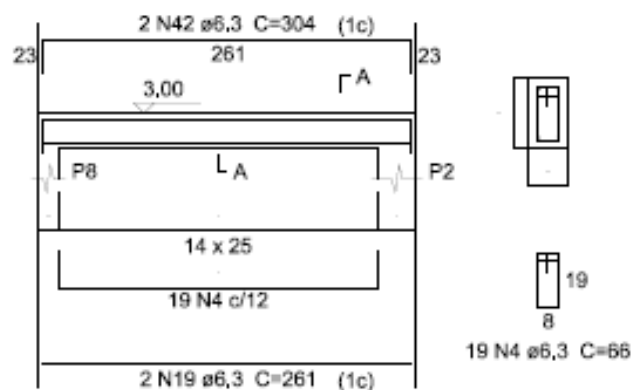
TÍTULO: HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

DETALHAMENTO

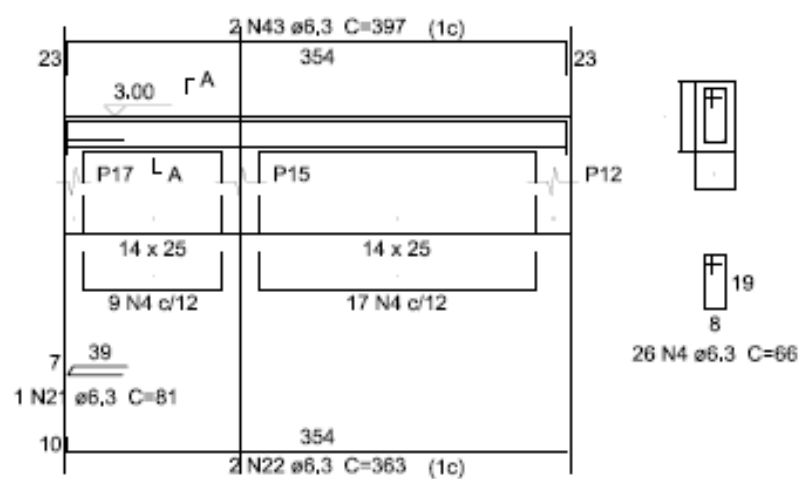
FOLHA
07/11



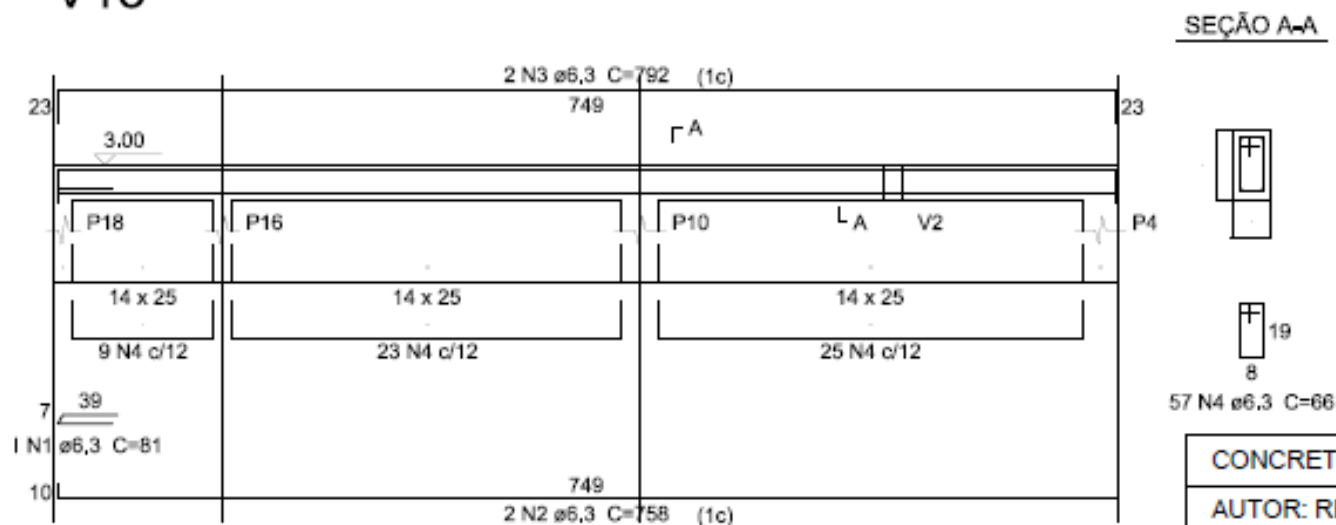
V10



V11



V13



CONCRETO ARMADO

AUTOR: RENATHIELLY FERNANDA SILVA

CIDADE: CASCAVEL - PR

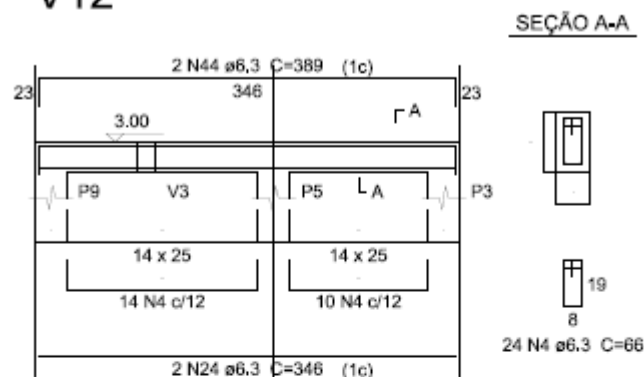
TÍTULO: HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

DETALHAMENTO

FOLHA

09/11

V12



AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA50	1	6,3	1	81	81
	2	6,3	2	758	1516
	3	6,3	2	792	1584
	4	6,3	57	66	3762

Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA50	6.3	1154.1	310.6
	8.0	57.9	25.1
	10.0	300.2	203.6
CA60	5.0	367.2	62.3
PESO TOTAL (kg)			
CA50	539,7		
CA60	62.3		

Volume de concreto (C-20) = 6,90 m³
 Área de forma = 134.97 m²

AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5,0	540	68	36720
CA50	2	6,3	1	188	188
	3	6,3	2	925	1850
	4	6,3	921	66	60786
	5	6,3	4	668	2672
	6	6,3	2	694	1388
	7	6,3	6	256	1536
	8	6,3	2	300	600
	9	6,3	4	235	940
	10	6,3	4	278	1112
	11	6,3	1	202	202
	12	6,3	6	916	5496
	13	6,3	2	406	812
	14	6,3	4	441	1764
	15	6,3	2	458	916
	16	6,3	4	636	2544

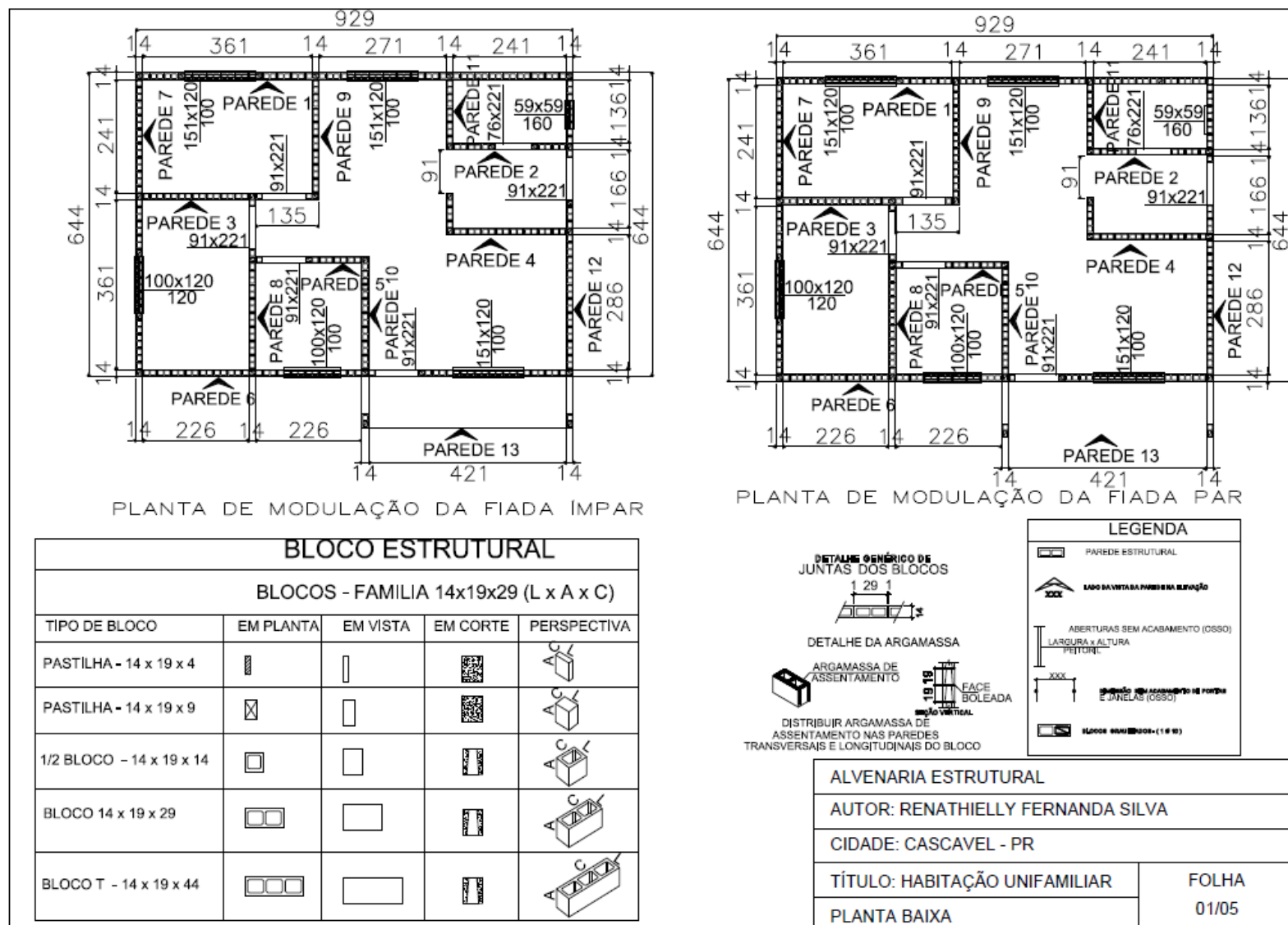
CONCRETO ARMADO	
AUTOR: RENATHIELLY FERNANDA SILVA	
CIDADE: CASCAVEL - PR	
TÍTULO: HABITAÇÃO UNIFAMILIAR	FOLHA 10/11
DETALHAMENTO	

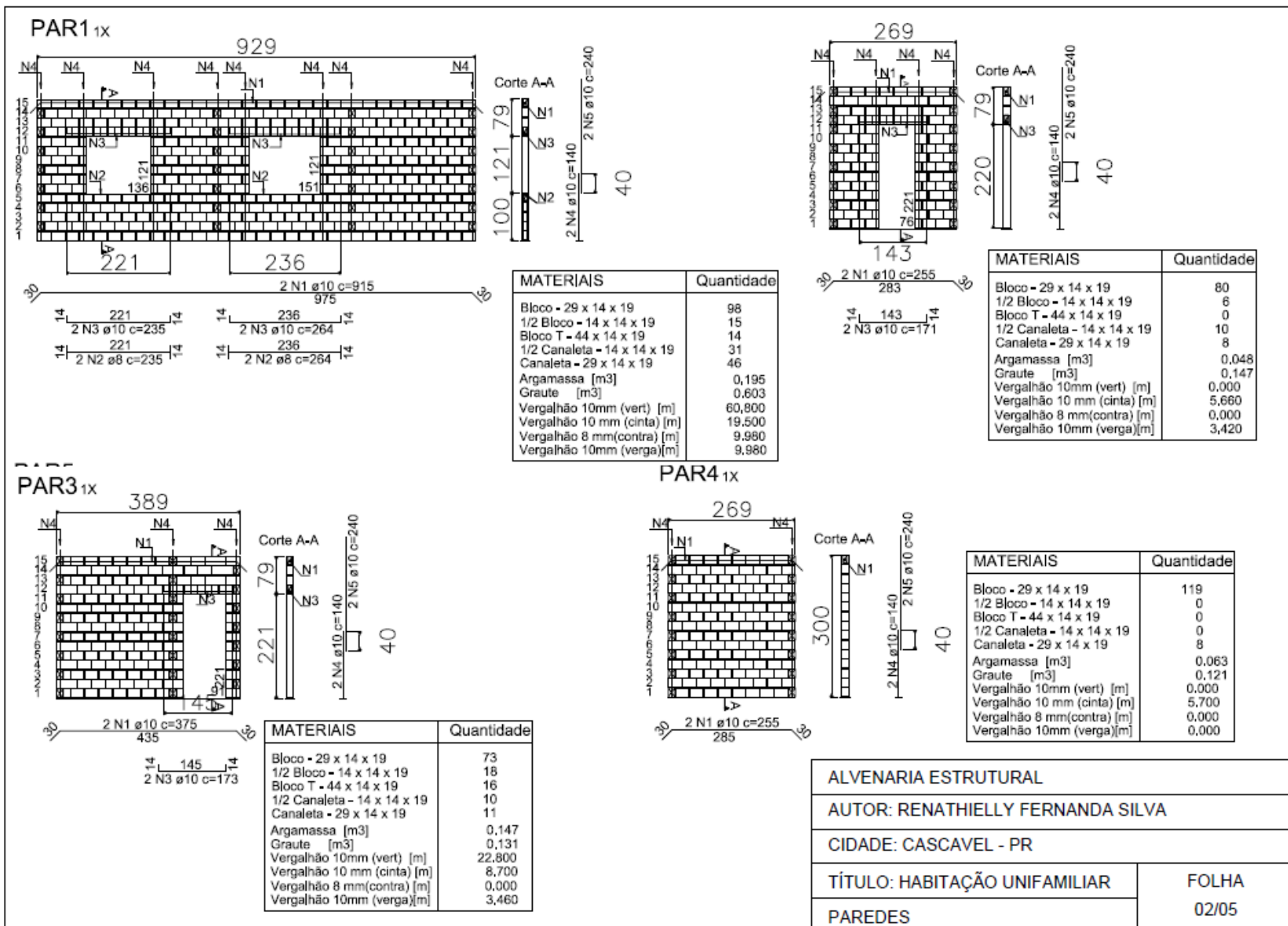
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA50	17	6,3	2	383	766
	18	6,3	2	413	826
	19	6,3	4	261	1044
	20	6,3	2	291	582
	21	6,3	3	81	243
	22	6,3	4	363	1452
	23	6,3	2	384	768
	24	6,3	4	346	1384
	25	6,3	2	363	726
	26	6,3	2	758	1516
	27	6,3	2	779	1558
	28	6,3	4	295	1180
	29	6,3	1	150	150
	30	6,3	2	959	1918
	31	6,3	2	265	530
	32	6,3	2	707	1414
	33	6,3	2	299	598
	34	6,3	2	140	280
	35	6,3	1	159	159
	36	6,3	2	961	1922
	37	6,3	1	482	482
	38	6,3	2	488	976
	39	6,3	2	682	1364
	40	6,3	2	392	784
	41	6,3	2	426	852
	42	6,3	2	304	608
	43	6,3	2	397	794
	44	6,3	2	389	778
	45	8,0	1	467	467
	46	8,0	2	957	1914
	47	8,0	2	160	320
	48	8,0	2	128	256

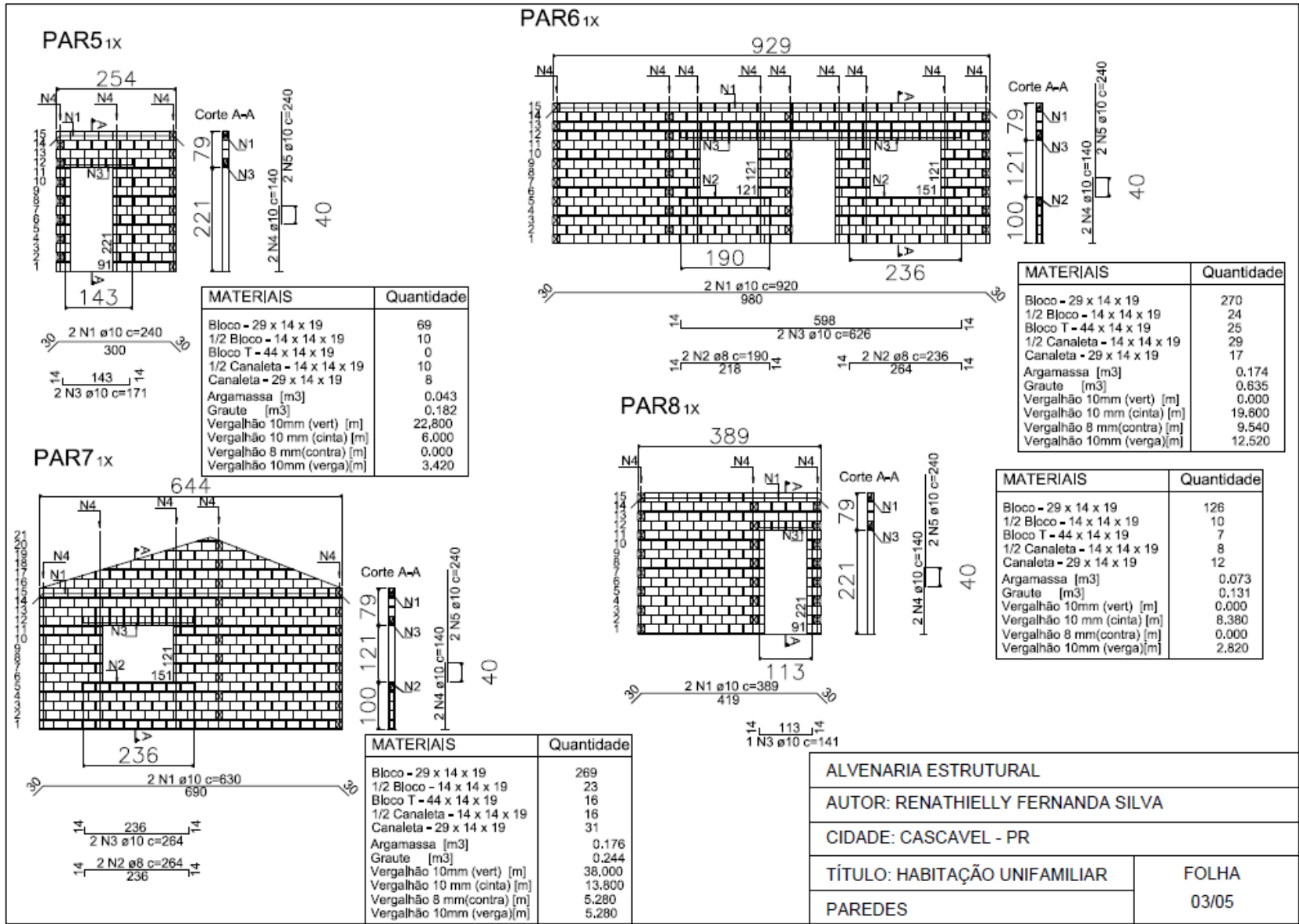
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA50	49	8,0	2	550	1100
	50	8,0	1	442	442
	51	8,0	2	644	1288
	52	10,0	2	70	140
	53	10,0	72	118	8496
	54	10,0	72	297	21384

CONCRETO ARMADO	
AUTOR: RENATHIELLY FERNANDA SILVA	
CIDADE: CASCAVEL - PR	
TÍTULO: HABITAÇÃO UNIFAMILIAR	FOLHA 11/11
DETALHAMENTO	

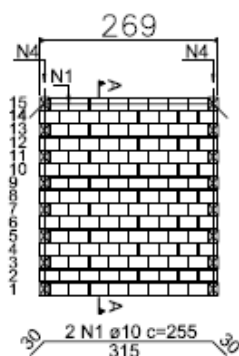
APÊNDICE C – PROJETO ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCO DE CONCRETO





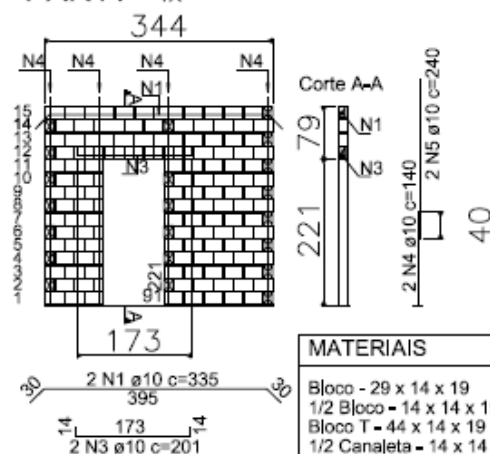


PAR9 1x



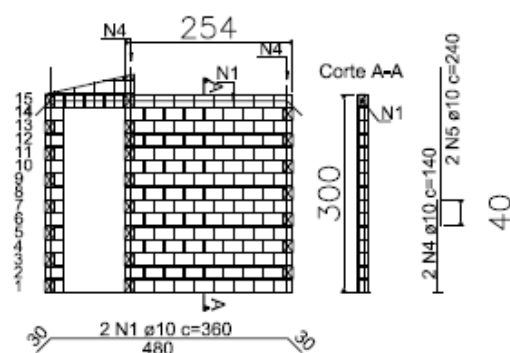
MATERIAIS	Quantidade
Bloco - 29 x 14 x 19	119
1/2 Bloco - 14 x 14 x 19	0
Bloco T - 44 x 14 x 19	0
1/2 Canaleta - 14 x 14 x 19	0
Canaleta - 29 x 14 x 19	9
Argamassa [m3]	0,078
Graute [m3]	0,037
Vergalhão 10mm (vert) [m]	15,200
Vergalhão 10 mm (cinta) [m]	6,300
Vergalhão 8 mm (contra) [m]	0,000
Vergalhão 10mm (verga) [m]	0,000

PAR11 1x



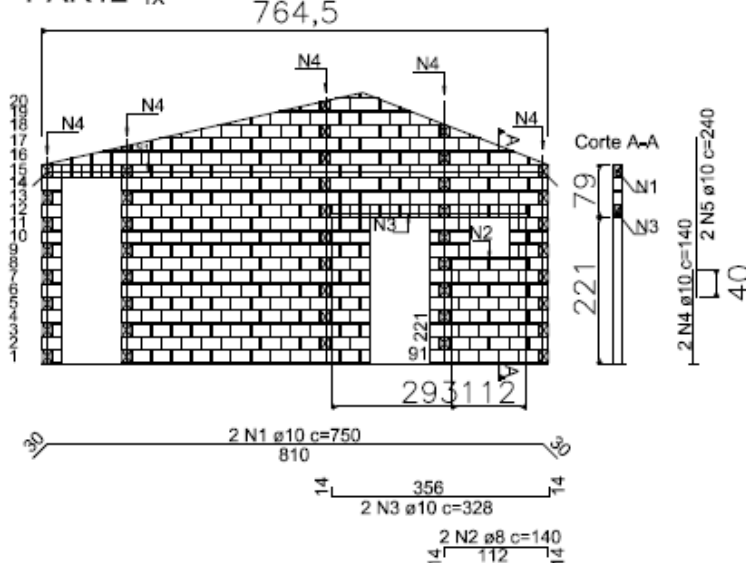
MATERIAIS	Quantidade
Bloco - 29 x 14 x 19	108
1/2 Bloco - 14 x 14 x 19	5
Bloco T - 44 x 14 x 19	0
1/2 Canaleta - 14 x 14 x 19	12
Canaleta - 29 x 14 x 19	11
Argamassa [m3]	0,063
Graute [m3]	0,067
Vergalhão 10mm (vert) [m]	27,200
Vergalhão 10 mm (cinta) [m]	7,900
Vergalhão 8 mm (contra) [m]	0,000
Vergalhão 10mm (verga) [m]	4,020

PAR10 1x



MATERIAIS	Quantidade
Bloco - 29 x 14 x 19	123
1/2 Bloco - 14 x 14 x 19	9
Bloco T - 44 x 14 x 19	0
1/2 Canaleta - 14 x 14 x 19	7
Canaleta - 29 x 14 x 19	8
Argamassa [m3]	0,073
Graute [m3]	0,044
Vergalhão 10mm (vert) [m]	0,000
Vergalhão 10 mm (cinta) [m]	9,600
Vergalhão 8 mm (contra) [m]	0,000
Vergalhão 10mm (verga) [m]	0,000

PAR12 1x



MATERIAIS	Quantidade
Bloco - 29 x 14 x 19	295
1/2 Bloco - 14 x 14 x 19	22
Bloco T - 44 x 14 x 19	28
1/2 Canaleta - 14 x 14 x 19	26
Canaleta - 29 x 14 x 19	20
Argamassa [m3]	0,155
Graute [m3]	0,125
Vergalhão 10mm (vert) [m]	0,000
Vergalhão 10 mm (cinta) [m]	16,200
Vergalhão 8 mm (contra) [m]	2,240
Vergalhão 10mm (verga) [m]	7,120

ALVENARIA ESTRUTURAL

AUTOR: RENATHIELLY FERNANDA SILVA

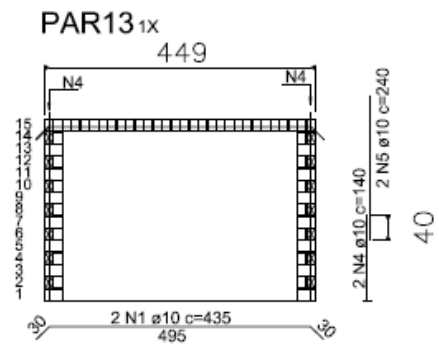
CIDADE: CASCAVEL - PR

TÍTULO: HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

PAREDES

FOLHA

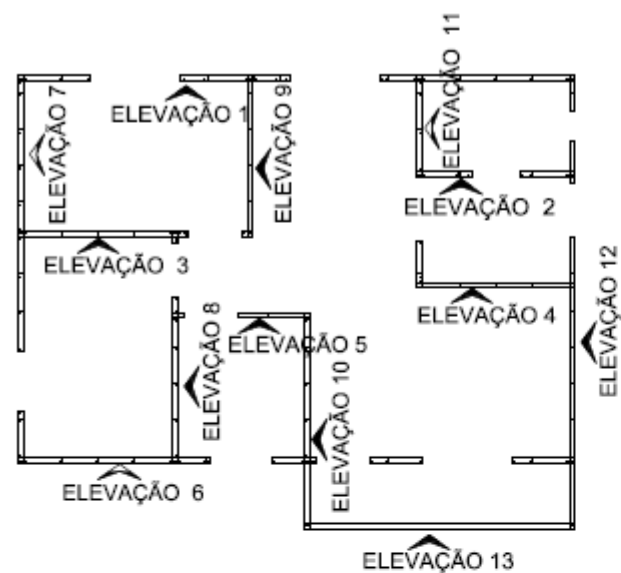
04/05



MATERIAIS	Quantidade
Bloco - 29 x 14 x 19	14
1/2 Bloco - 14 x 14 x 19	14
Bloco T - 44 x 14 x 19	0
1/2 Canaleta - 14 x 14 x 19	30
Canaleta - 29 x 14 x 19	0
Argamassa [m3]	0.012
Graute [m3]	0.057
Vergalhão 10mm (vert) [m]	27,200
Vergalhão 10 mm (cinta) [m]	9,900
Vergalhão 8 mm(contra) [m]	0,000
Vergalhão 10mm (verga)[m]	0,000

ALVENARIA ESTRUTURAL	
AUTOR: RENATHIELLY FERNANDA SILVA	
CIDADE: CASCAVEL - PR	
TÍTULO: HABITAÇÃO UNIFAMILIAR	FOLHA 05/05
PAREDES	

APÊNDICE D – PROJETO EM STEEL FRAME



PLANTA BAIXA ESTRUTURAL STEEL FRAME

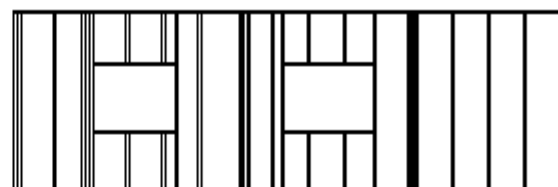
ELE5 1x



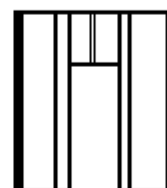
ELE6 1x



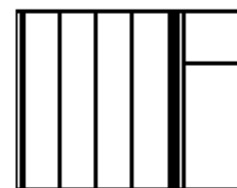
ELE1 1x



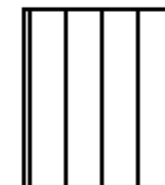
ELE2 1x



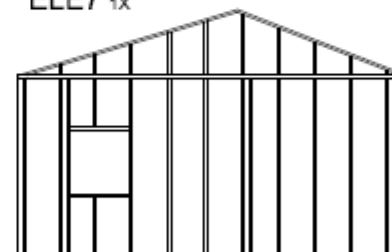
ELE3 1x



ELE4 1x



ELE7 1x



STEEL FRAME

AUTOR: RENATHIELLY FERNANDA SILVA

CIDADE: CASCAVEL - PR

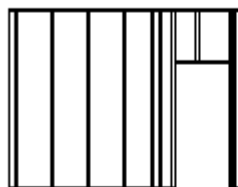
TÍTULO: HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

PLANTA BAIXA E ELEVACÕES

FOLHA

01/02

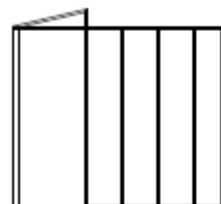
ELE8 1x



ELE9 1x



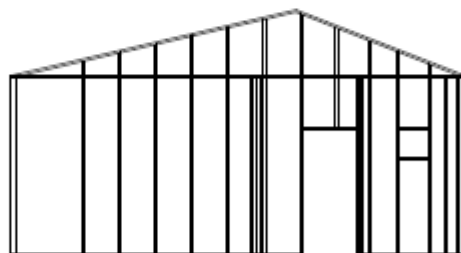
ELE10 1x



ELE11 1x



ELE12 1x

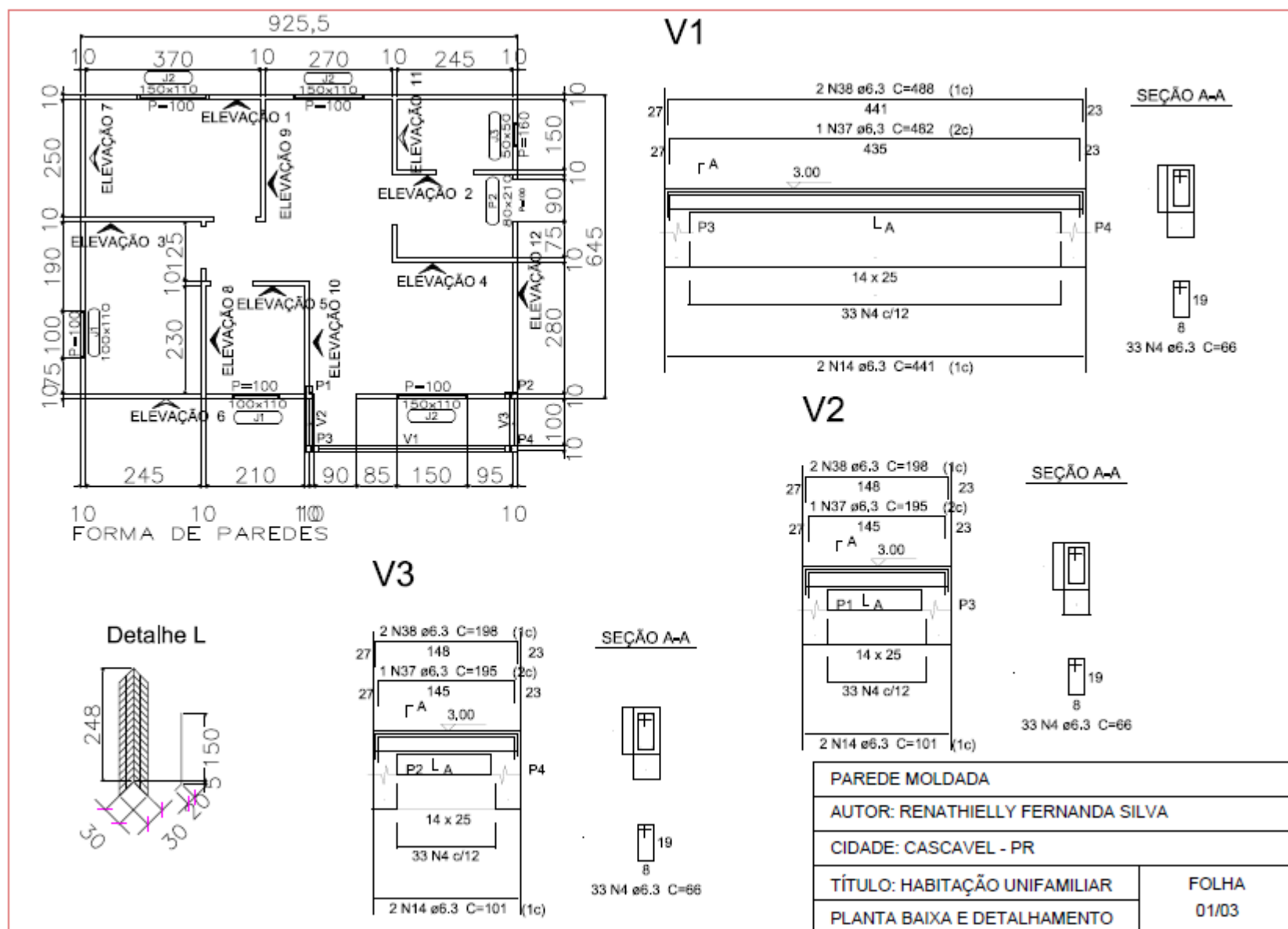


ELE13 1x

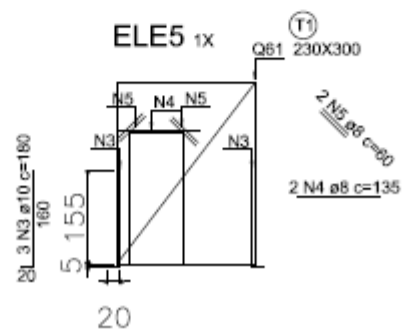
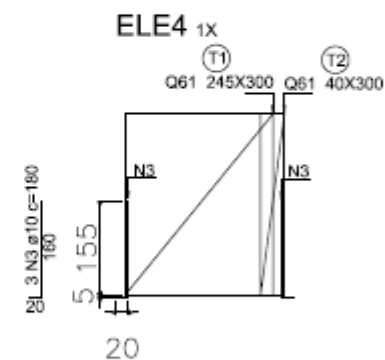
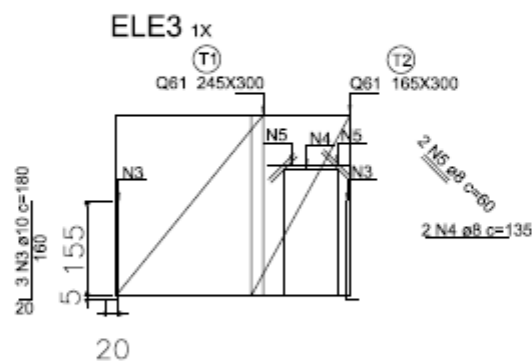
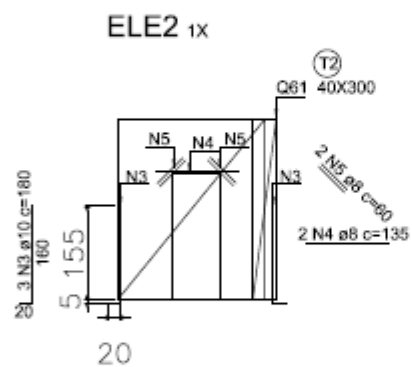
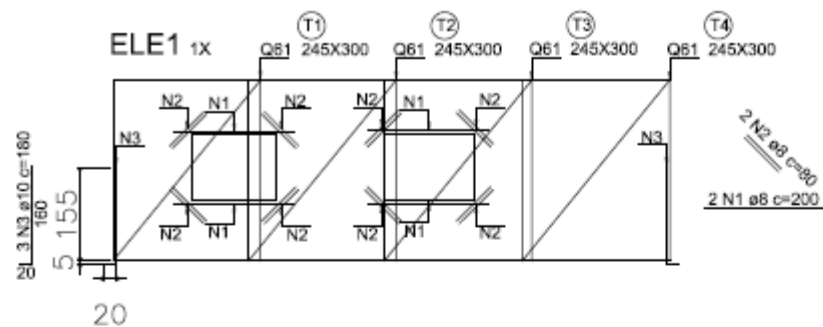
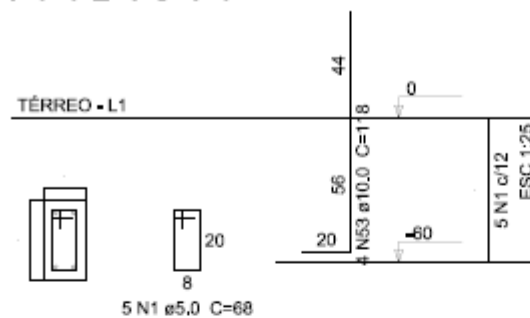


STEEL FRAME	
AUTOR: RENATHIELLY FERNANDA SILVA	
CIDADE: CASCAVEL - PR	
TÍTULO: HABITAÇÃO UNIFAMILIAR	FOLHA 02/02
ELEVAÇÕES	

APÊNDICE E – PROJETO DAS PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS NO LOCAL



P1=P2=P3=P4



PAREDE MOLDADA

AUTOR: RENATHIELLY FERNANDA SILVA

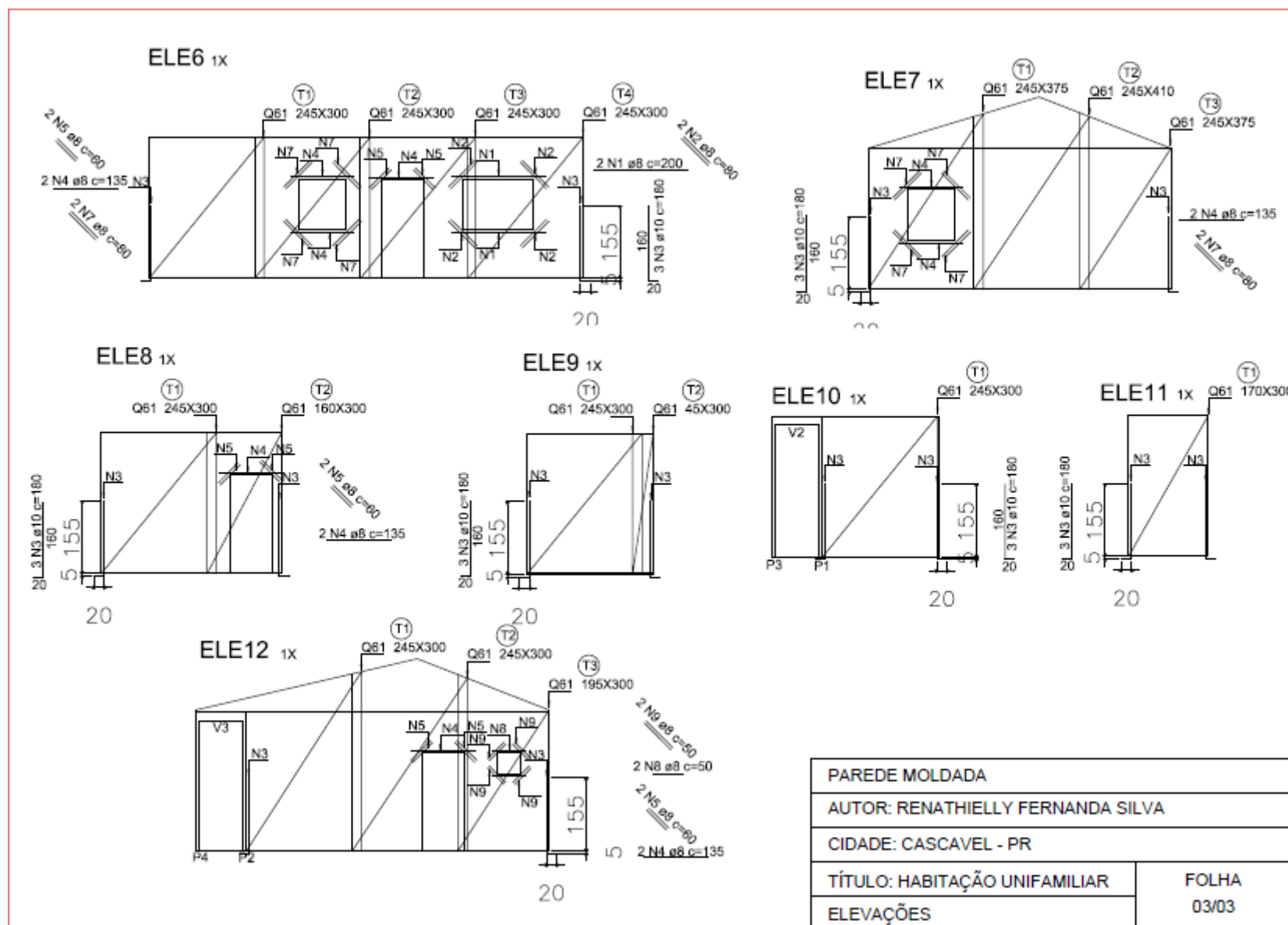
CIDADE: CASCAVEL - PR

TÍTULO: HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

DETALHAMENTO E ELEVAÇÕES

FOLHA

02/03



APÊNDICE F – ENERGIA INCORPORADA AOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Energia incorporada (MJ/unidade)																
Referência	Unidade	(BRASIL, 1982)	(GUIMARÃES,1985)	(TAVARES,2006)	(SPOSTO, 2004)	(GRAF, 2011)	(NABUT NETO, 2011)	(SILVA, 2013)	(SOUZA, 2013)	(FALCÃO et al, 2013)	(CBCS, 2015)	(SILVA e SILVA, 2015)	(LOBO,2010)	(CARMINATTI Jr, 2012)	(PEDROSO,2015)	Energia incorporada (MJ/unidade)
Aço	Kg	21,81	25,59	30,00								10,27				21,92
Alumínio reciclado	kg			17,30												17,30
Alumínio	Kg	95,87		210,00												152,94
Areia (independe da granulometria)	Kg	0,02	0,06	0,05					0,08	0,03			0,05	0,05		0,05
Argamassa	Kg	0,54	3,47	2,10			2,10									2,05
Cal hidratada	Kg	4,03					3,00	4,00				0,24	4,50	4,03		3,30
Argamassa colante	Kg											0,99				0,99
Cerâmica (blocos)	Kg	2,87	3,60	2,90	3,92		4,88					2,52	2,90			3,37
Cerâmica (piso)	Kg			13,00												13,00
Cerâmica (telhas)	Kg	12,56	5,76	5,40								1,59				6,33
Cimento Portland CP-32	Kg	4,96	4,04	4,20			2,46	3,00			2,61	2,47	4,20	4,20		3,57
Concreto	Kg	0,56		1,20								0,42				0,73
Lã de rocha	Kg			19,00												19,00
Madeira -aparelhada seca ao ar livre	Kg			0,50												0,50
Madeira MDF	Kg	8,37		9,00				16,00				15,08				12,11
Placa cimentícia CRFS 2400x1200x10mm	Kg	0,54	3,47	2,10		6,00										3,03
Placa de gesso acartonado	Kg			4,50		4,50							6,10			5,03

Energia incorporada (MJ/unidade)																
Referência	Unidade	(BRASIL, 1982)	(GUIMARÃES,1985)	(TAVARES,2006)	(SPOSTO, 2004)	(GRAF, 2011)	(NABUT NETO, 2011)	(SIL VA, 2013)	(SOUZA, 2013)	(FALCÃO et al, 2013)	(CBCS, 2015)	(SIL VA e SIL VA, 2015)	(LOBO,2010)	(CARMINATTI Jr, 2012)	(PEDROSO,2015)	Energia incorporada (MJ/unidade)
Placa OBS	Kg			7,50												7,50
PVC (Policloreto de vinila)	Kg			80,00				9,00				62,24				50,41
Tinta latex (acrílica ou PVA)	Kg			61,00									46,15	46,20		51,12
Tela soldada Q 61 - Malha 15 x 15 cm (diâmetro 3.4 mm)	Kg			30,00										31,00		30,50
Alumínio Virgem Extrudado (20 kg/m² de fôrma)	Kg														17,30	17,30
Brita (todas as granulometrias)	Kg			0,15									0,15			0,15
Fibra polipropileno (Bautech)	Kg			83,80												83,80
Espaçadores para telas soldada (Jeruel)	Kg			80,00												80,00
Desmoldante (para fôrmas de alumínio)	L												86,13			86,13
Pontalete (seção transversal: 3x3"/altura 75mm/largura:75mm)	m												2,10			2,10

APÊNDICE G – INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE CO₂

Fator de emissões e CO2 (Kg.CO2/Kg)												
Materiais	Stachera e Casagrande	Soares e Pereira	Carvalho	Nabut Neto	Costa	Taborianski e Prado	Silva	Souza	CBCS	Silva e Silva	Fator adotado	
Ano	2007	2002	2002	2011	2012	2012	2013	2013	2014	2015		
Aço	1,450				1,830					1,550	1,610	
Alumínio					4,030	3,162					3,596	
Areia	0,014				0,007			0,007			0,009	
Argamassa				0,160	0,163						0,162	
Argamassa colante										1,100	1,100	
Cal hidratada	0,786				0,810	1,270	1,100			0,740	0,941	
Cerâmica (blocos)	0,380	0,330			0,909	0,169				0,230	0,404	
Cimento	0,969		0,565		0,631	0,670	0,580		0,630	0,370	0,631	
Concreto					0,156		0,160			0,100	0,139	
Lã de rocha						0,685					0,685	
Madeira										0,038	0,038	
Madeira MDF					0,4010	0,860					0,631	
Placa cimentícia					0,1600						0,160	
Placa de gesso					0,4700	0,430					0,450	
Placa de OSB					0,3430						0,343	
PVC					0,5530	0,339					0,446	
Tinta						1,640					1,640	

APÊNDICE H – DISTÂNCIAS

Material	Extração/Industrialização-comercialização			Comercialização-obra		Distância total
	Distância (km)	Endereço	Empresa	Distância(km)	Endereço	
Aço	859	Rodovia Pres. Castelo Branco, Km 52, s/n. Ronda. 18147-000 - Araçariguama - SP	GERDAU	16	JD Konstruir, Av. Brasil, 1759 - Gramado, Cascavel - PR, 85816-290	1750
Alumínio	561	Distrito Industrial Victor Graeff - RS. CEP: 99350-000	DINAMIK	16		1154
Areia	509	Av. Rui Barbosa - Ipê, São José dos Pinhais - PR, 83055-320	Três Rios Extração e Com de Areia e Argila	16		1050
Argamassa	518	Rua Ermírio de Morães, 380, Rio Branco do Sul - PR	VOTARANTIN	16		1068
Cal hidratada	518	Rua Ermírio de Morães, 380, Rio Branco do Sul - PR	VOTARANTIN	16		1068
Argamassa colante	518	Rua Ermírio de Morães, 380, Rio Branco do Sul - PR	VOTARANTIN	16		1068
Cerâmica (blocos)	99	R Toledo, - Centro - Marechal Cândido Rondon, PR - CEP: 85960-000	OLARIA ITAIPU	16		230

Material	Extração/Industrialização-comercialização			Comercialização-obra		Distância total
	Distância (km)	Endereço	Empresa	Distância(km)	Endereço	
Cerâmica (piso)	99	R Toledo, - Centro - Marechal Cândido Rondon, PR - CEP: 85960-000	OLARIA ITAIPU	16		230
Cerâmica (telhas)	99	R Toledo, - Centro - Marechal Cândido Rondon, PR - CEP: 85960-000	OLARIA ITAIPU	16		230
Cimento Portland CP-32	518	Rua Ermírio de Morães, 380, Rio Branco do Sul - PR	VOTARANTIN	16		1068
Lã de rocha	955	Av. Ibar, nº 2. Poá - SP - Brasil	BIOLÃ	16		1942
Madeira	10,1	BR 277 KM 594 - VILA DIONE, Cascavel - PR, 85804-200	POLIPLAC	16		52,2
Madeira MDF	10,1	BR 277 KM 594 - VILA DIONE, Cascavel - PR, 85804-200	POLIPLAC	16		52,2
Placa cimentícia CRFS 2400x1200x10mm	49,7	Endereço R CASTRO ALVES , 318,CATANDUVAS - PR, CEP 85.470- 000	BRASILIT	16		131,4

Material	Extração/Industrialização-comercialização			Comercialização-obra		Distância total
	Distância (km)	Endereço	Empresa	Distância(km)	Endereço	
Placa de gesso acartonado	12,1	Rod. BR 277, Km 596 - Santos Dumont, Cascavel - PR, 85804-600	INOVE	16		56,2
Placa OSB	10,1	BR 277 KM 594 - VILA DIONE, Cascavel - PR, 85804-200	POLIPLAC	16		52,2
PVC	611	Rua dos Bororós, nº 84, Distrito Industrial, CEP 89.239-290	TIGRE	16		1254
Tinta latex (acrílica ou PVA)	954	Av. Angelo Demarchi, 123 São Bernardo do Campo - SP CEP 09844-900	SUVINIL	16		1940
DF33Tela soldada Q 61 - Malha 15 x 15 cm - diâmetro 3.4 mm (aço laminado Arcelor)	859	Rodovia Pres. Castelo Branco, Km 52, s/n. Ronda. 18147-000 - Araçariгуama - SP	GERDAU	16		1750
Alumínio Virgem Extrudado (20 kg/m² de fôrma)	561	Distrito Industrial Victor Graeff - RS. CEP: 99350-000	DINAMIK	16		1154
Brita 1	9,1	Rua Rio da Paz km 4. Zona Rural - Cascavel	QUATI	16		50,2

Material	Extração/Industrialização-comercialização			Comercialização-obra		Distância total
	Distância (km)	Endereço	Empresa	Distância(km)	Endereço	
Fibra polipropileno (Bautech)	942	Av. Industrial, 561 - Pq São Pedro - Itaquaquecetuba/SP	BAUTECH	16		1916
Espaçadores para telas soldada (Jeruel)	912	Av. Comendador Antônio Borin, 1800 - Jardim Rosaura, Jundiaí - SP	JERUEL	16		1856
Desmoldante para formas de alumínio	1331	Av. Álvares Cabral, 982 Sala 502 Lourdes, Belo Horizonte/MG - Brasil CEP: 30170-001	CORAL	16		2694
Pontalete (seção transversal: 3x3"/altura 75mm/largura:75mm)	10,1	BR 277 KM 594 - VILA DIONE, Cascavel - PR, 85804-200	POLIPLAC	16		52,2
Sarrafo (seção transversal: 1x3"/espessura:25mm/altura:75mm)	10,1	BR 277 KM 594 - VILA DIONE, Cascavel - PR, 85804-200	POLIPLAC	16		52,2
Tábua de cedrinho (espessura: 25mm/largura:200mm/ seção transversal: 1x3")	10,1	BR 277 KM 594 - VILA DIONE, Cascavel - PR, 85804-200	POLIPLAC	16		52,2

Material	Extração/Industrialização-comercialização			Comercialização-obra		Distância total
	Distância (km)	Endereço	Empresa	Distância(km)	Endereço	
Prego (indepente do tamanho)	859	Rodovia Pres. Castelo Branco, Km 52, s/n. Ronda. 18147-000 - Araçariguama - SP	GERDAU	16		1750
Chapa de madeira compensada plastificada (comprimento:2200m m/ espessura:12mm/ largura:1100mm)	10,1	BR 277 KM 594 - VILA DIONE, Cascavel - PR, 85804-200	POLIPLAC	16		52,2
Liquido preparador de superfície para pint.	954	Av. Angelo Demarchi, 123 São Bernardo do Campo - SP CEP 09844-900	SUVINIL	16		1940
Massa corrida PVA	1331	Av. Álvares Cabral, 982 Sala 502 Lourdes, Belo Horizonte/MG - Brasil CEP: 30170-001	CORAL	16		2694
Guia estrutural 90x40x3000mm +Montante estrutural 90x40x3000mm(aço galvanizado)	859	Rodovia Pres. Castelo Branco, Km 52, s/n. Ronda. 18147-000 - Araçariguama - SP	GERDAU	16		1750

Material	Extração/Industrialização-comercialização			Comercialização-obra		Distância total
	Distância (km)	Endereço	Empresa	Distância(km)	Endereço	
Parafusos autobrocantes -aço reciclado	859	Rodovia Pres. Castelo Branco, Km 52, s/n. Ronda. 18147-000 - Araçariguama - SP	GERDAU	16		1750

OBS.: A distância total representa a soma da distância de ida e volta do ponto de extração ou fabricação ao ponto de comercialização e da distância de ida e volta do ponto de comercialização à obra.

ENERGIA NA FASE DE PRÉ-USO - ALVENARIA ESTRUTURAL

ENERGIA NA FASE DE PRÉ-USO - ALVENARIA ESTRUTURAL												
REF.	CÓDIGOS	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	FATOR	EI mat (MJ)	Massa total (ton)	Dist _{total} (km)	EI tr (MJ/ton.km)	EI tr (MJ)	EI total (MJ)	Percentual (%)
SINAPI	7356	Tinta acrilica	L	91,38	51,12	4670,90	0,11	1940,00	0,87	185,07	4855,97	3,91
SINAPI	88310	Mão de obra	H	1213,52	1,64	1990,18	0,32	1216,00	1,44	560,33	2550,51	2,06
SINAPI	34	Aço	KG	247,79	21,92	5431,02	0,25	1750,00	0,87	377,27	5808,29	4,68
SINAPI	367	Areia	KG	45587,47	0,05	2214,25	45,59	1050,00	0,87	41644,15	43858,40	35,36
SINAPI	1106	Cal hidratada	KG	3570,31	3,30	11782,01	3,57	1068,00	0,87	3317,38	15099,39	12,17
SINAPI	1379	Cimento cp ii-32	KG	5154,29	3,57	18406,53	5,15	1068,00	0,87	4789,16	23195,68	18,70
SINAPI	4720	Pedra britada	KG	4058,90	0,15	608,84	4,06	50,20	0,87	177,27	786,10	0,63
SINAPI	4051,00	Massa corrida	KG	232,17	117,84	27360,19	0,23	1940,00	0,87	391,86	27752,05	22,37
SINAPI	88830	Betoneira	H	24,52	5,40	132,40	0,17	32,00	1,44	7,83	140,23	0,11
* Considerando que o serviço será feito em 37 dias por dois profissionais e dois ajudantes.									ENERGIA PRÉ-USO (GJ)		124,05	
** Peso dos equipamento e consumo energético de acordo com fabricantes.									ENERGIA PRÉ-USO (GJ/M²)		1,94	
*** Energia gasta pelos funcionários de acordo com Bouchard <i>et al.</i> (1983).												

ENERGIA NA FASE DE PRÉ-USO - PAREDE DE CONCRETO MOLDADA NO LOCAL												
REF.	CÓDIGOS	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	FATOR (MJ/unid)	EI mat (MJ)	Massa total (ton)	Disttotal (km)	FATOR (MJ/ton.km)	EI tr (MJ)	EI total (MJ)	Percentual (%)
SINAPI	88262	Mão de obra	H	497,09	1,64	815,23	0,32	512,00	1,44	235,93	1051,16	1,00
SINAPI	90586	Vibrador	H	0,88	5,40	4,76	0,07	32,00	1,44	3,23	7,99	0,01
SINAPI	-	Formas alumínio	KG	6468,60	152,94	989275,34	6,47	1154,00	0,87	6494,35	995769,69	9,48
SINAPI	7356	Tinta acrílica	L	91,38	51,12	4670,90	0,11	1940,00	0,87	185,07	4855,97	4,62
SINAPI	337	Arame recozido	KG	2,24	21,92	49,19	0,02	1154,00	0,87	22,00	71,20	0,07
SINAPI	10917	Tela de aço	KG	225,17	30,50	6867,64	0,03	1750,00	0,87	46,44	6914,08	6,58
SINAPI	34	Aço	KG	132,89	21,92	2912,64	0,13	1750,00	0,87	202,33	3114,97	2,96
SINAPI	4051	Massa corrida	L	193,48	117,84	22800,16	0,23	1940,00	0,87	391,86	23192,02	22,07
TCPO	2060322	Areia média	KG	23940,13	0,05	1162,81	23,94	1050,00	0,87	21869,31	23032,11	21,92
TCPO	2060331	Brita 1	KG	24612,06	0,15	3691,81	24,61	50,20	0,87	1074,91	4766,72	4,54
TCPO	2065351	Cimento cp iie-32	KG	5576,33	3,57	19913,70	5,58	1068,00	0,87	5181,30	25095,00	23,88
TCPO	22300925	Betoneira	H	5,30	5,40	28,62	0,17	32,00	1,44	7,83	36,45	0,03
SINAPI	39397	Desmoldante	L	11,85	86,13	1020,40	0,01	2694,00	0,87	33,32	1053,72	1,00
SINAPI	39017	Espacador	KG	22,54	80,00	1803,20	0,08	1856,00	0,87	129,18	1932,37	1,84
* Considerando que o serviço será feito em 16 dias por dois profissionais e dois ajudantes.									ENERGIA PRÉ-USO (GJ)		1090,89	
** Peso dos equipamentos e consumo energético de acordo com fabricantes.									ENERGIA PRÉ-USO 1X (GJ/M²)		17,08	
*** Energia gasta pelos funcionários de acordo com Bouchard <i>et al.</i> (1983).									ENERGIA PRÉ-USO 100X (GJ/M²)		1,65	
**** O percentual de energia que as fôrmas representam em cada obra foi estimado considerando 100 utilizações das fôrmas.									ENERGIA PRÉ-USO 500X (GJ/M²)		1,52	
									ENERGIA PRÉ-USO 1000X (GJ/M²)		1,51	

ENERGIA NA FASE DE USO - <i>STEEL FRAME</i>										
DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	FATOR (MJ/unid)	FR	EI mat (MJ)	Massa total (ton)	Disttotal (km)	FATOR (MJ/ton.km)	EI tr (MJ)	EI total (MJ)
TINTA(INTERIOR)	L	72,54	51,12	14,29	49277,53	0,09	1942,00	0,87	1954,50	51232,03
MÃO DE OBRA (INTERIOR)	H	56,27	1,64	14,29	1226,47	0,32	64,00	1,44	391,94	1618,41
TINTA (EXTERIOR)	L	18,84	51,12	5,00	3852,15	0,09	1942,00	0,87	611,15	4463,31
MÃO DE OBRA (EXTERIOR)	H	40,506	1,64	5,00	265,72	0,32	64,00	1,44	117,96	383,68
PAINEL DE GESSO	kg	3310,80	5,03	1,67	11165,12	3,31	56,20	0,87	108,46	11273,58
PLACA OSB	kg	4427,39	7,50	1,67	22247,61	4,43	52,20	0,87	134,71	22382,32
PLACA CIMENTÍCIA	kg	4214,23	3,03	1,25	3189,65	4,21	131,40	0,87	120,44	3310,09
ENERGIA PRÉ-USO (GJ)									94,66	
ENERGIA PRÉ-USO (GJ/M²)									1,48	

ENERGIA NA FASE DE USO - PAREDE DE CONCRETO MOLDADA NO LOCAL										
DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	FATOR (MJ/unid)	FR	EI mat (MJ)	Massa total (ton)	Disttotal (km)	FATOR (MJ/ton.km)	EI tr (MJ)	EI total (MJ)
TINTA (INTERIOR)	L	72,54	51,12	14,29	49277,53	0,09	1940,00	0,87	1952,49	51230,01
MÃO DE OBRA (INTERIOR)	H	56,27	1,64	14,29	1226,47	0,32	64,00	1,44	391,94	1618,41
TINTA (EXTERIOR)	L	18,84	51,12	5,00	3852,15	0,09	1940,00	0,87	610,52	4462,68
MÃO DE OBRA (EXTERIOR)	H	40,51	1,64	5,00	265,72	0,32	64	1,44	117,96	383,68
ENERGIA USO (GJ)									57,69	
ENERGIA USO (GJ/M²)									0,90	

APÊNDICE K – ENERGIA NA FASE DE PÓS-USO

ENERGIA NA FASE DE PÓS-USO - SISTEMA CONVENCIONAL											
REF.	CÓDIGOS	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	FATOR (MJ/kg)	ED mat (MJ)	Massa total (ton)	Disttotal (km)	FATOR (MJ/ton.km)	EI tr (MJ)	EI total (MJ)
SINAPI	7267	BLOCO CERAMICO	KG	9435,10	0,0354	334,00	9,44	16,80	0,87	137,90	471,91
SINAPI	337	ARAME RECOZIDO	KG	15,03	0,0354	0,53	0,02	16,80	0,87	0,22	0,75
SINAPI	39017	ESPACADOR	KG	35,15	0,0354	1,24	0,04	16,80	0,87	0,51	1,76
SINAPI	92792	AÇO	KG	610,99	0,0354	21,63	0,61	16,80	0,87	8,93	30,56
TCPO	2060331	BRITA 1	KG	11484,21	0,0354		11,48	16,80	0,87	167,85	167,85
EBERICK	V9	MADEIRA	KG	151,79	0,0354	5,37	0,15	16,80	0,87	2,22	7,59
SINAPI	2692	DESMOLDANTE	KG	0,41	0,0354	0,01	0,00	16,80	0,87	0,01	0,02
SINAPI	7356	TINTA	KG	109,65	0,0354	3,88	0,11	16,80	0,87	1,60	5,48
SINAPI	370	AREIA MEDIA	KG	29956,25	0,0354	1060,45	29,96	16,80	0,87	437,84	1498,29
SINAPI	1106	CAL HIDRATADA	KG	368,59	0,0354	13,05	0,37	16,80	0,87	5,39	18,44
SINAPI	1379	CIMENTO CP II-32	KG	6494,52	0,0354	229,91	6,49	16,80	0,87	94,92	324,83
SINAPI	4051	MASSA CORRIDA	KG	232,17	0,0354	8,22	0,23	16,80	0,87	3,39	11,61
ENERGIA PÓS- USO (GJ)										2,5391	
ENERGIA PÓS USO (GJ/M²)										0,0398	

ENERGIA NA FASE DE PÓS-USO - ALVENARIA ESTRUTURAL											
REF.	CÓDIGOS	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	FATOR (MJ/kg)	ED mat (MJ)	Massa total (ton)	Disttotal (km)	FATOR (MJ/ton.km)	EI tr (MJ)	EI total (MJ)
SINAPI	7356	TINTA	KG	219,31	0,0354	7,76	0,22	16,80	0,87	3,21	10,97
SINAPI	34	AÇO	KG	247,79	0,0354	8,77	0,25	16,80	0,87	3,62	12,39
SINAPI	367	AREIA	KG	45587,47	0,0354	1613,80	45,59	16,80	0,87	666,31	2280,10
SINAPI	1106	CAL HIDRATADA	KG	3570,31	0,0354	126,39	3,57	16,80	0,87	52,18	178,57
SINAPI	1379	CIMENTO CP II-32	KG	5154,29	0,0354	182,46	5,15	16,80	0,87	75,34	257,80
SINAPI	4720	PEDRA BRITADA	KG	4058,90	0,0354	143,69	4,06	16,80	0,87	59,32	203,01
SINAPI	4051,00	MASSA CORRIDA	KG	232,17	0,0354	8,22	0,23	16,80	0,87	3,39	11,61
ENERGIA PÓS- USO (GJ)										2,9545	
ENERGIA PÓS USO (GJ/M²)										0,0463	

ENERGIA NA FASE DE PÓS-USO - <i>STEEL FRAME</i>											
REF.	CÓDIGOS	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	FATOR (MJ/kg)	ED mat (MJ)	Massa total (ton)	Disttotal (km)	FATOR (MJ/ton.km)	EI tr (MJ)	EI total (MJ)
TCPO	4840326	PAINEL DE GESSO	KG	6621,60	0,0026	17,02	6,62	16,80	0,87	96,78	113,80
TCPO	4840352	PARAFUSO	KG	137,41	0,0026	0,35	0,14	16,80	0,87	2,01	2,36
TCPO	5050376	PERFIL TIPO "U"	KG	568,92	0,0026	1,46	0,57	16,80	0,87	8,32	9,78
TCPO	5050376	PERFIL TIPO "C"	KG	321,79	0,0026	0,83	0,32	16,80	0,87	4,70	5,53
TCPO	3933381	CHUMBADOR PARABOLT	KG	12,68	0,0026	0,03	0,01	16,80	0,87	0,19	0,22
SINAPI	7356	TINTA	KG	219,31	0,0026	0,56	0,22	16,80	0,87	3,21	3,77
SINATI	-	LÃ DE ROCHA	KG	1201,92	0,0026	3,09	1,20	16,80	0,87	17,57	20,66
SINATI	-	PLACA OSB	KG	8854,77	0,0026	22,76	8,85	16,80	0,87	129,42	152,18
SINATI	-	PLACA CIMENTÍCIA	KG	8428,46	0,0026	21,66	8,43	16,80	0,87	123,19	144,85
ENERGIA PÓS- USO (GJ)										0,4531	
ENERGIA PÓS USO (GJ/M²)										0,0071	

ENERGIA NA FASE DE PÓS-USO - PAREDE DE CONCRETO MOLDADA NO LOCAL											
REF.	CÓDIGOS	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	FATOR (MJ/kg)	ED mat (MJ)	Massa total (ton)	Disttotal (km)	FATOR (MJ/ton.km)	EI tr (MJ)	EI total (MJ)
		FORMAS EM ALUMÍNIO	KG	6468,60	0,0354	228,99	6,47	16,80	0,87	94,55	323,53
SINAPI	7356	TINTA	KG	109,65	0,0354	3,88	0,11	16,80	0,87	1,60	5,48
SINAPI	337	ARAME	KG	2,24	0,0354	0,08	0,00	16,80	0,87	0,03	0,11
SINAPI	10917	TELA DE ACO	KG	225,17	0,0354	7,97	0,23	16,80	0,87	3,29	11,26
SINAPI	34	AÇO	KG	132,89	0,0354	4,70	0,13	16,80	0,87	1,94	6,65
SINAPI	4051	MASSA CORRIDA	KG	232,17	0,0354	8,22	0,23	16,80	0,87	3,39	11,61
TCPO	2060322	AREIA MÉDIA	KG	23940,13	0,0354	847,48	23,94	16,80	0,87	349,91	1197,39
TCPO	2060331	BRITA 1	KG	24612,06	0,0354	871,27	24,61	16,80	0,87	359,73	1231,00
TCPO	2065351	CIMENTOCP II-E-32	KG	5576,33	0,0354	197,40	5,58	16,80	0,87	81,50	278,91
SINAPI	39397	DESMOLDANTE	KG	14,22	0,0354	0,50	0,01	16,80	0,87	0,21	0,71
SINAPI	39017	ESPACADOR	KG	22,54	0,0354	0,80	0,02	16,80	0,87	0,33	1,13
								ENERGIA PÓS- USO (GJ)		3,0678	
								ENERGIA PÓS USO (GJ/M²)		0,0480	

APÊNDICE O – CONSUMO DE ENERGIA PELOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS UTILIZADOS DURANTE A VIDA ÚTIL DA EDIFICAÇÃO

EQUIPAMENTO	POTÊNCIA MÉDIA (W)	DIAS ESTIMADOS DE USO POR MÊS	MÉDIA DE UTILIZAÇÃO POR DIA (H)	POTÊNCIA CONSUMIDA MENSALMENTE (W)
Chuveiro elétrico 5000 W	5000	30	0,67	100000
Computador	100	30	2,00	6000
Fogão comum	60	30	0,08	150
Forno micro-ondas	1200	30	0,17	6000
Geladeira 1 porta - Frost free	80	30	24,00	57600
Lâmpada fluorescente compacta 15 W	15	30	5,00	18000
Lavadora de roupas	500	12	1,00	6000
Liquidificador	300	4	0,08	100
Notebook	30	30	8,00	7200
Secador de cabelos grande	1400	15	0,17	3500
TV LCD 32"	170	30	5,00	25500
Consumo total mensal (kWh)				230,05
Consumo total na vida útil do edifício (MJ)				496908,00
Consumo total na vida útil do edifício considerando o fator de correção de energia final para primaria (MJ)				804990,96
Energia incorporada a edificação devido ao uso de equipamentos elétricos (GJ/m ²)				12,61
*O fator de correção considera as perdas por transformação e distribuição.				
** O fator de correção utilizado foi de 1,62 e foi calculado por Pedroso (2015)				
***A potência média considerada foi obtida no Guia do melhor consumo (CEMIG, 2014)				