

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

LUCAS DA ROCHA BERTINI

**UTILIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE TELHADO VERDE ALVEOLAR LEVE,
LAMINAR MÉDIO E LAMINAR ALTO EM LAJES DE COBERTURA
– ESTUDO DE CASO**

**São Leopoldo
2019**

LUCAS DA ROCHA BERTINI

**UTILIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE TELHADO VERDE ALVEOLAR LEVE,
LAMINAR MÉDIO E LAMINAR ALTO EM LAJES DE COBERTURA
– ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil, pelo Curso de
Engenharia Civil da Universidade do Vale
do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientadora: Prof^a. Dra. Dóris Zechmeister Bragança Weinmann

São Leopoldo

2019

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que acreditaram em mim e tanto me incentivaram e me ajudaram, possibilitando esta jornada.

As minhas irmãs Adriana Bertini e Patricia Bertini pela incansável ajuda e apoio durante toda a graduação. Sem vocês este sonho não teria se tornado realidade.

Ao meu cunhado Eduardo Dagostin pelo apoio e por sempre se disponibilizar em me ajudar quando precisei.

Ao Dionata Barticoski, por estar sempre ao meu lado. Sou grato pelas inúmeras palavras de carinho e confiança.

A minha orientadora Prof.^a Dra. Dóris Zechmeister, pelo incentivo, paciência e ajuda em todos os momentos. Obrigado por acreditar no meu potencial e no meu trabalho.

Ao Sr. João Manuel juntamente com todos os demais profissionais da Ecotelhado por terem se interessado pelo tema da minha pesquisa e me ajudado ao longo deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Uziel Quinino, pela paciência e pelas valiosas contribuições longo da minha graduação.

A Prof.^a Dra Tatiana Louise Avila por ter me auxiliado e compartilhado seus conhecimentos.

A todos os profissionais que responderam às entrevistas e com suas percepções, críticas e sugestões conseguiram dividir um pouco de suas experiências comigo.

Aos amigos que Unisinos me deu Fabiana Deichsel e Rafael Souza, sempre presentes nos momentos bons e nos momentos de dificuldade, pelo incentivo e pelas histórias que construímos durante estes anos de graduação.

Ao meu amigo de longa data Jonas Matos, que mesmo de longe durante esse período sempre me apoiou, me escutou e me aconselhou nos momentos difíceis.

RESUMO

A vegetação em coberturas teve um longo caminho até a obtenção do seu presente aprimoramento, tendo como seus precedentes os Jardins Suspensos da Babilônia, as *turf houses* da Islândia e o arquétipo denominado *sod houses*, sistema construtivo disseminado na América do Norte e na Europa até sua chegada ao século XX assomado ao Movimento Moderno na arquitetura, onde foi elencado como um dos cinco princípios do modernismo e intitulado como *toit-jardin*, nome dado pelo renomado arquiteto Le Corbusier. Das adversidades das primeiras tentativas de instalações até suas aplicações no século XXI, os *green roofs*, como são chamados no Hemisfério Norte passaram por processos de aperfeiçoamento tecnológico, que levaram a superação das adversidades e ao crescimento da indústria de produtos, técnicas e serviços em países como Alemanha e Estados Unidos. O uso de vegetação sobre lajes é uma das técnicas sustentáveis construtivas que mais está em evidência atualmente, onde inúmeros fatores vêm evidenciando esta técnica: impermeabilização do solo, urbanização desordenada, consumo energético, poluição, ilhas de calor, entre outros. Os exemplos de telhado verde crescem pelo mundo com o auxílio de leis, incentivos e estudos, mas ainda é uma técnica pouco integrada a construção civil brasileira. Este trabalho investiga a percepção de profissionais das áreas de projeto, execução, fiscalização e manutenção que estiveram em contato direto com a com a implantação dos telhados verdes no empreendimento da Universidade do Vale do Rio dos Sinos em Porto Alegre. Além disto, esta pesquisa estuda as caracterizações térmicas dos módulos poliméricos e suas resistências mecânicas a compressão. Os resultados desta pesquisa foram separados em duas partes sendo elas: a análise das entrevistas que visa contribuir para um projeto onde haja uma maior interação entre as partes relacionadas e o programa experimental que delimita-se em compilar a carga mínima especificada pela norma de desempenho NBR 15575-5/13 para o uso de instalação e manutenção de coberturas com os ensaios de compressão realizados.

Palavras-Chave: Telhados Verdes, Norma de desempenho, Unisinos, Sustentabilidade

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação dos Jardins Suspensos da Babilônia	21
Figura 2 – Casa Hehe Tanzânia.....	22
Figura 3 – <i>Turf house</i> Islândia.....	23
Figura 4 - Rudolph Aronson's Casino Theater 1880	23
Figura 5 - Ilustração dos cenários: atual, um ano e dez anos após a Lei de instalação dos telhados verdes.	25
Figura 6 – Ministério da Educação e Cultura – Rio de Janeiro.....	26
Figura 7 – Evolução dos telhados verdes até 1970.....	28
Figura 8 – Evolução dos telhados verdes dos 90 à atualidade	30
Figura 9 - Comparação entre os ecossistemas urbanos	36
Figura 10 - Fachada e vista interna da Amazon Spheres	38
Figura 11 - The Christ Hospital Joint e Spine Center	40
Figura 12 - Vista superior do Jardim Botânico de Augustenborg	41
Figura 13 - Pesquisa de musgos em telhados verde	41
Figura 14 - Telhado biodiverso.....	41
Figura 15 - Teste de diferentes profundidades de substratos em telhados verdes ...	42
Figura 16 – Aqua Tower.....	43
Figura 17 - Edifício Marques dos Reis – Rio de Janeiro	44
Figura 18 - Ponto de Ônibus em Utrecht.....	45
Figura 19 - Pontos de ônibus no Brasil	45
Figura 20 - Camadas do telhado verde extensivo	47
Figura 21 - Camadas do telhado verde intensivo	47
Figura 22 - Exemplo de telhado verde extensivo Planar House.....	48
Figura 23 - Exemplo de telhado verde intensivo	48
Figura 24 - Caracterização de uma curva TG de uma reação de decomposição térmica que ocorre em uma única etapa	50
Figura 25 - Apresentação de uma Curva DSC de fluxo de calor em função da temperatura	52
Figura 26 - Variações endotérmicas e exotérmicas	52
Figura 27 - Regime elástico e regime plástico.....	53
Figura 28 – Fluxograma da metodologia de pesquisa.....	58
Figura 29 - Localização do empreendimento	58

Figura 30 - Localização das áreas	59
Figura 31 - Localização dos sistemas de telhado verde.....	59
Figura 32 - Vegetação do sistema de telhado verde da área comercial.....	60
Figura 33 - Representação do sistema de telhado verde Alveolar Leve	61
Figura 34 - Desenho esquemático do sistema Alveolar Leve	61
Figura 35 - Representação do sistema de telhado verde Laminar Médio	62
Figura 36 - Desenho esquemático do sistema Laminar Médio.....	62
Figura 37 - Representação do sistema Laminar Alto	63
Figura 38 - Desenho esquemático do sistema Laminar Alto	64
Figura 39 – Fluxograma do método de pesquisa	65
Figura 40 - Fluxograma do planejamento das entrevistas.....	66
Figura 41 - Parque Bicentenário em Bogotá - Colômbia	67
Figura 42 - Etapas dos dados coletados através de entrevistas	68
Figura 43 - Localização dos telhados verdes	69
Figura 44 - Fluxograma da divisão dos ensaios de caracterização.....	69
Figura 45 - Estudos desenvolvidos a partir da análise térmica	70
Figura 46 - Prensa eletrônica EMIC 23-300	72
Figura 47 - Prensa Hidráulica de 300 kN	73
Figura 48 - Projeto de determinação dos ensaios Alveolar Leve	74
Figura 49 - Fluxograma das etapas do ensaio do sistema Alveolar Leve	75
Figura 50 - Projeto de determinação dos ensaios Laminar Médio	76
Figura 51 - Fluxograma das etapas do ensaio do sistema Laminar Médio	76
Figura 52 - Projeto de determinação dos ensaios Laminar Alto.....	77
Figura 53 - Comparativo de alturas dos ensaios realizados com prolongamento	78
Figura 54 - Fluxograma das etapas do ensaio do sistema Laminar Alto.....	78
Figura 55 - Foto aérea da vista do colégio Anchieta em 2010	79
Figura 56 – Projeto de cobertura da parte comercial do empreendimento.....	80
Figura 57 - Vista atual do Colégio Anchieta	80
Figura 58 – Vista do telhado do Espaço Unisinos para o Colégio Anchieta.....	81
Figura 59 - Comparação de escoamento de uma cobertura verde com uma cobertura tradicional.....	82
Figura 60 - Planta baixa da localização do tanque 02.....	83
Figura 61 – Detalhe construtivo do tanque 02.....	83
Figura 62 – Detalhe construtivo.....	84

Figura 63 - Extravasor da laje do Espaço Unisinos.....	85
Figura 64 - Vista aérea da Unisinos Porto Alegre	85
Figura 65 - Irrigação automatizada do sistema Alveolar Leve do Teatro Unisinos....	86
Figura 66 - Instalação dos módulos do sistema Laminar Médio e colocação da membrana de absorção	87
Figura 67 - Instalação da membrana de absorção sobre o sistema Laminar Médio .	87
Figura 68 - Colocação do substrato sobre a membrana de absorção.....	88
Figura 69 - Módulos do sistema Laminar médio expostos	89
Figura 70 – ausência de substrato sobre a membrana de absorção.....	90
Figura 71 - Acesso ao telhado verde do Teatro Unisinos.....	91
Figura 72 - Vegetação de Boldo chileno na cobertura do Espaço Unisinos.....	91
Figura 73 – Etapas do ensaio de compressão do sistema Alveolar Leve	104
Figura 74 - Etapas do ensaio de compressão do sistema Laminar Médio	105
Figura 75 - Etapas do ensaio de compressão do sistema Laminar Alto.....	105
Figura 76 – Deformação plástica.....	107
Figura 77 – Fissura apresentadas após compressão máxima	108
Figura 78 – Estado final da amostra após a retirada da carga	110
Figura 79 – Fissura apresentada nas hastes superiores da amostra.....	110
Figura 80 – Fissura nas hastes diagonais da amostra	111
Figura 81 – Áreas de influência dos módulos ensaiados	112
Figura 82 – Deformação ocorrida no módulo único durante a aplicação de carga..	113
Figura 83 – Aumento da área de contato devido ao aumento de carga.....	113
Figura 84 – Rompimento da amostra dupla	114
Figura 85 – Etapas das deformações na amostra Laminar Alta módulo triplo	114
Figura 86 – Comparação entre os módulos do sistema Laminar Alto	115
Figura 87 – Ensaio realizados para avaliação das diferentes alturas.....	117
Figura 88 – Ensaio realizado na amostra do sistema Laminar Alto com 50 centímetros de prolongamento.....	118

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução do número de artigos contendo as palavras “desenvolvimento sustentável” no título, no resumo ou nas palavras-chave	31
Gráfico 2 - Curva DSC do polímero reciclado com massa de amostra de 18,578mg do sistema Alveolar Leve	95
Gráfico 3 - Curva TGA do polímero reciclado com massa de amostra de 18,578mg do sistema Alveolar Leve	96
Gráfico 4 - Curva do polímero reciclado com massa de amostra de 19,865mg do sistema Laminar Médio	98
Gráfico 5 - Curva TGA do polímero reciclado com massa de amostra de 19,865mg do sistema Laminar Médio	99
Gráfico 6 - Curva do polímero reciclado com massa de amostra de 19,760mg do sistema Laminar Alto	101
Gráfico 7 - Curva do polímero reciclado com massa de amostra de 19,760mg sistema Laminar Alto	102
Gráfico 8 – Resumo do ensaio a compressão do sistema Alveolar Leve.....	106
Gráfico 9 - Resumo do ensaio a compressão do sistema Laminar Médio	108
Gráfico 10 - Resumo do ensaio a compressão do sistema Laminar Alto sem prolongamento	111
Gráfico 11 - Resumo do ensaio a compressão do sistema Laminar Alto com prolongamento	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Potencialidades e restrições dos telhados verdes.....	37
Tabela 2 - Característica dos telhados verdes extensivos e intensivos	49
Tabela 3 – Características térmicas dos polímeros.....	71
Tabela 4 - Características térmicas dos polímeros	97
Tabela 5 - Características térmicas dos polímeros	100
Tabela 6 - Características térmicas dos polímeros	103
Tabela 7 - Tabela resumo do sistema Alveolar Leve	107
Tabela 8 - Tabela resumo do sistema Laminar Médio	109
Tabela 9 - Tabela resumo do sistema Laminar Alto sem prolongamento	112
Tabela 10 - Tabela resumo do sistema Laminar Alto com prolongamento	116

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DEP	Departamento de Esgotos Pluviais
DSC	<i>Differential Scanning Analysis</i>
LCVmat	Laboratório de Caracterização e Valorização de Matérias
PEAD	Polietileno de alta densidade
PP	Polipropileno
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
TG	Termogravimetria
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA	15
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	15
1.3 LIMITAÇÃO DO TEMA.....	16
1.4 PROBLEMA	16
1.5 OBJETIVOS	17
1.5.1 Objetivo Geral	17
1.5.2 Objetivos Específicos	17
1.6 JUSTIFICATIVA	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 SISTEMAS DE COBERTURA.....	19
2.1.1 Funções da cobertura	19
2.1.2 Definições	20
2.2 TELHADO VERDE (<i>GREEN ROOF</i>).....	21
2.2.1 Sustentabilidade	31
2.2.2 Construção sustentável	33
2.2.3 Potencialidades e restrições do sistema de telhado verde	35
2.2.4 Design biofílico	38
2.2.3.1 Novas ferramentas para promover cidades biofílicas.....	40
2.2.5 Classificação do telhado verde	45
2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS POLIMÉRICOS.....	49
2.3.1 Caracterização térmica	49
2.3.1.1 Análise Termogravimétrica (Tg)	49
2.3.1.2 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	51
2.3.2 Caracterização mecânica	53
2.3.2.1 Ensaio de compressão em polímeros	53
3 METODOLOGIA	54
3.1 ESTUDO DE CASO	54
3.1.1 Descrição do empreendimento de estudo	58
3.2 MATERIAIS	60
3.2.1 Sistema Modular Alveolar Leve	60
3.2.2 Sistema Modular Laminar Médio	62
3.2.3 Sistema Modular Laminar Alto	63

3.3 MÉTODOS	64
3.3.1 Entrevistas	65
3.3.2 Caracterizações	68
3.3.2.1 Caracterização térmica.....	70
3.3.2.2 Caracterização mecânica	71
3.3.2.2.1 <i>Caracterização mecânica – Alveolar Leve</i>	73
3.3.2.2.2 <i>Caracterização mecânica – Laminar Médio</i>	75
3.3.2.2.2 <i>Caracterização mecânica – Laminar Alto</i>	77
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	79
4.1 PERCEPÇÃO DOS ENTREVISTADOS.....	79
4.1.1 Projeto	79
4.1.2 Execução.....	84
4.1.3 Fiscalização	88
4.1.4 Manutenção	89
4.2 ANÁLISE DO PROGRAMA EXPERIMENTAL	92
4.2.1 Caracterização térmica	92
4.2.1.1 Análise de calorimetria exploratória diferencial (DSC)	93
4.2.1.2 Análise termogravimétrica (TG).....	93
4.2.1.3 Análise térmica: Sistema Alveolar Leve	94
4.2.1.4 Análise térmica: Sistema Laminar Médio	97
4.2.1.5 Análise térmica: Sistema Laminar Alto	100
4.2.2 Caracterização mecânica.....	103
4.2.2.1 Módulo Alveolar Leve.....	106
4.2.2.2 Módulo Laminar Médio	108
4.2.2.3 Módulo Laminar Alto.....	111
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	119
REFERÊNCIAS.....	121
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DA ENTREVISTA COM A EMPRESA A.....	131
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DA ENTREVISTA COM O SETOR DE PROJETOS DO EMPREENDIMENTO.....	132
APÊNDICE C –QUESTIONÁRIO DA ENTREVISTA COM O SETOR DE EXECUÇÃO	133
APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO DA ENTREVISTA COM O SETOR DE FISCALIZAÇÃO DA EXECUÇÃO DA OBRA.....	134

**APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO DA ENTREVISTA COM O SETOR DE
MANUTENÇÃO DO EMPREEDIMENTO135**

1 INTRODUÇÃO

Com o decorrer dos anos, o aumento gradativo da população deixou de ser um problema apenas habitacional e social, mas também se tornou uma preocupação ambiental. Segundo a ONU BR (2019), a população mundial em 1950 era estimada em 2,6 bilhões de pessoas, chegando a 5 bilhões em julho 1987 e em 2019 a estimativa atual foi de aproximadamente 7 bilhões de habitantes.

Segundo o relatório produzido e disponibilizado pela Divisão das Nações Unidas para População do Departamento dos Assuntos Econômicos e Sociais (DESA, 2014) “perspectivas da urbanização mundial” (World Urbanization Prospects), mais de 54% da população mundial vive em áreas urbanizadas e estima-se que em 2050 o crescimento da população mundial possa trazer mais de 2,5 milhões de pessoas para as populações urbanizadas tendo um aumento de 12% (UNRIC, 2014).

Segundo Seto et al. (2011) as mudanças que a urbanização acarreta como alterações da cobertura do solo, clima, biodiversidade e sistemas hidrológicos são os impactos mais irreversíveis sobre o uso da terra. Braga (2001) destaca que o avanço da urbanização, de maneira desordenada, como construções de edificações em áreas incorretas, utilizando índices de ocupação incompatíveis, tem causado uma degradação progressiva do meio ambiente.

Segundo Sperandelli et al., (2013) ao longo do tempo, a expansão urbana vem causando uma série de impactos ambientais. Entre estes impactos, incluem a perda de vegetação dentro e nos arredores das cidades, diminuição da qualidade da água e aumento da demanda, maiores chances de inundação devido à redução de áreas drenantes e maiores áreas impermeáveis. Este crescimento desordenado gera custos elevados de manutenção para administração municipal.

Catuzzo (2014) comenta que a redução da qualidade de vida e ambiental no meio urbano são resultados de uma série de impactos ambientais causados pela produção dos espaços urbanizados das grandes metrópoles, como problemas de enchentes, qualidade do ar e água, aumento de tráfego, impermeabilização do solo, formação de ilhas de calor e falta de áreas verdes.

Para Savi (2012), problemas como o efeito estufa, crise energética, emissão de CO₂, diminuição de combustíveis fósseis, escassez da água, são as maiores apreensões que o novo milênio traz consigo em relação ao planeta. Entretanto, essas preocupações, resultam em uma busca maior pela sustentabilidade, com o objetivo

de achar soluções que consigam compensar ou recuperar os impactos ambientais causados nos ecossistemas pela urbanização. Segundo Savi (2012), para que possamos ter uma sociedade fundamentalmente equilibrada e sustentável, a arquitetura, que com o passar dos anos foi se afastando da construção orgânica e ecológica, necessita retomar estes fundamentos.

Para CORBELLA e YANNAS (2003):

“Desde os primórdios da humanidade o homem buscou proteger-se das intempéries e do ambiente hostil utilizando-se dos meios que estavam disponíveis nesse mesmo ambiente. A inexistência de tecnologias sofisticadas fez com que procurasse, em suas construções, aspectos que reduzissem o calor, o frio, a umidade, a secura etc. Na verdade, à medida de sua evolução e maior sofisticação, passou a introduzir materiais mais elaborados (...). A necessidade de ostentar o “progresso”, o poder econômico, a abundância de tecnologia, fez com que, sobretudo nos tempos contemporâneos, em muito se desconsiderasse a questão ambiental da arquitetura.”

Roaf (2006) destaca que os profissionais da área da construção civil devem ter interdisciplinaridade, se faz necessário uma interação entre engenharia, arquitetura e ecologia para que sejam projetados edifícios passivos, que usem o mínimo de energia e que esta energia utilizada provenha de fontes renováveis. A autora também enfatiza que o único caminho a ser seguido é esse: se faz necessário equilíbrio entre projetar e construir, sendo de suma importância a conscientização dos profissionais em formação que se desenvolvam e se adequem as necessidades da construção civil ao projeto sustentável.

COSTA (1982) define a Arquitetura Ecológica como: “a arte de construir habitações aproveitando, na luta contra o desconforto criado pelo meio, apenas os recursos imediatos propiciados pela própria natureza, sem alterar o equilíbrio ecológico do mesmo”.

Para Tonial et al., (2017), o aumento pela busca de métodos construtivos inovadores está convergindo para o aprimoramento da construção sustentável, onde leva-se em consideração os desafios que estão sendo encontrados, resultado da forma desordenada e sem planejamento que as zonas urbanas vêm crescendo. Em resposta a estas problemáticas, uma das alternativas que ao longo dos anos vem obtendo aprimoramentos significativos é a utilização dos sistemas de telhado verde, que podem ser aplicados sobre lajes ou telhados de uma edificação.

O telhado verde é uma tecnologia construtiva que tem como objetivo melhorar a eficiência da cobertura, cria uma área permeável, melhora as condições térmicas do edifício, ajuda na contenção da poluição ambiental e no escoamento superficial. São conhecidos como coberturas verdes, telhados vivos ou eco telhados. A vegetação a ser instalada pode ser denominada como intensivo ou extensivo dependendo do seu porte (SNODGRASS e MCINTYRE, 2010).

Para Baldessar (2012), o uso do telhado verde tem influência direta na economia de energia, na retenção de água das chuvas, redução da poluição sonora no ambiente interno da edificação e eficácia contra radiação solar. O telhado verde, também chamado de jardins suspensos, atua auxiliando na captação de dióxido de carbono e dos demais gases, provenientes da poluição gerados nas metrópoles, contribuindo para melhoria da qualidade de vida do meio urbano.

Neste contexto, entende-se que a construção sustentável é de suma importância para que as problemáticas relacionadas ao meio urbano não se agravem cada vez mais, tendo como alternativa o uso do telhado verde para auxiliar a mitigar estes problemas que estamos vivenciando.

Assim, esta pesquisa busca compreender as potencialidades e restrições de três tipos de sistemas modulados de telhados verdes comercializados por uma empresa na cidade de Porto Alegre. Para isto, foi realizado um estudo de caso em um empreendimento e ensaios de caracterização térmica e de compressão nos módulos poliméricos que constituem os sistemas de telhado verde.

1.1 TEMA

Este trabalho versa sobre os telhados verdes modulados, sua técnica construtiva, propriedades térmicas e mecânicas.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Esta pesquisa delimita-se aos os telhados verdes modulados que são fabricados e comercializados pela Empresa A, sendo eles: Alveolar Leve, Laminar Médio e Laminar Alto. Esta avaliação foi feita com base em um estudo de caso realizado na instituição Universidade do Vale do Rio dos Sinos, localizada Porto Alegre onde foram instalados os sistemas Alveolar Leve e Laminar Médio. As informações foram

coletadas através de entrevistas com os profissionais da área (arquitetos e engenheiros) que tiveram envolvimento direto com o empreendimento de estudo. Procurou-se compreender os impactos do uso de telhado verde nas fases: projeto, execução, fiscalização e manutenção.

Complementou-se a referida avaliação através de caracterizações térmicas de termogravimetria e calorimetria exploratória diferencial realizadas em amostras dos módulos poliméricos e por meio de caracterização mecânicas mediante a ensaios de compressão realizadas nos módulos dos três sistemas de telhados verdes.

1.3 LIMITAÇÃO DO TEMA

Devido à dificuldade de acesso a empreendimentos onde foram instalados o sistema de telhado verde Laminar Alto, esta pesquisa limitou-se a realização das caracterizações térmicas e mecânicas deste referido sistema modulado.

Com relação aos ensaios de compressão realizados nos três sistemas de telhado verde, foi levado em consideração o item 9.2.4 do capítulo de Segurança no uso e na operação da NBR 15575-5 (ABNT,2013) onde define que para a verificação de resistência ao caminhamento, atividade que ocorre nos momentos de operação de montagem e manutenção, a cobertura deve suportar uma carga vertical concentrada maior ou igual a 1,2kN, sem apresentar ruptura, fissuras e outras falhas.

Entretanto, o método avaliativo seguido nesta pesquisa é distinto ao descrito na norma de desempenho NBR15575-5, onde se fez uso da carga mínima de 1,2kN descrito no item de critério de avaliação, como referência da aptidão dos módulos ensaiados.

1.4 PROBLEMA

Com o aumento da construção sustentável como uma forma de integrar o meio ambiente ao meio construído e a ampliação na área das pesquisas buscando amenizar e reduzir os impactos ambientais ocasionados pela construção civil, Rangel (2015) explica que houve um aumento na utilização de telhados verdes nas coberturas das edificações de diferentes usos, ao longo dos anos.

Através da entrevista realizada com a Empresa A, observou-se os relatos das experiências e aprimoramentos obtidos ao longo dos anos na sua metodologia construtiva, comercialização e instalação dos sistemas de telhado verde.

Desta forma a pesquisa busca analisar os três sistemas de telhado verde modulados comercializados pela Empresa A, levando em consideração a percepção dos profissionais das áreas técnicas afins e de um programa experimental. Buscando responder à pergunta: Quais são as potencialidades e restrições dos sistemas modulados Alveolar Leve, Laminar Médio, e Laminar Alto?

1.5 OBJETIVOS

Neste tópico, serão mencionados os objetivos gerais e específicos do presente trabalho

1.5.1 Objetivo Geral

Compreender os impactos, potencialidades e restrições no uso dos sistemas de telhado verde modulados comercializados pela Empresa A, através do estudo de caso realizado na Intuição Universidade do Vale do Rio dos Sinos levando em consideração as percepções das áreas técnicas relacionadas ao projeto, execução, fiscalização e manutenção do empreendimento e por meio de um programa experimental de caracterização dos módulos poliméricos que compõe os três sistemas modulados.

1.5.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar entrevista com a Empresa A com o intuito de conhecer as potencialidades e restrições dos três sistemas de telhados verdes modulados comercializados;
- b) Realizar Caracterização mecânica através de ensaios de compressão nos três tipos de sistema de telhado verde modulados comercializados pela empresa A (Alveolar Leve, Laminar Médio e Laminar Alto);

- c) Realizar caracterização térmica dos materiais poliméricos utilizados nos três tipos de sistema de telhado verdes modulados comercializados pela empresa A (Alveolar Leve, Laminar Médio e Laminar Alto);
- d) Visita *in loco* nas coberturas da Unisinos onde foram instalados os dois sistemas de telhado verde (Alveolar Leve e Laminar Médio);
- e) Analisar as experiências e as percepções dos profissionais das áreas técnicas envolvidas na instalação dos sistemas de telhado verde instalados na Unisinos.

1.6 JUSTIFICATIVA

A crescente busca da implementação da construção sustentável está fazendo com que mais pesquisas sejam desenvolvidas a partir do conceito da biofilia que busca trazer novamente a natureza para próximo da rotina dos seres humanos. Este conceito, juntamente com o ideal de sustentabilidade, foi deixado de lado por muitos anos, ocasionando o adoecimento da sociedade de diversas formas.

O telhado verde vem sendo utilizado como uma alternativa para levar os espaços verdes novamente para o meio urbano trazendo consigo inúmeros benefícios para a população e amenizando a degradação ambiental. Contudo deve-se atentar para os requisitos mínimos para sistemas de coberturas para edificações habitacionais, estabelecidos pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013). Devido à grande concorrência do mercado, o cumprimento das diretrizes da norma resulta em maior credibilidade e confiabilidade de clientes cada vez mais exigentes, visto que a certificação atesta o desempenho para que haja uma construção com melhor qualidade. Para Bonin (2015) a norma de desempenho possibilitou uma grande melhora na construção civil, se tornado parâmetro para uma melhora gradativa da qualidade, tanto dos materiais fornecidos, quanto das empresas construtoras.

O desenvolvimento desta pesquisa, visa compreender e aprofundar o conhecimento das técnicas utilizadas nos telhados verdes modulados comercializados pela Empresa A. Direcionando esta pesquisa para o âmbito da norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), através da análise técnica dos profissionais envolvidos no empreendimento de estudo e por meio de caracterizações experimentais. Esta pesquisa busca contribuir para a qualidade do produto

comercializado através dos resultados obtidos, visa-se também colaborar para as pesquisas futuras, visto a escassez de trabalhos realizados sobre este tema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, apresenta-se uma revisão da bibliografia sobre o tema objeto de estudo, compreendendo os tópicos relacionados ao telhado verde, como sua evolução histórica, classificações, potencialidades e restrições.

As denominações encontradas na literatura para o tema para utilização de vegetação em coberturas são coberturas verdes, teto-jardim, telhados verdes, tetos verdes ou vivos, coberturas ecológicas, ajardinadas, vegetadas, jardins suspensos e até mesmo, *green roofs*.

Neste trabalho, será adotada a designação telhados verdes, ao invés de coberturas verdes como sugere a NBR 15575 (ABNT, 2013) visto que é a denominação mais recorrente tanto na literatura nacional como estrangeira.

2.1 SISTEMAS DE COBERTURA

Neste capítulo será apresentado as funções, definições e nomenclaturas utilizadas para uma cobertura.

2.1.1 Funções da cobertura

A NBR 15575-5 (ABNT, 2013) conceitua os sistemas de cobertura como parte fundamental das edificações, tendo como principais contribuições a preservação da saúde de seus usuários e o auxílio e proteção dos demais sistemas que compõe a edificação, tendo influências diretas na durabilidade das construções. As coberturas dificultam a infiltração de umidade decorrentes das condições climáticas para os ambientes construído, prevenindo a degradação da construção, como apodrecimento, fissuras e corrosões.

Para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988), cobertura pode ser definida como “[...] parte superior da edificação que a protege das intempéries [...]”. Guerra et al. (2010) inclui à esta definição, que as coberturas têm

como função o isolamento térmico e a acústico do empreendimento além de potencialidades econômicas e visuais para a edificação.

Segundo Cardão (1981) é possível concluir que a cobertura “[...] deverá apresentar propriedades isolantes, principalmente de isolamento térmico, para que possa ser atingido o máximo de comodidade e conforto no interior dos edifícios.”. Para o autor, as coberturas são totalmente inclusas à arquitetura em edificações de menores alturas, agregando valor e destacando-se pelo tipo de estética.

2.1.2 Definições

Reis e Souza (2007) destacam e evidenciam a inexistência de coerência no âmbito das definições utilizadas na literatura para coberturas. Para Meneguetti (2001 apud REIS; SOUZA, 2007) o uso dos termos coberturas e telhados são utilizados corriqueiramente de forma redundante, como se tivessem significados semelhantes, tanto na linguagem leiga quanto em literaturas técnicas.

Os autores Moliterno (2010) e Borges (2009) adotam o termo cobertura para conceituar o plano de vedação composto por telhas, denominando o sistema de fechamento do empreendimento de telhado. Moliterno (2010), porém, explica que “[...] nem todo sistema de proteção superior de um edifício, obrigatoriamente, constitui-se num telhado como, por exemplo, lajes com espelho d’água, terraços e jardins suspensos.”. É possível constatar inúmeras coberturas que se diferenciam de telhados e lajes planas, como coberturas tensionadas, cascas e cúpulas.

Para este trabalho utiliza-se as seguintes definições indicadas de forma integral pela NBR 15575 (ABNT, 2013):

- a) cobertura: parte superior da construção, sistema de fechamento, serve como proteção para chuva, ventos e sol;
- b) telhado: é constituído por uma estrutura onde seu cobrimento é feito por um conjunto de telhas que podem ser de materiais diversos, como cerâmica, fibrocimento, concreto, zinco, metálica, vidro etc.;
- c) laje de cobertura: normalmente de concreto, impermeabilizada para impossibilitar a entrada de umidade e água/umidade para dentro da edificação. Dependendo do método construtivo, após a impermeabilização é feita uma camada proteção mecânica a fim de proteger a impermeabilização. Sua inclinação é menor ou igual a 5%;

- d) **terraço:** cobertura onde o trânsito de pessoas é possível, ambiente habitável, onde área foi dimensionada de forma a possibilitar o acesso para a desenvolvimento de atividades no local.

2.2 TELHADO VERDE (*GREEN ROOF*)

As origens dos telhados verdes compreendem-se no passado, onde havia o hábito de “plantar jardins suspensos em arcos ou telhados”. Seu grande desenvolvimento ocorreu no Oriente, nesta região, devido aos eventos climáticos, matéria prima disponível e modo de vida, resultou em estilos arquitetônicos adaptados ao local. Os relatos de telhados verdes neste contexto datam de 900 a.C. (OSMUNDSON, 1999).

Contudo, Osmundson (1999) menciona que o exemplo mais famoso de telhado verde já utilizado foi provavelmente o dos Jardins Suspensos da Babilônia (Figura 1), instalados sobre o palácio do rei assírio Nabucodonosor II, ao que tudo indica era constituído por uma série de telhados verdes plantados sobre arcos, supostamente irrigados pelo Rio Eufrates.

Figura 1 – Representação dos Jardins Suspensos da Babilônia



Fonte: (Geocities, 2007)

Os telhados verdes vêm sendo utilizados há vários séculos, tanto em temperaturas baixas como as regiões da Escandinávia e Islândia, lugares percursoros no uso da tecnologia, quanto em países quentes como a Tanzânia (Figura 2).

Figura 2 – Casa Hehe Tanzânia



Fonte: (Minke, 2004)

As aplicações do telhado verde eram utilizadas nos países frios como a Islândia com o intuito de garantir o isolamento térmico das casas, sem existir a necessidade de uso de calefação (MINKE, 2004). Nascimento (2008) comenta que a utilização desta tecnologia na Islândia ocorreu por falta de materiais tradicionais, resultando no uso de recursos naturais locais, como grama e pedras para a construção das casas. Estas residências islandesas compostas de terra com cobertura gramada (*turf houses*) se disseminaram pela Escandinávia, com a popularização de casas de estrutura de madeira com telhados de grama. (Figura 3)

Devido seus efeitos positivos como armazenamento térmico e isolamento de calor, casas gramadas e telhados de grama foram se popularizando e sendo construídas em zonas frias da Islândia e Escandinávia. Atualmente construções agrícolas são realizadas com telhados de grama na Escandinávia, utilizando painéis de fibrocimento ou inúmeras camadas de asfalto sob a camada de terra (ROHBACH, 2004).

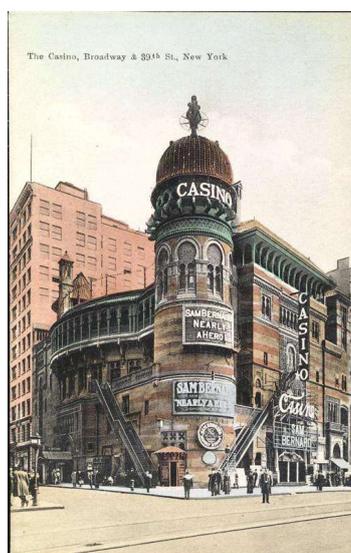
Figura 3 – *Turf house* Islândia

Fonte: (Canadian encyclopedia, 2017)

Durante a idade média o uso dos telhados verdes na Europa foi amplamente difundido, tendo como principais objetivos à conservação de água e à produção de alimentos pois, durante essa época, os espaços para plantio e produção de alimentos eram limitados. (SAVI, 2012).

Segundo Osmundson (1999), o teatro *Rudolph Aronson's Casino Theater* (figura 4), construído em Nova York em 1880, foi o primeiro local destinado a espetáculos que incorporou o uso de telados verdes em coberturas. Devido ao sucesso do projeto, a ideia do uso de um terraço jardim integrado dos arquitetos Kimball & Winsedell logo foi copiada por outros empresários, como por exemplo o complexo *Olympia*, construído na Broadway e inaugurado em 1895 foi projetado pelos arquitetos J. B. McElpatrick e Sons, contemplava dois teatros, uma sala de concerto e o terraço jardim.

Figura 4 - Rudolph Aronson's Casino Theater 1880



Fonte: (Museum of the city of New York, 2019)

A utilização de telhados verdes ou *toit-jardin* como era denominado pelo arquiteto Le Corbusier, teve seu grande auge no modernismo, onde foi elencando como um dos cinco princípios do modernismo. Assim passou-se a revitalizar locais mal aproveitados das coberturas como uma forma de integração entre a edificação e a natureza. Infelizmente a recorrência de alguns problemas como infiltrações e o acréscimo de peso em cima da laje fizeram com que a técnica de colocação de vegetação nas coberturas fosse menos difundida nas construções modernistas e pós-modernistas (SAVI, 2012).

As técnicas de impermeabilização utilizadas atualmente ainda não estavam disponíveis, patologias relacionadas aos tipos de vegetação como danos nas impermeabilizações das lajes devido as raízes de vegetações impróprias para o local, o que demandava grandes reparos (NASCIMENTO, 2008)

As seguintes afirmativas eram difundidas:

- a) as coberturas dos prédios não eram dimensionadas para atribuição de cargas adicionais;
- b) o uso das técnicas da construção de coberturas vegetais envolviam custos adicionais elevados;
- c) os telhados verdes necessitavam de um arranjo estrutural mais robusto do que telhados convencionais;
- d) o conhecimento sobre estrutura das coberturas vegetais, das plantas apropriadas e de como fazer a manutenção de forma adequada era limitado.

Em 1977, na Alemanha a *Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau – FLL* (Sociedade de Pesquisa em Desenvolvimento e Construção da Paisagem) implantou diretrizes para o Planejamento, Execução e Manutenção de Locais com Telhados Verdes. A regulamentação foi inserida nos municípios alemães por suas administrações fazendo com que as coberturas vegetais deixassem de ser apenas ornamentais, e começassem a ser utilizadas em controles de enchentes, redução de poluição do ar e consumo energético das edificações. (OSMUNDSON, 1999).

A Alemanha é um dos países que está a frente, tanto no desenvolvimento, quanto na utilização do telhado verde. No país a indústria deste seguimento continua crescendo, de 1994 a 2001 a metragem de área construída utilizando cobertura vegetal passou de 9 para 13,5 milhões de m². Dentre os demais países estão a Áustria

e Suíça que aderiram o seu uso principalmente como uma forma de prevenção de incêndios após a Segunda Guerra Mundial (CANERO e REDONDO, 2010).

Toronto, no Canadá, foi a cidade pioneira na exigência da instalação de telhados verdes em novas edificações, sendo obrigatórios por lei para construções com mais de 200m² de área construída.

Como forma de demonstrar as perspectivas de melhora após a publicação da Lei, os alunos da Universidade de Toronto no ano de 2012 dividiram o cenário em três partes, com o intuito de analisar o contexto atual (ano de 2012), um ano após a Lei entrar em vigor e por último, o cenário mostrando após dez anos (RANGEL; ARANHA; SILVA, 2015). (Figura 5)

Figura 5 - Ilustração dos cenários: atual, um ano e dez anos após a Lei de instalação dos telhados verdes.



Fonte: (Rangel; Aranha; Silva, 2015)

No Brasil, o uso do telhado verde é relativamente novo, o campo de pesquisa nacional neste assunto ainda é restrito, a maioria dos estudos já desenvolvidos sobre o assunto, tem como principal objetivo a quantificação e a atuação do telhado verde

na redução de enchentes ocasionados pelas chuvas e na diminuição da temperatura média das cidades altamente urbanizadas. Para Rego (2011) considera que a técnica de utilização do telhado verde foi pouco difundida dentro da arquitetura residencial brasileira devido a questões climáticas, problemáticas devido a mão de obra especializada e patologias nas lajes impermeabilizadas.

Osmundson (1999) destaca que os telhados verdes estão presentes com exemplos importantes na arquitetura modernista brasileira em sua grande maioria em prédios institucionais. Em 1947, o edifício do Palácio Capanema foi considerado um marco no estabelecimento da arquitetura moderna brasileira, tendo sido projetado por uma equipe composta por Lucio Costa, Carlos Leão, Oscar Niemeyer, Affonso Eduardo Reidy, atualmente o Palácio é a sede Ministério da Educação (CANERO e REDONDO, 2010). No mesmo ano o arquiteto paisagista Roberto Burle Marx defensor da técnica no Brasil, ganhou reconhecimento ao ser convidado para projetar o jardim sobre a sala de exposição do Palácio Capanema (OSMUNDSON, 1999). (Figura 6)

Figura 6 – Ministério da Educação e Cultura – Rio de Janeiro



Fonte: (Savi, 2015)

Garrido Neto (2016) afirma que já foram realizados grandes esforços para regulamentar o uso de telhados verdes em alguns locais do país, como o estado de Santa Catarina, pela Lei nº 12.243, de 2007, no estado do Rio de Janeiro por meio da Lei nº 6.349, de 2012, e também nas cidades Recife e de São Paulo pelas leis nº 18.112 e Lei nº 16.277 respectivamente, ambos no ano de 2015.

Segundo o autor,

a Lei Estadual do Rio de Janeiro promove a construção de telhados verdes apenas em prédios públicos, autarquias e fundações [...] projetados a partir

da promulgação da referida Lei. Já a Lei Estadual de Santa Catarina cria o Programa Estadual de Incentivo a Adoção de Telhados Verdes em espaços urbanos densamente urbanizados, porém não explicita em que ocasiões às coberturas verdes devem ser adotadas nos projetos. A Lei Municipal de Recife impõe a implantação de coberturas verdes em edificações habitacionais multifamiliares com mais de 400 m² de área coberta. Já a Lei do Município de São Paulo não especifica em que locais devem ser previstos os telhados verdes, mesmo que no Projeto de Lei nº 115/2009 indicasse que os telhados verdes deveriam ser projetados em condomínios edificadas, residenciais ou não, com mais de 3 (três) unidades agrupadas verticalmente (GARRIDO NETO, 2016).

Segundo a Ecotelhado (2012) no estado do Rio Grande do Sul também existem regulamentações no uso de telhados verdes, como na cidade de Canoas Lei nº 5840, de 2014 que prevê o uso de telhados verdes como forma de compensar parcialmente a área livre obrigatória.

Todos os prédios do Município de Canoas sejam eles residenciais, comerciais ou públicos, projetados e construídos a partir da promulgação da presente Lei, poderão prever a instalação de sistema de Telhado Verde sobre suas coberturas com o fim de compensar parcialmente a construção sobre Área Livre Obrigatória mínima necessária para o terreno.

A Lei Municipal da cidade de Porto Alegre nº 734 de 27 de outubro de 1992 recebeu a inclusão do artigo 222-A em 2014, segundo a Ecotelhado (2012):

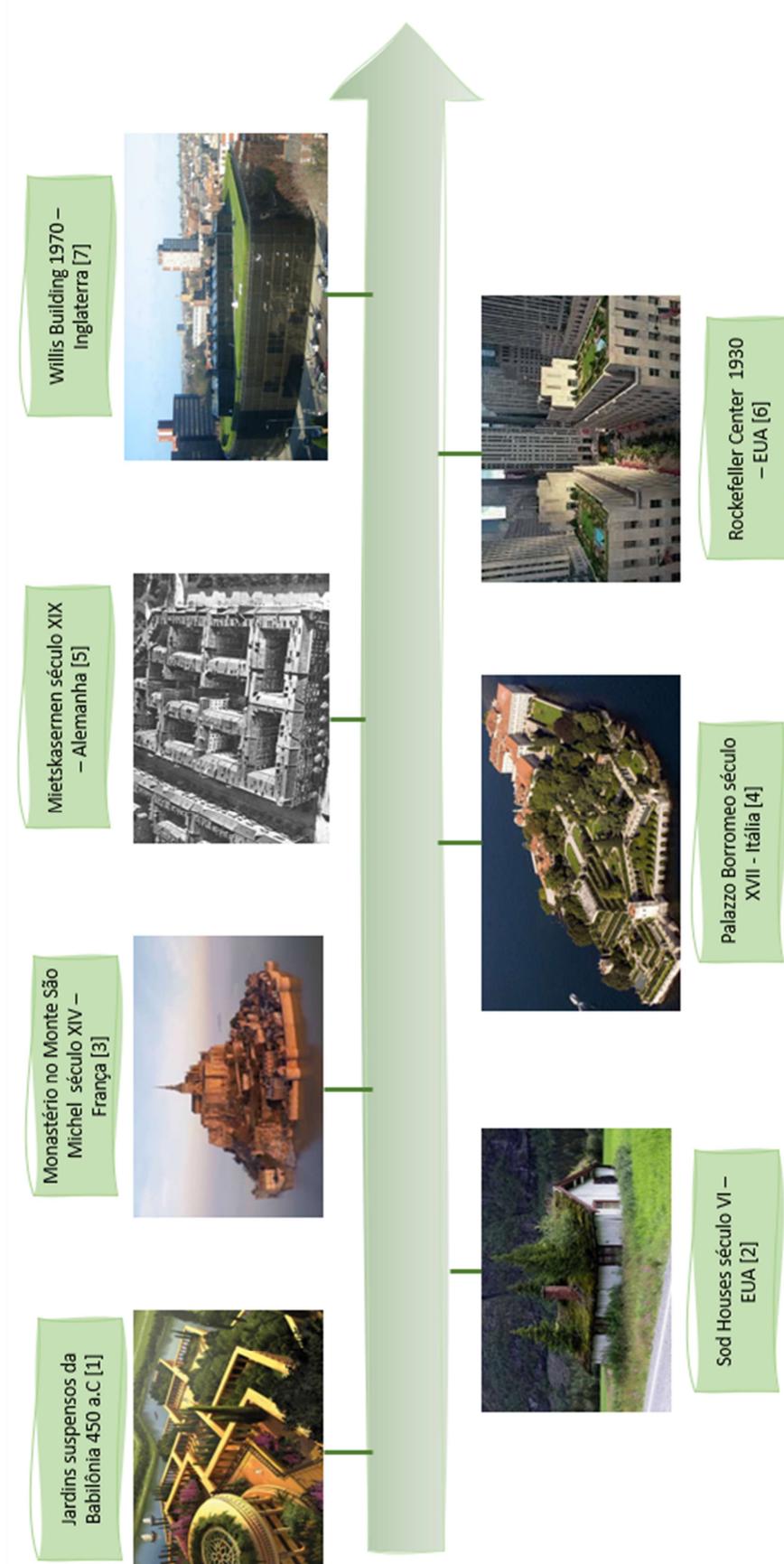
Fica permitido o uso de telhado verde sobre lajes e demais coberturas do último pavimento de edificações, em conformidade com o detalhamento técnico previsto em legislação regulamentadora específica. Parágrafo único. O telhado verde deverá ter vegetação natural extensiva e não configurará pavimento utilizável, reservada a área para circulação de acesso ao equipamento técnico.

Mesmo não sendo uma técnica recente, se faz necessário para a instalação do telhado verde o conhecimento do processo construtivo, assunto que será abordado neste tópico.

Como havia sido mencionado no início deste capítulo, a inserção dos telhados verdes na sociedade vem sendo realizada desde os primórdios da civilização e em conjunto ao aprimoramento da técnica, a utilização deste método construtivo de cobertura vem sendo diretamente relacionada a sustentabilidade, assunto que será visto no próximo subcapítulo.

Com o intuito de resumir e ilustrar, as imagens 07 e 08 mostram a linha do tempo da utilização e aprimoramento da utilização dos telhados verdes. Onde, segundo Osmundson (1999) acredita-se que este uso teve início no ano de 450 a.C.

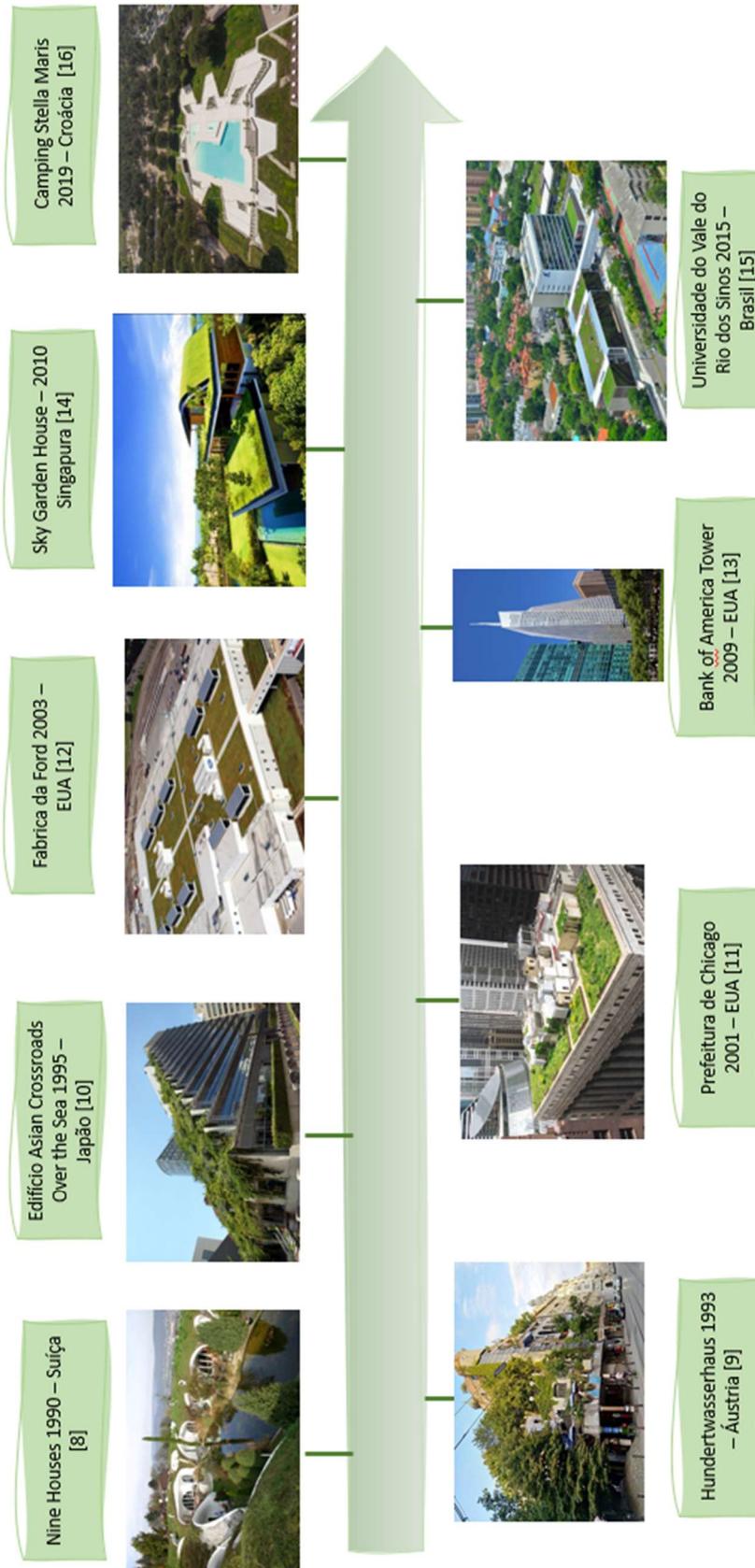
Figura 7 – Evolução dos telhados verdes até 1970



Fonte: Elaborado pelo autor

- [1] Jardins Suspensos da Babilônia (Geocities, 2007)
- [2] Sod Houses (Canadian encyclopedia, 2017)
- [3] Monastério no Monte São Michel (Archdaily, 2014)
- [4] Palazzo Borromeo (Borromeo Islands 2004)
- [5] Mietskasernen (Berliner Landesdenkmalamt, 2007)
- [6] Rockefeller Center (Rockefeller Center, 2008)
- [8] Nine Houses (Greenroofs, 2007)
- [9] Hundertwasserhaus (Hundertwasserhaus, 2003)
- [10] Edifício Asian Crossroads Over the Sea (Archello, 2005)
- [11] Prefeitura de Chicago (American Society of Landscape Architects, 2006)
- [12] Fábrica da Ford (Greenroofs, 2003)
- [13] Bank of America Tower (Greenroofs, 2008)
- [14] Sky Garden House (Archdaily, 2010)
- [15] Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Ecotelhado, 2015)
- [16] Camping Stella Maris (Archdaily, 2019)

Figura 8 – Evolução dos telhados verdes dos 90 à atualidade



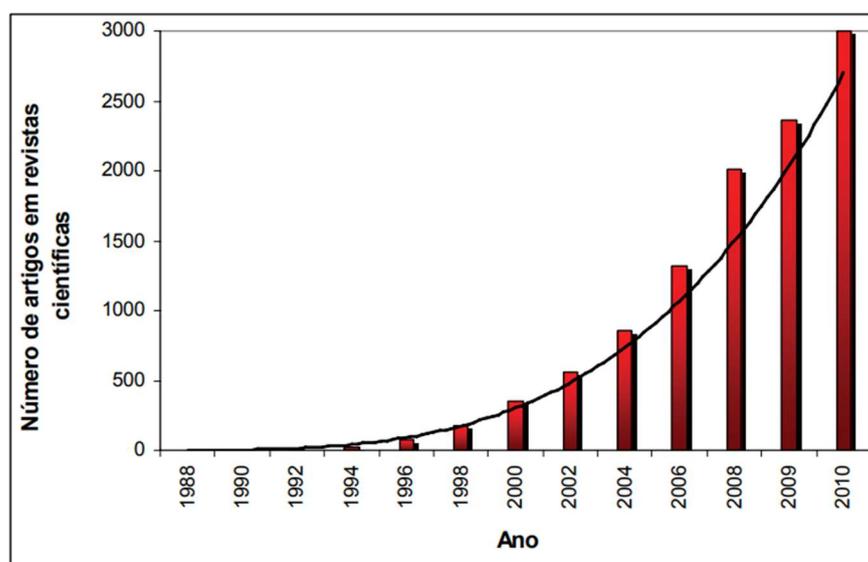
Fonte: Elaborado pelo autor

2.2.1 Sustentabilidade

Hoje a sustentabilidade se faz necessária e obrigatória, sendo como uma garantia de desenvolvimento tanto econômico quanto social das atuais gerações, sem que haja maiores comprometimentos do meio onde vivemos, para que as futuras gerações consigam atender suas próprias necessidades (ONU, Comissão Brundtland, 1987).

Torgal e Jalali (2010), comparam a partir do Relatório de Brundtland (1987) onde foi apresentado pela primeira vez o termo “desenvolvimento sustentável” havendo um aumento no número de pesquisas utilizando este termo tanto no título quanto no resumo e palavras chave de artigos publicados como apresentado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Evolução do número de artigos contendo as palavras “desenvolvimento sustentável” no título, no resumo ou nas palavras-chave



Fonte: (Torgal e Jalali, 2010).

Com base no gráfico podemos observar que nos primeiros anos foram realizadas poucas pesquisas relacionadas ao tema do desenvolvimento sustentável, e com o passar dos anos a curva teve um aumento considerável chegando próximo dos 28 mil artigos no ano de 2010 onde podemos concluir um aumento na dedicação da comunidade científica ao assunto, fazendo valer a reflexão em que devemos procurar o equilíbrio entre o bem estar humano e os impactos ambientais causados pelo homem

Atualmente os conceitos de sustentabilidade vêm sendo discutidos amplamente, a inserção destes princípios estão se fazendo cada vez mais necessários para que se possa garantir o equilíbrio biológico, social e econômico através da estruturação da construção civil.

Costa (1982) descreve equilíbrio ecológico sendo:

O equilíbrio do tipo lábil que resulta da interação entre os organismos vivos e o meio, pelo qual constantemente se restabelece tudo aquilo que é consumido. Nesse processo contínuo de destruição e renovação é que se abrem as possibilidades para o aprimoramento, para a evolução (COSTA, 1982).

Para o autor a arquitetura ecológica é definida como: “a arte de construir habitações aproveitando, na luta contra o desconforto criado pelo meio, apenas os recursos imediatos propiciados pela própria natureza, sem alterar o equilíbrio ecológico do mesmo” (COSTA, 1982).

Com o custo baixo de energia e abundância de petróleo, os conceitos de sustentabilidade como o conforto térmico e iluminação natural foram sendo deixados de lado, adotando-se sistemas artificiais de iluminação e térmicos para suprir as necessidades da globalização. A arquitetura bioclimática surgiu após a crise do Petróleo de 1973, onde voltou-se a discutir sobre fontes alternativas de energia sustentável, onde se fez necessário um novo conceito de sustentabilidade dentro da arquitetura (CORBELLA e YANNAS 2003)

Na década de 80, devido as gradativas mudanças climáticas a preocupação com o meio ambiente aumenta. As taxas de redução da camada de ozônio, geração de gases aumentando o efeito estufa, as grandes metrópoles ficando com aspectos acinzentados tornam-se aspectos aparentes nesta época. Já na década de 90, foi marcada pelo período com as maiores temperaturas então já registradas. No século XXI, a urbanização, juntamente com o aumento de novas construções, trouxeram consigo grandes preocupações para o planeta, crise energética, efeito estufa, aumento descontrolado de emissão de CO₂, diminuição gradativa de combustíveis fósseis e racionalização de água, são alguns dos problemas que o mundo está se deparando onde tenta-se buscar alternativas e soluções sustentáveis que se equilibrem com a realidade das cidades com taxas de crescimento populacional exponenciais. (ROAF, 2006).

Conforme Benini e Menciondo (2015) a urbanização de forma desorganizada sem as determinadas diretrizes de ocupação é uma das grandes causas na alteração do ciclo hidrológico, este impacto ocasiona mudanças na drenagem o que elava as chances da ocorrência de enchentes e deslizamentos, impondo riscos à saúde e a vida humana. Para Catuzzo (2014) os grandes espaços que estão sendo urbanizados nas cidades de forma desordenada estão gerando problemas ambientais severos que em um curto período de tempo já causou grandes impactos como: impermeabilização do solo ocasionando enchentes, efluentes sanitários sendo descartados de forma incorreta sem os tratamentos necessários poluindo a água, excesso de veículos e fábricas aumentando a emissão de poluentes na atmosfera, diminuição de áreas verdes ocasionando ilhas de calor. Todos estes exemplos são fatores que resultam numa queda de qualidade de vida no meio urbano

Pelos mais variados motivos, como maiores oportunidades de emprego, a população está optando em residir em grandes centros urbanos, locais adoecidos pelo excesso de emissão de poluentes, com grandes áreas impermeáveis sem escoamento superficial e sem cor. Diante dessa realidade, os telhados verdes têm um grande papel no meio urbano com o intuito de aumentar a permeabilidade e a área vegetada (FERRAZ, 2012).

Para Montaner (2001), durante sua maior parte na evolução da história, a arquitetura buscou integrar a natureza ao meio construído, buscando valorizar os elementos existentes e os aspectos topográficos do ambiente, adaptando a natureza ao meio urbano.

Tendo como objetivo reaver a importância da conexão do homem com a natureza, surge o design biofílico, uma maneira de projetar os lugares em que vivemos e trabalhamos de forma a satisfazer nossa necessidade, profunda e fundamental, de estarmos conectados à natureza.

2.2.2 Construção sustentável

Em um contexto geral, o processo de urbanização está diretamente ligado ao crescimento populacional, as cidades estão sendo adensadas de forma radical, trazendo consigo mudanças drásticas na paisagem e ocasionando impactos ambientais que estão relacionados ao aumento de temperatura nos centros urbanos. Estudos realizados sobre Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática,

estabelecido em 1988, pela Organização Meteorológica mundial – OMM, ressalta a possibilidade que até 2100 a temperatura média do planeta tenha um aumento de 1,8°C (SANTOS et al. 2017).

Para Roaf (2006) as edificações são os poluentes mais prejudiciais ao meio ambiente, utilizando mais da metade de toda a energia usada nos países desenvolvidos e compondo uma grande parte de todos os gases que ao longo do tempo estão modificando o clima.

Com base nos dados mostrados pela divisão de população da ONU (2011) atualmente a população urbana representa 51% da população mundial, onde em 61 anos (de 1950 a 2011) a população urbana passou de 730 milhões para 3,6 bilhões de habitantes.

Os dados acima relatados demonstram a necessidade de se explorar soluções sustentáveis nos centros urbanos, com o aumento gradativo da urbanização se faz necessário o estudo de viabilidade para que haja uma solução adequada nas construções já existentes tendo como principal objetivo estudar os impactos ambientais para que seja possível reduzir os problemas decorrentes da ocupação desorganizada do solo. Alves (2012) ressalta que a realização da construção de cidades ecológicas se torna um processo relativamente fácil, se comparado com a necessidade de tornar uma cidade já existente sustentável, objetivando a redução de carbono e minimização do impacto ambiental.

A indústria da construção civil é um dos motores que movimentam a economia, tendo grande impacto tanto na geração de emprego, comercialização de produtos, quanto no fornecimento de novas tecnologias tendo como objetivo final satisfazer as necessidades humanas. Entretanto, a construção civil é um dos principais setores causadores dos impactos ambientais, desde o consumo de recursos naturais para produção de insumos (materiais não renováveis), mudanças inadequadas do uso do solo, até a geração de resíduos (HEWAGE, 2011).

A Agenda 21 tem como principal objetivo o planejamento para a construção de sociedades sustentáveis. Com base no plano realizado pela Agenda 21 Brasileira quanto as ações mitigadoras com o intuito de promover atividades ecologicamente sustentáveis através da construção civil descreve-se:

“As atividades do setor da construção são vitais para a concretização das metas nacionais de desenvolvimento socioeconômico: proporcionar habitação, infraestrutura e emprego. Ao mesmo tempo, por meio do

esgotamento da base de recursos naturais, da degradação de zonas ecológicas frágeis, da contaminação química e do uso de materiais de construção nocivos para a saúde humana, elas podem ser uma fonte importante de danos ambientais” (AGENDA 21, 2002).

Desta forma sugere-se:

“Adotar normas e outras medidas regulamentadas que promovam um uso mais intenso de projetos e tecnologias que façam uso da energia de forma eficiente e que utilizem os recursos naturais de forma sustentável e adequadamente, tanto do ponto de vista econômico como ambiental” (AGENDA 21, 2002)

De acordo com Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2017), a construção civil é responsável por 6,2% do PIB do país, seu principal objetivo é garantir as atender as necessidades básicas de moradia da população, suas técnicas e processos estão cada vez sendo mais estudas e aprimoradas tendo como enfoque principal garantir maior eficiência da inserção da sustentabilidade nos métodos construtivos. Para Zampieri (2018) “surge aí o maior desafio da sustentabilidade: preservar e manter o desenvolvimento tecnológico sem exaurir os recursos naturais do planeta.” Pinheiro (2003) alega que o conceito de construção sustentável ainda é algo novo para a indústria o que gera inúmeras formas de interpretação sobre o tema.

Araújo (2007) conceitua a construção sustentável como:

Construção Sustentável é um sistema construtivo que promove alterações conscientes no entorno, de forma a atender as necessidades de edificação, habitação e uso do homem moderno, preservando o meio ambiente e os recursos naturais, garantindo qualidade de vida para as gerações atuais e futuras.

A exponencial degradação do meio ambiente, o aumento gradativo da poluição, a diminuição das áreas permeáveis nas cidades causando alagamentos são apenas algumas das preocupações que a indústria da construção civil vem se deparando, forçando as empresas a investir em pesquisas inovadoras tendo opções sustentáveis para garantir sua sobrevivência no mercado (FLORIM e QUELHAS, 2005).

2.2.3 Potencialidades e restrições do sistema de telhado verde

Para Minke (2004), a utilização dos telhados verdes e jardins poderiam possibilitar uma melhora significativa no ambiente das cidades, através da purificação do ar, redução de poeira nos ambientes e uma menor variação de temperatura nos

centros urbanos. Afirma ainda que se houvesse a utilização de 10% a 20% nas coberturas verdes já garantiria um clima urbano saudável.

Estudos recentes demonstram que o uso dos telhados verdes possibilitam inúmeros benefícios na gestão e qualidade do meio ambiente em centros urbanos, atuando como um receptor de poluentes e aumentando a biodiversidade, além dos substratos que fazem parte das coberturas vegetais serem de grande ajuda no controle do escoamento superficial das águas pluviais, através de processos de armazenamento de água no solo, diminuindo os impactos na impermeabilização das lajes (WILLES, 2014).

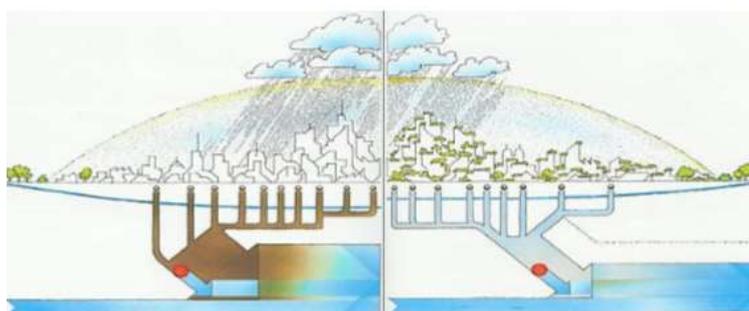
Os telhados verdes conferem inúmeros benefícios relacionados ao conforto ambiental, reduzindo drasticamente a temperatura e auxiliando na redução de ruídos, visto que a vegetação juntamente com o substrato ajudam na redução de transmissão como na redução de poluição sonora dentro das edificações, o que resulta na economia de energia (MOROMIZATO et al., 2016).

De acordo com Tassi et al. (2014), ecotelhados são benéficos na proteção contra a ação dos raios UV, efeitos de vento no telhado e na retração estrutural, fazendo com que a vida útil da estrutura aumente.

O reuso da água da chuva é uma das vantagens que o telhado verde também pode proporcionar, além da economia nos gastos de água potável, as cisternas auxiliam na redução das enchentes nas cidades. Além de acrescer biodiversidade e ser uma área com potencial para cultivo de alimentos (JOHNSTON; NEWTON, 2004).

Para Rola (2008) as vantagens da utilização de coberturas vegetais em superfícies construídas são mais expressivas quando correlacionadas aos aspectos econômicos, ambientais e sociais, onde consequentemente convergem indiretamente com a melhoria na qualidade de vida.

Figura 9 - Comparação entre os ecossistemas urbanos



Fonte: (Greenroof, 2006)

O número de restrições na utilização do telhado verde é bem menor se comparado as suas potencialidades de seu uso. Neto (2012) ressalta que as potencialidades do telhado verde expressivas quando relacionadas a aspectos econômicos, sociais e ambientais.

As restrições mais significativas ao uso do telhado verde estão correlacionadas segundo (SANTOS, et al., 2016) nas questões financeiras onde lava-se em consideração a implantação do sistema e manutenção onde se tem um custo elevado quando comparado a um telhado convencional de fibrocimento ou de telhas cerâmicas.

Além de ser um sistema construtivo mais caro outras restrições na utilização do telhado verde elencadas por Lopes (2007) são os surgimentos de biodiversidade indesejadas, mão de obra qualificada e escassa, reforços estruturais devido ao seu peso específico e complexidade no sistema de escoamento de alguns tipos de sistemas telhado verde.

Lopes (2007) contrapõe que mesmo tendo um maior custo inicial, o sistema de telhado verde a longo prazo compensa devido ao auxílio na economia de energia e água, além de proporcionar uma vida mais longa para o sistema estrutural da edificação. A Tabela 1, correlaciona as potencialidades e restrições no uso do telhado verde.

Tabela 1 – Potencialidades e restrições dos telhados verdes

	POTENCIALIDADES	RESTRICÇÕES
Econômicas	Diminuição do consumo de energia elétrica	Alto custo inicial
	Valorização do Imóvel	Mão de obra qualificada
Sociais	Melhora na qualidade do ar	Biodiversidade indesejada
	Retenção de águas pluviais	
	Diminuição de enchentes	
	Redução das Ilhas de Calor	
	Aumento das áreas verdes	
	Criação de hortas urbanas Restauração da biodiversidade	
Ambientais	Conforto Térmico e	
	Conforto Acústico	
	Conforto visual	
	Aumento de emprego por mão de obra específica Novas áreas de lazer	
Estruturais		Requer manutenção para os intensivos
		Biodiversidade indesejada
		Requer reforço estrutural

Fonte: Adaptado de Silveira, et al.,(2016) e Neto (2012).

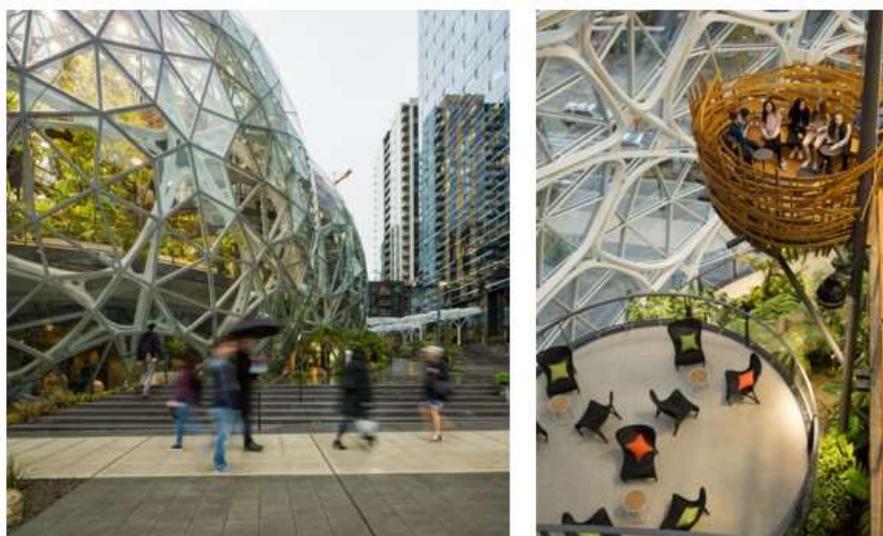
2.2.4 Design biofílico

Beatley (2010) caracteriza a biofilia como a ligação humana com o mundo natural, para ele a natureza em nossas vidas não é algo opcional, mas essencial, não deve ser vista como um lugar onde visitamos periodicamente, mas sim como algo onipresente no cotidiano da população urbana, tendo como objetivo, relaxar, acalmar, inspirar e elevar a vida urbana diariamente. Necessitamos da natureza para a nossa saúde, bem-estar e aspectos emocionais.

Evidências sugerem que a presença de espaços verdes tem impactos significativos na saúde da população. Pesquisadores desenvolveram um estudo envolvendo 10 mil pessoas na Holanda onde foi concluído que as pessoas mais próximas de ambientes verdes têm maiores níveis de saúde física e mental, concluindo que a saúde está diretamente relacionada a proximidade de ambientes naturais (BEATLEY, 2010).

O design biofílico é a forma de unir a natureza ao cotidiano urbano, onde é possível incluir ambientes naturais em locais como residências, escolas e ambientes de trabalho, isto é, projetar locais onde se passa grande parte da vida de maneira a suprir as necessidades de viver próximo a natureza. Incluindo a natureza de forma consciente na arquitetura, consegue-se reconectar o ambiente externo a todos os ambientes construídos (BEATLEY, 2010).

Figura 10 - Fachada e vista interna da Amazon Spheres



Fonte: (Seattle Magazine 2019)

Segundo Santos (2016), uma das premissas básicas das cidades biofílicas é fornecer a oportunidade de convívio diário da população com a natureza, desta forma os cidadãos serão mais saudáveis e produtivos em suas determinadas atividades.

Um estudo realizado na Dinamarca em 2007 ressalta a importância de haver a proximidade de parques e espaços verdes no meio urbano, estas características foram associadas a níveis mais baixos de estresse e menor probabilidade de obesidade (BEATLEY, 2010).

Características que compõe uma cidade biofílica (SANTOS, 2016):

- a) grandes espaços naturais, próximos de cidades muito populosas;
- b) relação direta entre cidadãos, fauna e flora;
- c) possibilidade/oportunidade de realizar atividades ao ar livre;
- d) estímulo para se adquirir uma vida sustentável, promovendo a educação sobre a natureza;
- e) desenvolvimento de uma cidade compacta e bem estruturada;
- f) proteção da biodiversidade;
- g) implementação de alternativas sustentáveis como forma de transporte;
- h) promover instalações de estruturas verdes, como parede e coberturas, de forma a reduzir as ilhas de calor.

Como mencionado por Santos (2016) uma das premissas básicas para uma cidade biofílica é promover o contato diário da população com a natureza. Este contato com a natureza acarreta em benefícios para saúde como por exemplo a redução do stress e da ansiedade (BEATLEY, 2010). Utilizando desta premissa, em Cincinnati nos Estados Unidos, o The Christ Hospital Joint e Spine Center foi projetado para que todos os quartos de pacientes tivessem a maior quantidade de luz natural possível utilizando janelas com a altura total do pé direito do andar. Já na parte superior do hospital, o empreendimento conta com um telhado verde (figura 11), com bancos para descanso e jardins, propiciando um ambiente tranquilo de repouso tanto para os pacientes quando para os seus familiares.

Figura 11 - The Christ Hospital Joint e Spine Center



Fonte: (Archdaily, 2015)

2.2.3.1 Novas ferramentas para promover cidades biofílicas

Em 2001 na Suécia foi fundado o Scandinavian Green Roof Institute, um centro para conhecimento de telhados e paredes verdes. Inicialmente sua tarefa principal era gerenciar o jardim botânico de Augustenborg, mas hoje, o instituto tem com intuito desenvolver pesquisas e produtos inovadores. (BEATLEY, 2010).

O local conta com uma extensão de possibilidades de sistemas de telhados verdes, onde é testado e monitorado diversas combinações de plantas e solos (figuras 12, 13 e 14). Algumas destas pesquisas são voltadas para telhados já existentes, chamados de telhados marrons, onde as plantas podem ser utilizadas para restaurar e até mesmo absorver poluentes em ambientes altamente contaminados e degradados. (BEATLEY, 2010).

O instituto é um lugar de inspiração, pesquisa e educação. Os telhados verdes foram instalados em 1999 com o apoio do Ministério Sueco do Meio ambiente. Atualmente, o instituto sueco é um dos precursores em variados tipos de pesquisas em telhados verdes, contando com mais de 20 áreas variadas com diferentes sistemas. Os telhados cobrem aproximadamente 9500 metros, sendo aberto ao público para visitas guiadas. (BEATLEY, 2010)

Figura 12 - Vista superior do Jardim Botânico de Augustenborg



Fonte: (Greenroof, 2018)

Figura 13 - Pesquisa de musgos em telhados verde



Fonte: (Greenroof, 2018)

Figura 14 - Telhado biodiverso



Fonte: (Greenroof, 2018)

Figura 15 - Teste de diferentes profundidades de substratos em telhados verdes



Fonte: (Greenroof, 2018)

A cidade de Portland, situada no noroeste dos Estados Unidos, considerada uma das dez cidades mais ecológicas do mundo, colocou em prática um projeto para beneficiar tanto a infraestrutura da cidade quanto aos seus cidadãos. Onde os habitantes realizam a instalação de telhados verdes em suas residências e quanto maior a extensão deste telhado melhor é o bônus oferecido pela prefeitura a eles (BEATLEY, 2010).

As cidades de Chicago e Seattle adotaram medidas semelhantes para incentivar o uso de telhado verde. Para que as novas construções de novos edifícios recebam melhores financiamentos, as edificações devem conter em seus projetos de aprovação telhados verdes em suas coberturas. (BEATLEY, 2010).

O Edifício Aqua (figura 16), localizado em Chicago é um exemplo de incentivo que a cidade oferece. O empreendimento foi projetado de acordo com a certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), cada andar da torre possui uma estética ondulada que recorda os afloramentos do calcário ao longo do Lago Michigan. O telhado verde foi inspirado no artista plástico e paisagista brasileiro Roberto Burle Marx, contemplando cerca de 8 mil metros quadrados de telhado verde, oferecendo ao empreendimento uma paisagem naturalista que além do conceito estético ajuda na redução da temperatura interior da edificação. O telhado inclui uma vegetação nativa de árvores com ciclo de vida longo (perenes), arbustos, variados tipos de gramas e árvores de folhas mortas. Sua irrigação é realizada através de um sistema controlado de gotejamento (ECOTELHADO, 2011)

Figura 16 – Aqua Tower



Fonte: (Ecotelhado, 2011)

Em 2009, Toronto se tornou a primeira cidade norte-americana a adotar o uso do telhado verde como requisito obrigatório nas edificações residências e comerciais com área construída maior a 2000 metros quadrados, onde o estatuto da cidade estabelece que quanto maior for a área construída maior será a porcentagem de uso do telhado verde. (BEATLEY, 2010).

O estabelecimento de padrões mínimos para uma cidade biofílica para a realização de novos projetos e bairros é uma estratégia possível. Utilizando de incentivos estratégias como incentivos, financiamentos, doações e empréstimos com o intuito de facilitar a aquisição de instalações verdes. (BEATLEY, 2010).

Em 2012, o Rio de Janeiro adotou uma legislação de incentivo a prédios mais verdes, onde os novos projetos realizados posteriormente adotam métodos construtivos menos agressivos ao meio ambiente fazendo uso de tecnologias de redução de energia elétrica e água. Esta proposta prevê benefícios como descontos de IPTU e ITBI, além de reduções em demais impostos, durante o período da obra e após o habite-se. Um exemplo é o edifício Marquês dos Reis (figura 17) que adotou o uso de telhado verde para captação de água (ECOTELHADO, 2012).

Figura 17 - Edifício Marques dos Reis – Rio de Janeiro



Fonte: (Ecotelhado, 2012)

Pesquisas indicam que o uso de elementos verdes no meio urbano produz uma economia e um retorno para seus proprietários, por exemplo na redução de custos no resfriamento de uma casa ou até mesmo aumentando o preço de venda do imóvel. Mas muitas vezes a aquisição é evitada devido ao seu alto custo inicial, inibindo os seus compradores. Esta barreira é superada em muitas cidades europeias e norte americanas onde os governos subsidiam e incentivam a instalação dos telhados verdes (BEATLEY, 2010).

Em Utrecht, uma cidade holandesa (Figura 18), foi desenvolvido um projeto para a instalação de telhados verdes em aproximadamente 320 pontos de ônibus, com o objetivo de melhorar a qualidade do ar, reduzir a temperatura nos pontos de ônibus e atrair abelhas favorecendo a biodiversidade. A vegetação instalada, capta a poeira fina e os gases produzidos pelos veículos além de armazenar de forma eficiente a água da chuva (ECOTELHADO, 2019).

Algumas cidades no Brasil, como Salvador (BA), Florianópolis (SC) e Caxias do Sul (RS), estão em processo de implementação dos telhados verdes em pontos de ônibus (ECOTELHADO, 2019). (Figura 19)

Figura 18 - Ponto de Ônibus em Utrecht



Fonte: (Greenme, 2019)

Figura 19 - Pontos de ônibus no Brasil



Fonte: (Ecotelhado, 2019)

2.2.5 Classificação do telhado verde

As coberturas vegetais, segundo Ugalde (2004), consistem na aplicação de uma camada vegetal sobre uma base impermeável, podendo ser uma laje impermeabilizada ou um telhado convencional, utilizando plantas adaptadas às condições da região.

Os sistemas de telhados verdes podem ser considerados como uma extensão de uma cobertura já existente, onde essa cobertura deverá comprimir alguns requisitos mínimos, como garantir um sistema eficaz de impermeabilização e repelente de raízes, conter um sistema de drenagem e suportar o sobrepeso do telhado verde. Podendo ser modular, contendo camadas de drenagem, filtros, substratos e a vegetação posicionadas em módulos intertravados ou cada componente do sistema pode ser instalado separadamente. Pode-se caracterizar o telhado verde como uma estrutura criada pelo homem distanciada do solo por um suporte específico, com o intuito de criar um espaço verde no meio urbano. (GRHC, 2006).

Para Peck et al. (1999), os telhados verdes podem ser caracterizados como acessíveis ou inacessíveis, onde a cobertura acessível é uma área apta para o uso de pessoas, como jardins ou terraços, esta característica valoriza a edificação agregando valor de mercado e favorece o lazer dos moradores. Já a cobertura verde inacessível restringe o uso da cobertura, sendo utilizada apenas para circulação de pessoas para visitas técnicas e manutenções, este tipo de cobertura pode ser plana, curva ou com variadas inclinações.

Desde os primórdios, o telhado verde traz consigo grandes utilidades para quem os adota, além de ser uma opção de construção sustentável tendo como objetivo a redução dos impactos ambientais. Pouey (1998) enfatiza que o estudo de viabilidade da utilização do telhado verde é de suma importância, pois a partir desta análise de dados relativos ao ambiente e a construção como clima, índices de chuva, impermeabilização, cargas estruturais, disponibilidade de vegetação e custos de manutenção é definida o telhado verde adequado. No entanto Britto Correa e González (2001) afirmam que a definição da vegetação a ser utilizada é o que irá estipular o tipo de cobertura e tecnologia de construção a ser empregada. Com base nestes critérios as coberturas podem ser classificadas como extensivas e intensivas

De acordo com as diferentes complexidades dos sistemas de telhado verde, o mesmo pode ser classificado em duas categorias: Extensivos e Intensivos. Os telhados constituídos pelos sistemas extensivos (figura 20), têm por sua vez vegetações mais leves, com pouca profundidade e de menor custo. Este tipo de cobertura é projetada com o objetivo de resistir a diferentes eventos climáticos, como chuvas e ventos fortes e radiação solar intensa, elas exigem poucas manutenções, irrigações e adubação (YANG; YU; GONG, 2008).

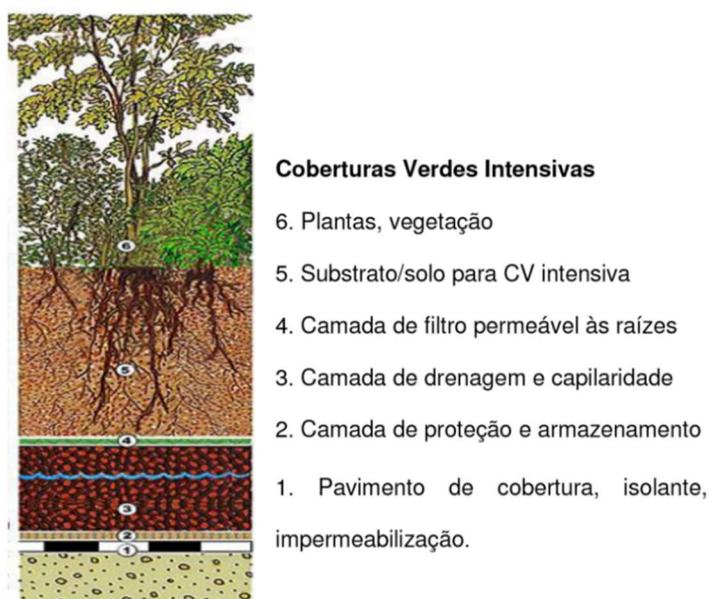
Figura 20 - Camadas do telhado verde extensivo



Fonte: (GreenRoof Service, 2019)

Os sistemas intensivos (figura 21) de maiores manutenções, apresentam um alto custo, são mais pesados e complexos comparados ao sistema extensivo, este sistema possui uma profundidade maior, podendo ser empregado o uso de plantas de maiores dimensões ou fazer uso de árvores, por este motivo se faz necessário um sistema de irrigação. Devido a sua maior espessura de substrato e suas propriedades de retenção e evapotranspiração serem melhores, este tipo de telhado verde é indicado para o controle de escoamento pluvial. (TASSI et al., 2014).

Figura 21 - Camadas do telhado verde intensivo



Fonte: (GreenRoof Service, 2019)

Figura 22 - Exemplo de telhado verde extensivo Planar House



Fonte: (Studio MK27, 2018)

Figura 23 - Exemplo de telhado verde intensivo



Fonte: (Savi, 2015)

A Tabela 02 adaptada de Pinhabel (2015) apresenta algumas características dos dois tipos de sistema a fim de comparar os telhados verdes extensivos e intensivos.

Para Baldessar (2012) por se tratar de uma cobertura sustentável, o recomendado para as edificações seria a implantação da cobertura extensiva, pois necessita de menores cuidados comparados ao sistema intensivo, devido sua necessidade de menor quantidade de solo a cobertura extensiva armazena pouca

quantidade de água o que reduz seu menor peso específico até mesmo nos períodos chuvoso.

Tabela 2 - Característica dos telhados verdes extensivos e intensivos

	Extensivo	Intensivo
Profundidade do substrato	2,5 – 15cm	15 – 40cm
Peso	60 – 240 kg/m ²	Acima de 240 kg/m ²
Vegetação	Plantas pequenas e gramados	Arvores e arbustos
Acessibilidade	Geralmente não acessível (apenas para manutenções)	Utilizado como uso frequente de usuários
Declividade	Alta (até 35°)	Baixa (até 3°)
Irrigação	Necessita pouca irrigação	Requer irrigação frequente
Manutenção	Pouca	Frequente

Fonte: Adaptado de Pinhabel (2015)

Os módulos poliméricos da empresa A podem compor telhados verdes intensivos e extensivos. Para uma melhor compreensão do seu uso, fez-se necessário um melhor entendimento de suas características físico-químicas.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS POLIMÉRICOS

Tanto as propriedades térmicas quanto mecânicas dos materiais poliméricos são de suma importância dentro do âmbito científico e tecnológico devido aos requisitos e exigências que os polímeros devem atender na sua grande diversidade de aplicações (CANEVAROLO, 2004).

2.3.1 Caracterização térmica

A análise térmica pode ser definida segundo Ionashiro (2004) como um conjunto de técnicas nas quais uma propriedade física é medida enquanto a amostra polimérica é submetida a um programa controlado de temperatura.

2.3.1.1 Análise Termogravimétrica (Tg)

Para Canevarolo (2004) a termogravimetria (TG) é caracterizada como uma técnica termoanalítica no qual se baseia através de alterações na massa da amostra

em estudo (tanto na perda como ganho de massa), determinada através da função da temperatura e/ou tempo.

No método da análise termogravimétrica convencional, as curvas geradas são os resultados a partir da massa da amostra (m) em função da temperatura (T) ou tempo (t), conforme a equação: (CANEVAROLO, 2004)

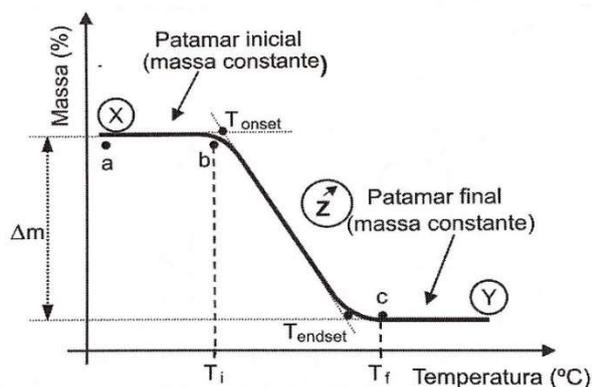
$$m = f(T \text{ ou } t)$$

A imagem abaixo ilustra uma curva TG onde o material analisado teve um processo de decomposição térmica em uma única etapa. Entre os pontos A e B nota-se que o material é termicamente estável, a partir do ponto B inicia-se o processo de decomposição térmica do material e a liberação do componente volátil Z. No ponto C que corresponde à T_f (temperatura onde a massa atinge o valor máximo) ocorre o término da decomposição do material juntamente com a total liberação do volátil Z e a estabilização do substância formada Y. A diferença $T_f - T_i$, ilustrada pelo degrau entre os pontos BC, permite obter conclusões quantitativas sobre a variação de massa sofrida pela amostra (Δm) em relação ao eixo horizontal do gráfico (CANEVAROLO, 2004)

Este processo de decomposição térmica ilustrado na imagem 24, pode ser representado pela equação de reação 2:



Figura 24 - Caracterização de uma curva TG de uma reação de decomposição térmica que ocorre em uma única etapa



Fonte: (Canevarolo, 2004)

2.3.1.2 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Para Ionashiro (2004) com o uso do técnico de calorimetria exploratória diferencial (DSC) é possível medir a diferença de energia fornecida à substância e a um material de referência, com relação da temperatura enquanto o material de referência e a substância são submetidos a uma determinada programação de temperatura.

Canevarolo (2004) explica que a diferença de temperatura entre a amostra (A) e o material de referência (R) quando ambos são submetidos de forma rigorosa e controlada pode ser equacionada da seguinte forma:

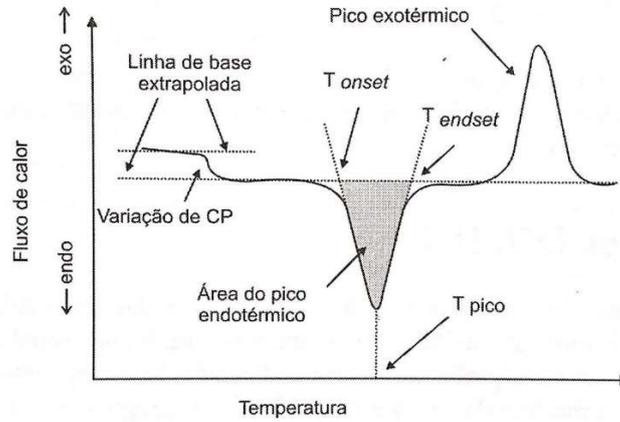
$$\Delta T = T_A - T_R$$

Segundo Ionashiro (2004), existem dois métodos de medições utilizados atualmente: calorimetria exploratória diferencial com compensação de potência e calorimetria exploratória diferencial com fluxo de calor. Utilizando estas técnicas pode-se acompanhar as alterações físicas ou químicas decorrentes do efeito de calor, como por exemplo transições de fases (fusão, ebulição, sublimação) (figura 25), de forma resumida as transições de fase podem ser relacionadas a efeitos endotérmicos ou exotérmicos.

Canevarolo (2004) complementa dizendo que a calorimetria exploratória diferencial é a técnica que acompanha as mudanças do calor na amostra, onde observa-se estas mudanças durante o seu aquecimento ou resfriamento, em relação a um material inerte.

As modificações em curvas de DSC (figura 25) são decorrentes de eventos térmicos chamados de transições de primeira ordem. Estas transições apresentam variações de entalpia podendo ser endotérmicas ou exotérmicas, onde estas variações acarretam a formação de picos. (CANEVAROLO, 2004).

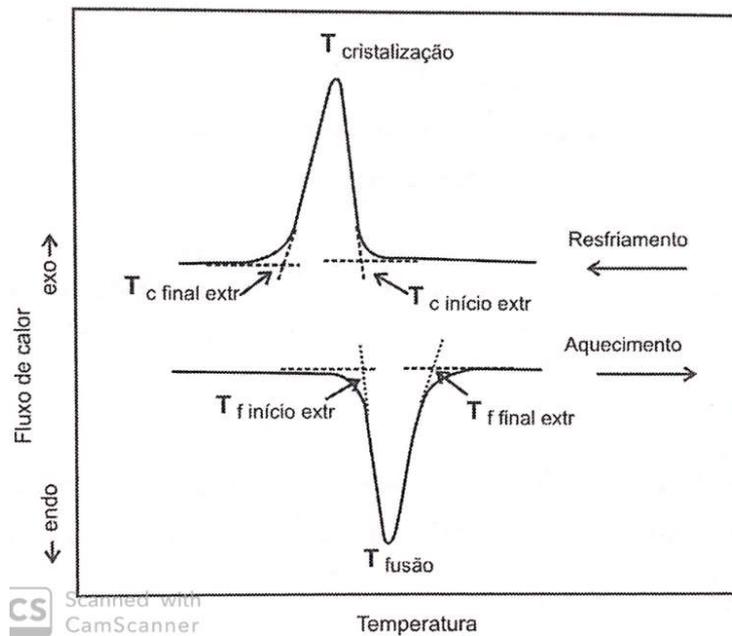
Figura 25 - Apresentação de uma Curva DSC de fluxo de calor em função da temperatura



Fonte: (Canevarolo, 2004)

A figura 26 mostra a representação da variação endotérmica exemplificada por um pico de fusão e a variação exotérmica caracterizada pela cristalização.

Figura 26 - Variações endotérmicas e exotérmicas



Fonte: (Canevarolo, 2004)

2.3.2 Caracterização mecânica

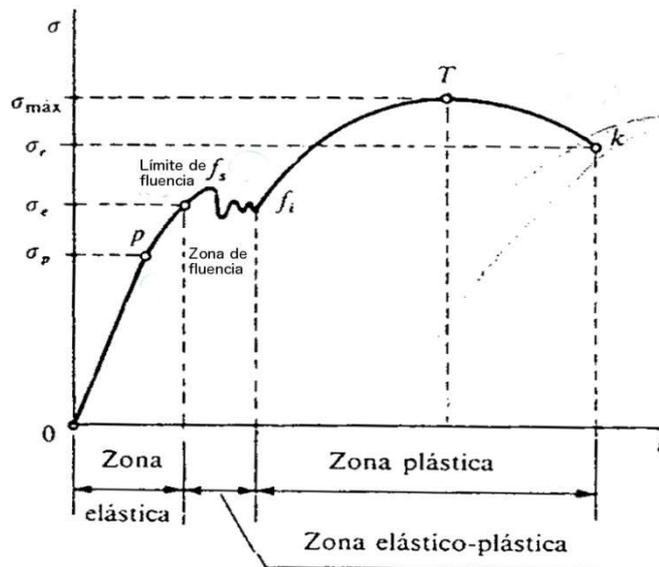
Devido a sua vasta utilização, os polímeros são caracterizados mecanicamente quando na sua grande maioria o seu objetivo tiver finalidades estruturais, para que seja possível observar seu comportamento.

2.3.2.1 Ensaio de compressão em polímeros

O ensaio de compressão consiste em submeter um determinado material a um esforço que tende a comprimi-lo até sua ruptura, avaliando a resistência do material ao esforço de compressão submetido. a força é distribuída de modo uniforme em toda a seção do corpo de prova (CANEVAROLO, 2004)

O material submetido à compressão sofre uma deformação primeiramente elástica, onde consegue voltar às suas características originais ou semelhantes e posteriormente passa para a deformação plástica. (Figura 27)

Figura 27 - Regime elástico e regime plástico



Fonte: (Canevarolo, 2006)

Usa-se este tipo de ensaio quando se deseja observar o comportamento de um material submetido a grandes e permanentes deformações. Este ensaio possibilita a determinação de algumas propriedades do material que está sendo ensaiado, como

resistência a compressão, módulo de elasticidade, tensão de escoamento, deformação sob compressão, dentre outros. (CANEVAROLO, 2004)

O comportamento mecânico dos polímeros depende de forma integral da sua estrutura molecular. De acordo com estes comportamentos, os materiais poliméricos podem ser classificados com relação a sua rigidez, fragilidade e tenacidade. (CANEVAROLO, 2004)

Para Canevarolo (2004) uma das formas mais simples e práticas realizadas para obter a classificação dos polímeros é através de comportamentos como determinar se são frágeis ou dúcteis. Os polímeros com um comportamento frágil, não apresentam ponto de escoamento, logo, não se deformam plasticamente. Já os polímeros com comportamento dúctil, apresentam nitidamente ponto de escoamento tendo como característica uma deformação plástica.

3 METODOLOGIA

O capítulo 3 apresenta a metodologia adotada na realização da pesquisa.

3.1 ESTUDO DE CASO

Primeiramente a pesquisa foi classificada com base no seu objetivo caracterizando uma pesquisa exploratória. Consistindo primeiramente na realização de um estudo de familiarização do pesquisador com o tema investigado durante a pesquisa (PIOVESAN, 1995). Neste caso, a pesquisa exploratória teve como principal objetivo correlacionar as potencialidades e restrições apresentadas à aplicação do telhado verde

Para Gil (2017) a pesquisa exploratória tem um planejamento bastante flexível, tendo como objetivo principal uma maior proximidade entre o objeto tema de estudo e o pesquisados, permitindo ao pesquisador escolher técnicas mais adequadas resultando no aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições.

Gil (2017) comenta que em sua grande maioria as pesquisas exploratórias envolvem os seguintes itens:

- a) levantamento bibliográfico;
- b) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; e
- c) análise de exemplos que "estimulem a compreensão"

A etapa “a” foi desenvolvida nos capítulos anteriores, já a etapa “b” foi realizada em diferentes locais dependendo da disponibilidade dos entrevistados onde as respostas obtidas foram analisadas no capítulo 4 posteriormente analisado. Por último a etapa “c” está também descrita no capítulo 4, onde foi analisado os resultados obtidos ao longo desta pesquisa.

A etapa exploratória pode ser caracterizada da seguinte forma Gil (2017):

Esta etapa representa um período de investigação informal e relativamente livre, no qual o pesquisador procura obter, tanto quanto possível, entendimento dos fatores que exercem influência na situação que constitui o objeto de pesquisa. Constitui, portanto, uma etapa cujo objetivo é o de descobrir o que as variáveis significativas parecem ser na situação e que tipos de instrumentos podem ser usados para obter as medidas necessárias ao estudo final.

A pesquisa também pode ser classificada com base nos procedimentos técnicos realizados. Para esta pesquisa o procedimento utilizado foi o estudo de caso, onde o objeto de estudo são dois tipos de sistemas de telhados verdes comercializados pela Empresa A, como forma de restringir a pesquisa utilizou-se como base de estudo e referencia a construção do empreendimento do novo campus da Universidade do Vale do Rio dos Sinos localizada na capital do Rio Grande do Sul, onde foram instalados os dois tipos de sistemas de telhados verdes, o Alveolar Leve e Laminar Médio.

Para Goldenberg (2004) a característica que melhor comprova este tipo de abordagem de metodologia é o fato de se tratar de um plano investigativo envolvendo uma pesquisa intensa e detalhada de um objeto bem definido: o “caso”. O estudo de caso é um método de procedimento técnico que estuda um assunto específico permitindo que haja um conhecimento aprofundado sobre o objeto em estudo. O estudo de caso pode ser focado em um indivíduo, em um programa, um evento, um pequeno grupo ou também em uma instituição. Quando se utiliza esta abordagem o pesquisador não tem como intuito intervir no objeto em estudo, mas apenas apresentá-lo a partir de um estudo mais aprofundado (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Yin (2015) comenta que para realizar um estudo de caso, é de suma importância averiguar se existe inicialmente um caso, se há algum fenômeno relevante, que desperte o interesse de algum grupo. É necessário conseguir identificar

quais são as características mais importantes que tornam o objeto de estudo em um caso. A indentificação inclui conseguir definir um problema a ser estudado, este problema ou questão fundamental resultará na origem do objetivo de trabalho.

O estudo de caso visa reunir o maior número de informações das mais variadas formas possíveis sobre o tema. Desta forma, o pesquisador irá chegar a um nível de conhecimento que não seria possível através de uma análise quantitativa (GOLDENBERG, 2004). Gil (2017) propõe sete etapas que na grande maioria das pesquisas de estudo de caso são seguidas.

- a) formulação do problema ou das questões de pesquisa;
- b) definição das unidades-caso;
- c) seleção dos casos;
- d) elaboração do protocolo;
- e) coleta de dados;
- f) análise e interpretação dos dados;
- g) redação do relatório.

Seguindo as etapas descritas por Gil (2017), este trabalho definiu as etapas *a* e *b* no início desta pesquisa através do tema, delimitação do tema, problema e dos objetivos gerais e específicos. A etapa de elaboração do protocolo é realizada neste capítulo através da descrição e detalhamento das etapas que serão necessárias para obter os dados. A etapa *e* deste estudo de caso (coleta de dados) foi realizado como forma de entrevistas com os profissionais envolvidos na construção e manutenção do campus da Unisinos POA sendo caracterizada como uma entrevista focalizada

Por sua a etapa “*f*” é descrita no capítulo 4 desta pesquisa, onde todas as informações obtidas neste trabalho se encontram compiladas. No capítulo 6 se encontra a redação do relatório como conclusão deste trabalho.

Para o estudo de caso desta pesquisa, foi utilizado outros procedimentos com o intuito de qualificar o trabalho em questão, onde foi realizado uma pesquisa bibliográfica e documental nos capítulos anteriores e uma pesquisa experimental descrita neste capítulo.

Além da etapa qualitativa da pesquisa obtida através de entrevistas/questionário. O estudo de caso abordou ferramentas quantitativas caracterizando um estudo experimental, onde foi realizado a caracterização dos polímeros constituintes dos sistemas de telhado verde alveolar leve e laminar médio a fim de caracterizar os módulos empregados em ambos os sistemas.

Para Gil (2017) o estudo experimental pode ser resumido em determinar um objeto de estudo, delimitar as variáveis que são capazes de influenciar, realizar uma definição das formas de controle e de observações dos efeitos que as variáveis produzem no objeto. A elaboração de um programa experimental pode ser criada em um meio ambiente artificial desenvolvida em laboratório ou no campo, onde cria-se condições.

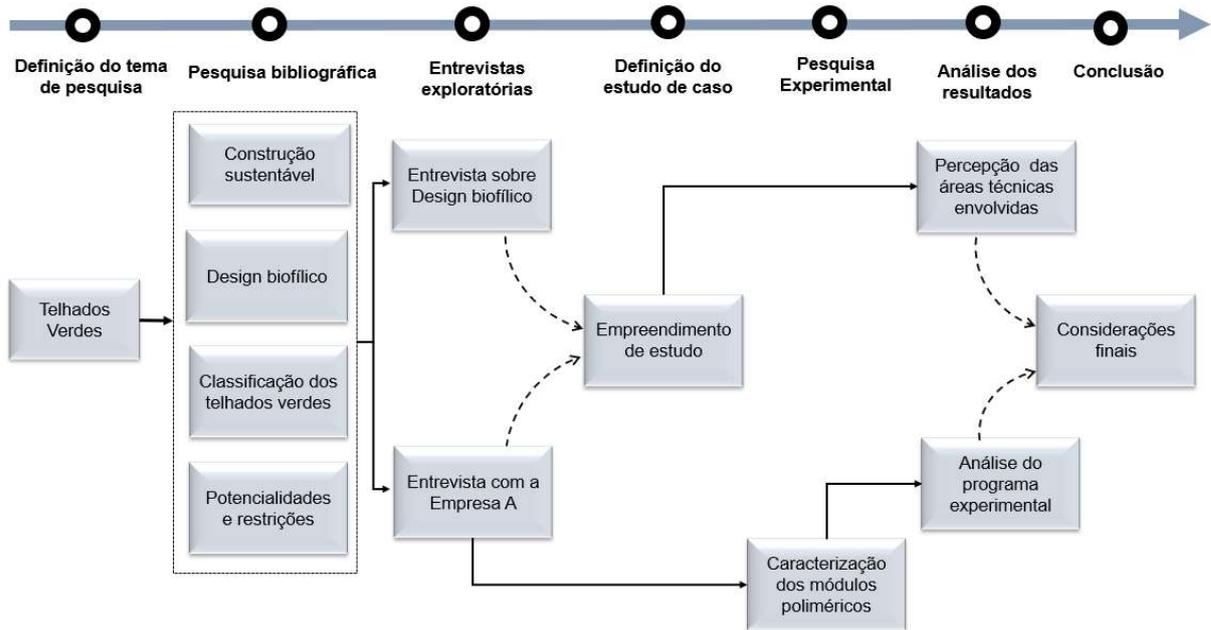
Como forma de diferenciar as etapas qualitativas e quantitativas que englobam este trabalho, Fonseca (2002) esclarece:

Diferentemente da pesquisa qualitativa, os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados. Como as amostras geralmente são grandes e consideradas representativas da população, os resultados são tomados como se constituíssem um retrato real de toda a população alvo da pesquisa. A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente.

Para Polit et al. (2004) a pesquisa quantitativa origina-se do pensamento lógico, onde se aprimora o raciocínio dedutivo, as regras da lógica e as características capazes de serem mensuradas da experiência dos seres humanos. Por outro lado, a abordagem qualitativa objetiva salientar os aspectos dinâmicos e individuais vivenciados pela experiência humana, para conseguir compreender e concluir apreendendo uma totalidade no contexto daqueles que estão vivenciando o fenômeno objeto de estudo.

Por fim, esta pesquisa foi realizada na seguinte ordem: primeiramente foi realizado a definição do tema de pesquisa, realização da pesquisa bibliográfica, entrevistas exploratorias, definição do estudo de caso, execução do programa experimental, análise dos resultados e por fim conclusão da pesquisa, ilustrado pela figura 28.

Figura 28 – Fluxograma da metodologia de pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

3.1.1 Descrição do empreendimento de estudo

O novo campus da Unisinos localizado entre a avenida Dr. Nilo Peçanha e a rua Tomaz Gonzaga, teve início da sua construção em janeiro de 2015 tendo uma duração de 22 meses até a obra ser concluída no final de 2016. (Figura 29)

O empreendimento conta com aproximadamente 55 mil m² de área construída distribuídos em quatro grandes áreas como mostra a figura 33 sendo elas a torre educacional, o teatro Unisinos, o espaço comercial Unisinos e os laboratórios.

Figura 29 - Localização do empreendimento



Fonte: (Google Maps 2019)

Figura 32 - Vegetação do sistema de telhado verde da área comercial



Fonte: (Ecotelhado, 2019)

3.2 MATERIAIS

Neste subcapítulo será apresentado os dois sistemas de telhado verde utilizados no empreendimento estudado.

3.2.1 Sistema Modular Alveolar Leve

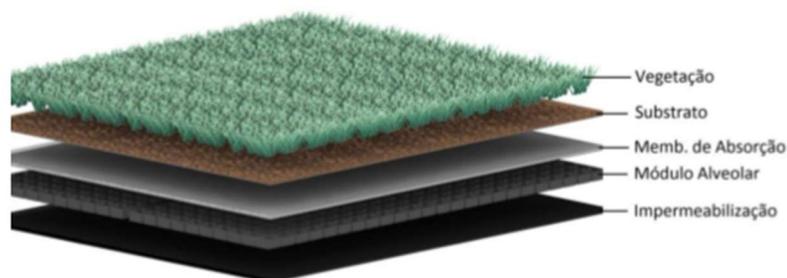
O Sistema Modular Alveolar leve é composto por módulos alveolares onde em cima é primeiramente coloca-se uma membrana de absorção e após é posto o substrato e a vegetação respectivamente. O uso deste telhado permite valores de inclinação de até 20% (ECOTELHADO, 2019). Nas figuras 33 e 34 é possível visualizar o sistema desenvolvido pela empresa.

Figura 33 - Representação do sistema de telhado verde Alveolar Leve



Fonte: (Ecotelhado, 2019)

Figura 34 - Desenho esquemático do sistema Alveolar Leve



Fonte: (Ecotelhado, 2019)

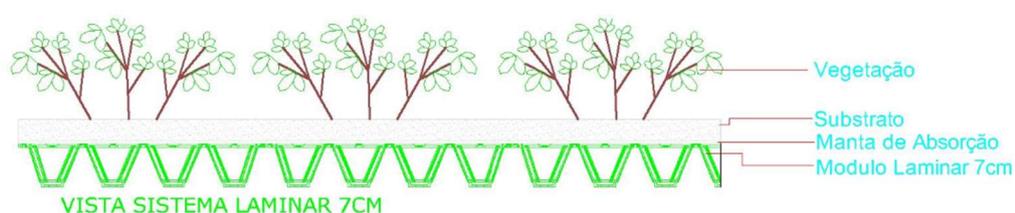
O sistema ilustrado pelo desenho esquemático ilustrado pela figura 37 é composto por diferentes elementos construtivos, onde cada um destes itens é caracterizado no Manual e Especificações do Sistema Modular Alveolar Leve (2019):

- a) módulo plástico alveolar: responsável por reter a água em seus alvéolos;
- b) membrana de absorção: auxilia na retenção de água e nutrientes;
- c) substrato: utilizado em cima da membrana de absorção, ajudando na retenção de água e nutrientes, para que posteriormente possa ser colocado a vegetação;
- d) gel para plantio: tem como objetivo a retenção de umidade;
- e) vegetação de gramíneas ou outras (como boldo chileno).

3.2.2 Sistema Modular Laminar Médio

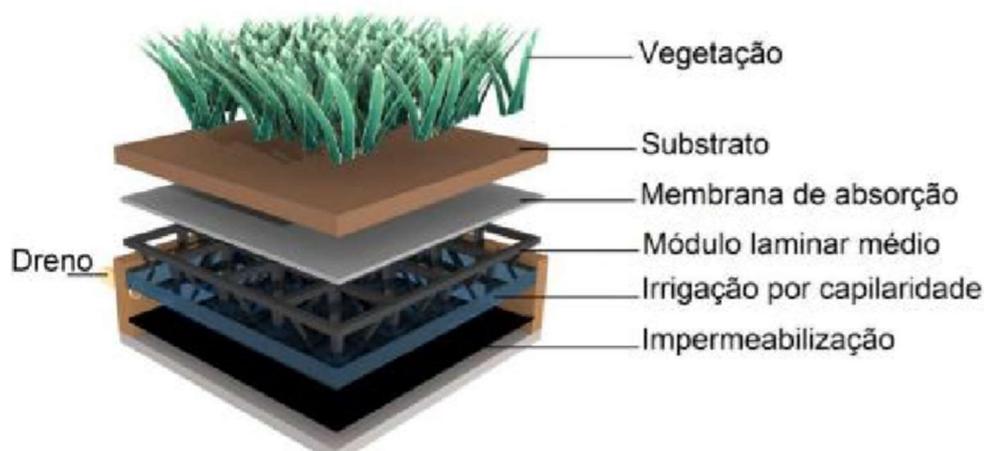
O Sistema Laminar Médio é composto por módulos de 7 centímetros de altura, é ideal para lajes planas, pois conta com um sistema de reserva de água de até 50 litros por metro quadrado, fazendo com que a cobertura vegetada seja irrigada por capilaridade, o que ajuda no conforto térmico interno da edificação, trazendo um maior convívio com a natureza (ECOTELHADO, 2019). Nas figuras 35 e 36 é possível visualizar o sistema desenvolvido pela empresa.

Figura 35 - Representação do sistema de telhado verde Laminar Médio



Fonte: (Ecotelhado, 2019)

Figura 36 - Desenho esquemático do sistema Laminar Médio



Fonte: (Ecotelhado, 2019)

O desenho esquemático do sistema Laminar Médio ilustrada pela figura 36 é composto por diferentes elementos construtivos, onde cada um destes itens é caracterizado no Manual e Especificações do Sistema Modular Laminar Médio (2019):

- a) módulo Piso Nuvem: responsável pela reserva de água na sua parte inferior, tendo como objetivo retardar o fluxo de água para rede pública

ou a utilização como reservatório de água, não havendo necessidade de irrigação superficial da vegetação;

- b) membrana de absorção: auxilia na retenção de água e nutrientes;
- c) membrana de PEAD: auxilia na impermeabilização como forma de proteção contra as raízes;
- d) substrato: utilizado em cima da membrana de absorção, ajudando na retenção de água e nutrientes, para que posteriormente possa ser colocado a vegetação.

3.2.3 Sistema Modular Laminar Alto

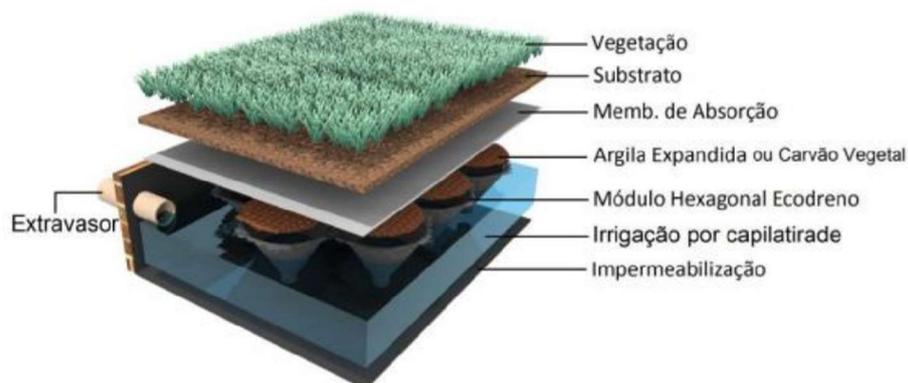
O Sistema Laminar alto é composto por módulos de 18 centímetros de altura compostos por módulos hexagonais encaixado pelo sistema de macho e fêmea, no interior dos módulos coloca-se argila expandida, após e posto a membrana de absorção, o substrato e a vegetação respectivamente. Este sistema de telhado verde proporciona uma cisterna que consegue armazenar até 160 litros por metro quadrado de água, fazendo com que seja possível reutilizar água da chuva (ECOTELHADO, 2019). Nas figuras 37 e 38 é possível visualizar o sistema desenvolvido pela empresa.

Figura 37 - Representação do sistema Laminar Alto



Fonte: (Ecotelhado, 2019)

Figura 38 - Desenho esquemático do sistema Laminar Alto



Fonte: (Ecotelhado, 2019)

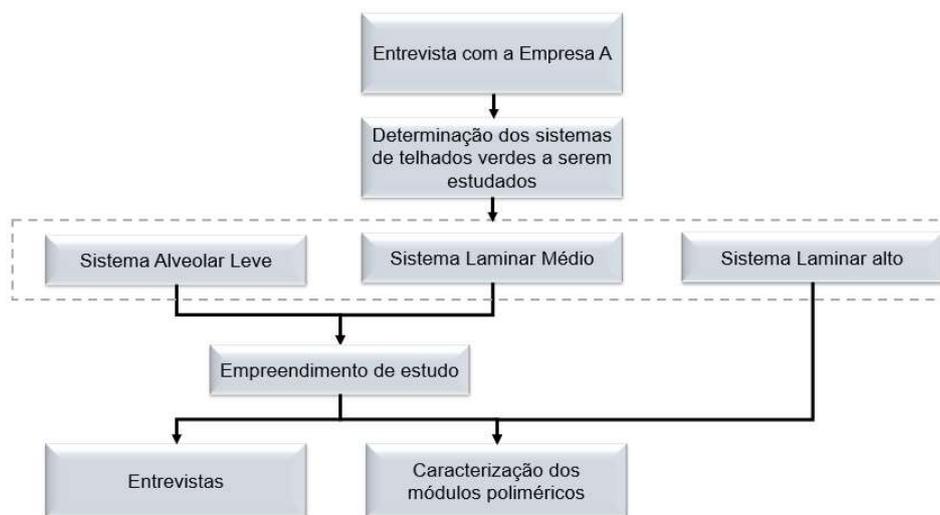
O sistema ilustrado pelo desenho esquemático ilustrado pela figura 38, é composto por diferentes elementos construtivos, onde cada um destes itens é caracterizado no Manual e Especificações do Sistema Laminar Alto (2019):

- Modulo de plástico laminar alto: devido sua altura, este modulo auxilia retendo água na sua parte inferior, sendo possível a reutilização da água após a irrigação do telhado verde;
- Membrana de absorção: auxilia na retenção de água e nutrientes;
- Membrana de PEAD: auxilia na impermeabilização como forma de proteção contra as raízes;
- Argila expandida: auxilia na retenção favorecendo o crescimento das raízes, tem um peso específico baixo.

3.3 MÉTODOS

Como explicado no item 1.3 desta pesquisa, devido à dificuldade de acesso à empreendimentos onde foram instalados o sistema de telhado verde Laminar Alto, esta pesquisa limitou-se a realização das caracterizações térmicas e mecânicas deste referido sistema, como mostra a imagem 39.

Figura 39 – Fluxograma do método de pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.1 Entrevistas

Para este trabalho, o tipo de coleta de dados que abrange a técnica interrogatória escolhida foi a entrevista. Onde por sua vez a entrevista pode ser compreendida como uma técnica que envolve duas pessoas em uma situação “face a face”, em que o entrevistador formula as perguntas e o entrevistado por sua vez as responde (GIL 2017). Para Gil (2017), é conveniente lembrar que as técnicas interrogatórias auxiliam na obtenção de dados a partir do ponto de vista dos entrevistados.

Logo, este levantamento pode apresentar algumas limitações de natureza institucional. Porém mostra-se de forma muito útil para a obtenção de informações acerca do que a pessoa “sabe, crê ou espera, sente ou deseja, fez ou faz, bem como a respeito de suas explicações ou razões para quaisquer das coisas precedentes” (SELLTIZ 1967).

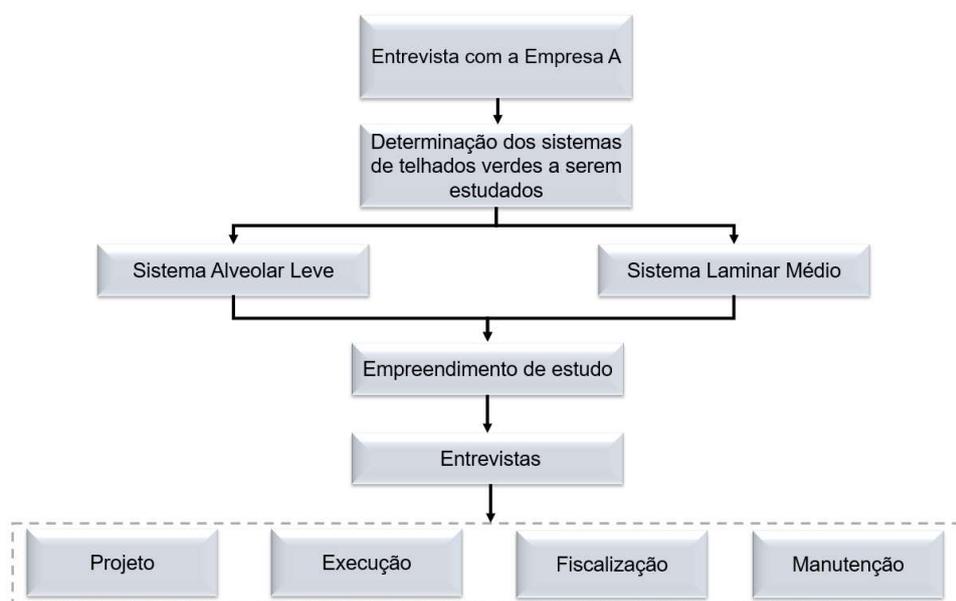
Comparando com as demais técnicas de interrogação, a entrevista é a que maior apresenta flexibilidade, pois pode apresentar inúmeras formas de ser caracterizada (GIL 2017).

Para esta pesquisa, a entrevista caracteriza-se segundo Gil (2017) como focalizada, que embora seja livre, tem como enfoque um tema bem específico e delimitado, onde cabe ao entrevistador esforçar-se para que a parte entrevistada não desvie do tema principal.

Para Gehardt e Silveira (2009) este tipo de entrevista pode também ser caracterizada onde o entrevistador enfoca sua tenção sobre uma determinada experiencia dada e os efeitos resultantes, ou seja, o entrevistador sabe previamente os tópicos e informações que deseja com a entrevista a ser realizada.

As entrevistas realizadas nesta pesquisa foram fragmentadas da seguinte forma ilustradas neste fluxograma (figura 40), onde a primeira entrevista realizada foi com a Empresa A.

Figura 40 - Fluxograma do planejamento das entrevistas



Fonte: Elaborado pelo autor

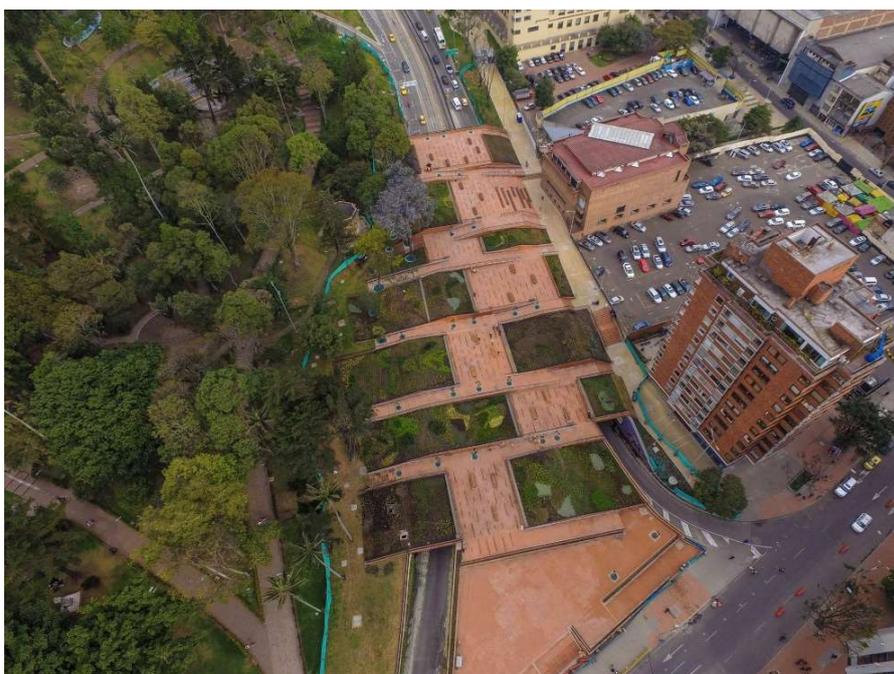
Com o intuito conhecer de forma mais profunda sobre os sistemas de telhado verde estudados nesta pesquisa, foi primeiramente realizada uma entrevista com a Empresa A, que comercializa os sistemas. A entrevista além de ter um caráter de conhecimento da sistemática da empresa e sobre o assunto da pesquisa em questão, visou entender as potencialidades e restrições tanto nos sistemas de telhado verde quanto nas técnicas utilizadas pela empresa para instalação dos sistemas.

A empresa A trabalha no ramo da construção sustentável a aproximadamente 15 anos instalando seus produtos em diversos locais do Brasil e em outros países como na Colômbia (figura 41), o Parque Bicentenário localizando em Bogotá recebeu uma intensa revitalização após anos sendo negligenciado, onde atualmente o parque se tornou um espaço social e cultural da cidade (ECOTELHADO 2019).

A empresa tem como principal objetivo diminuir os danos causados pelo crescimento populacional desenfreado, pela falta de planejamento das grandes metrópoles e pela poluição decorrente da urbanização. (ECOTELHADO, 2019)

A empresa trabalha com diversos produtos além dos sistemas de telhados verdes, como paredes verdes, pavimentação permeável, cisternas subterrâneas e tratamento biológico de efluentes. Atribuindo aos seus produtos o conceito do design biofílico originado do termo biofilia que em seu significado literal quer dizer “amor à vida”. É um conceito inovador, que tem por finalidade trazer a natureza para o ambiente construído, realizando esta integração e afinidade entre ambos temos locais de lazer, trabalho e de aprendizado com mais saúde, trazendo consigo melhorias no desempenho e bem-estar físico e mental das pessoas (ECOTELHADO 2019).

Figura 41 - Parque Bicentenário em Bogotá - Colômbia



Fonte: (Ecotelhado, 2019)

Com o objetivo de explorar todos os nichos relacionados aos sistemas de telhado verde instalados na Universidade do Vale do Rio dos Sinos, foi realizado entrevistas com as áreas técnicas envolvidas após a entrevista com a Empresa A.

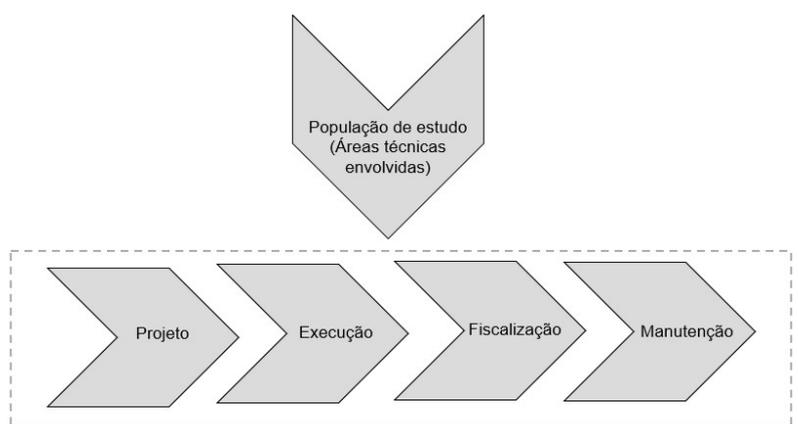
O intuito da realização de entrevistas exploratórias foi de coletar informações técnicas não documentadas sobre o tema em questão, sendo determinada com uma técnica de interação social, onde o entrevistador busca a obtenção de dados e o entrevistado se apresenta como fonte de informação (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Para Beuren (2008) “População ou universo da pesquisa é a totalidade de elementos distintos que possui certa paridade nas características definidas para determinado estudo”.

A população de estudo foi composta primeiramente pela entrevista realizada com a empresa A e pelas áreas técnicas envolvidas no empreendimento de estudo, sendo ela formada por um dos arquitetos e responsáveis da empresa contratada para realização do projeto, o engenheiro civil de campo da empresa executante, o engenheiro civil que fiscalizou a construção e o responsável pela manutenção do empreendimento.

A linha do tempo a seguir mostra as etapas que foram seguidas para a obtenção dos dados.

Figura 42 - Etapas dos dados coletados através de entrevistas



Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.2 Caracterizações

Neste subcapítulo será mencionado as caracterizações feitas, onde o objeto de estudo foi os dois sistemas instalados nas coberturas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, sendo eles localizados no espaço Unisinos e no Teatro Unisinos (Figura 43).

Figura 43 - Localização dos telhados verdes

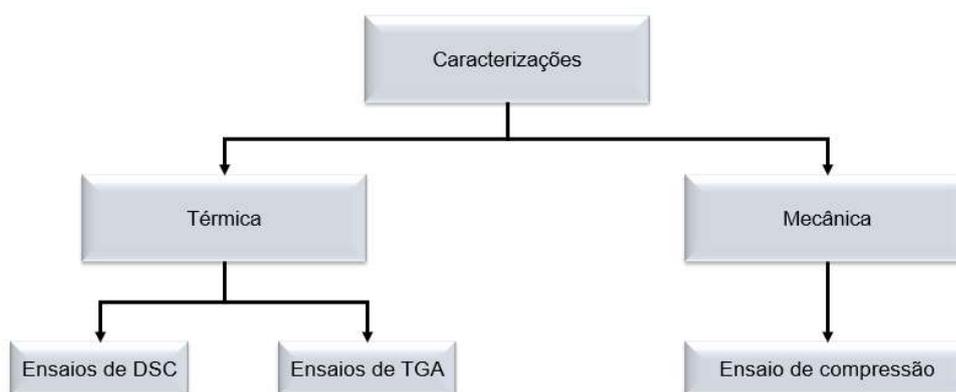


Fonte: (Unisinos, 2017)

As caracterizações realizadas nesta pesquisa abordam apenas os módulos poliméricos que constituem os sistemas alveolar leve e laminar alto, módulos estes que foram instalados no Teatro Unisinos e na cobertura do Espaço Unisinos respectivamente.

As caracterizações foram divididas em duas partes:

Figura 44 - Fluxograma da divisão dos ensaios de caracterização



Fonte: Elaborado pelo autor

As caracterizações dos módulos poliméricos realizadas nesta pesquisa tiveram como objetivo principal analisar por meios matemáticos de forma técnica e quantitativa as informações obtidas na entrevista feita com a Empresa A.

3.3.2.1 Caracterização térmica

A partir aplicação de técnicas termoanalíticas, diversos estudos podem ser desenvolvidos como mostra a figura 45. Esta pesquisa fez uso da análise térmica tendo como objetivo caracterizar os polímeros utilizados nos sistemas de telhado verde.

Segundo Canevarolo (2004) deve-se notar que em muitos casos a utilização de uma única técnica termoanalítica pode não fornecer resultados suficientes sobre um determinado sistema, ou seja, ser inconclusivo. Para que haja conclusões mais assertivas, pode-se através de outras técnicas de análise térmica obter informações complementares, associando os resultados entre dois ou mais ensaios.

Figura 45 - Estudos desenvolvidos a partir da análise térmica



Fonte: (Canevarolo 2004)

Devido à falta de informações sobre a composição polimérica constituinte dos módulos dos sistemas, optou-se por realizar dois ensaios térmicos o de termogravimetria (TGA) e de calorimetria exploratória diferencial (DSC), a fim de avaliar a pureza dos polímeros utilizados.

O ensaio de termogravimetria possibilita conhecer as alterações que o aquecimento provocado na massa do polímero. Para avaliar estas variações de massa do polímero em função da temperatura o experimento foi realizado em uma termobalança, que permite o trabalho sob variados tipos de condições experimentais.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais (LCVMAT), localizado na Unisinos da cidade São Leopoldo/RS

A faixa de temperatura utilizada para os ensaios de caracterização termica foi de 25 °C a 1000°C com uma taxa de aquecimento de 10°C/min em função da temperatura de operação do equipamento.

Utilizando destas duas técnicas é possível ter uma base comparativa, onde os resultados a serem analisados serão a temperatura de fusão e a temperatura de degradação. É importante salientar que estes dois ensaios restringem esta pesquisa a apenas indícios de qual composto polimérico os três sistemas são compostos.

Esta pesquisa usou como base comparativa uma tabela 3 de características térmicas extraída da literatura da empresa *TA instruments*, onde está listado os tipos mais comuns de polímeros conhecidos.

Tabela 3 – Características térmicas dos polímeros

Common Polymers Reference						
Acronym	Polymer	T _g (°C)	T _m (°C)	TGA** Decomp T	Linear CTE (°C ⁻¹)	Flexural Modulus (MPa)
ABS	Acrylonitrile	110 – 125	–	375	65 – 95	2070 – 4140
	Butadiene styrene					
PMMA	Polymethylmethacrylate	85 – 110	160	313	50 – 90	2240 – 3170
	Acrylonitrile	95	135	–	66	3450 – 4070
PTFE	Polytetrafluoroethylene	126*	327	525	70-120	525
PVDF	Polyvinylidene fluoride	-60 – -20	170 – 178	470	70-142	1724 – 2896
Nylon 6	Nylon 6	40 – 87*	210 – 220	400	80 – 83	2690
Nylon 6,6	Nylon 6,6	50*	255 – 265	426	80	2830 – 3240
PC	Polycarbonate	140 – 150	–	473	68	2350
PBT	Polybutylene terephthalate	–	220 – 287	386	60 – 95	2280 – 2760
PET	Polyethylene terephthalate	73 – 80	245 – 265	414	65	2410 – 3100
PEEK	Polyetheretherketone	150	334	575	40 – 108	3860
PEI	Polyetherimide	215 – 217	–	–	47 – 56	3310
LDPE	Low density Polyethylene	-25	98 – 115	459	100 – 220	240 – 330
HDPE	High Density Polyethylene	60 – 80	130 – 137	469	59 – 110	1000 – 1550
PI	Polyimide	–	310 – 365	–	45 – 56	3100 – 3450
PPO	Polyphenylene Oxide	100 – 142	–	400	38 – 70	2250 – 2760
PPS	Polyphenylene Sulfide	88	285 – 290	508	49	3790
PP	Polypropylene	-20	160 – 175	417	81 – 100	1170 – 1720
PS	Polystyrene	74 – 109	240 – 250	351	50 – 83	2620 – 3380
PSO	Polysulfone	190	–	510	56	2690
PES	Polyethersulfone	220 – 230	–	–	55	2400 – 2620
PVC	Polyvinyl Chloride	75 – 105	–	265	50 – 100	2070 – 3450

Source: Modern Plastics Encyclopedia, Mid-October Issue, Vol. 66, No. 11, McGraw Hill, Inc., New York, New York, 1989.
 *Polymer Handbook, Second edition, J. Brandrup, E.H. Immergut, John Wiley and Sons, New York, New York, 1975.
 **TA Instruments Library (heating rate of 20°C/min.).

Fonte: (TA Instruments, 2018)

Para as análises realizadas no capítulo posterior, foi levado em consideração as colunas T_m (°C) e TGA a fim de possibilitar melhor precisão entre as comparações de resultados .

3.3.2.2 Caracterização mecânica

A caracterização mecânica dos módulos poliméricos Alveolar Leve, Laminar Médio e Laminar Alto ocorreu na área de resistência mecânica do Laboratório de

Segurança Estrutural (LaSE) localizado no Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil (ITT Performance) da Unisinos.

Conforme visto no início do capítulo, o ensaio mecânico de caracterização realizado foi o de resistência a compressão. É importante salientar que, nesta pesquisa, o ensaio de compressão foi feito apenas nos módulos dos sistemas que compõe o telhado verde nas dimensões que serão apresentadas posteriormente, diferentemente do que é descrito nas normas ASTM D790 E ISSO 178, na qual se refere as avaliações mecânicas dos materiais poliméricos. Conforme Canevaloro (2004) explica, os ensaios mecânicos realizados em materiais poliméricos utilizam de corpos de prova com geometrias, dimensões e tolerâncias especificadas e padronizados por cada norma técnica.

Nesta pesquisa, foi utilizada a prensa eletrônica EMIC 23-300 (figura 46) para os corpos de prova dos sistemas Alveolar Leve, Laminar Médio e Laminar Alto, utilizando um deslocamento de 3 mm/min. Devido a prensa eletrônica ter uma limitação de altura, os ensaios dos corpos de prova com prolongamento de um metro de altura do sistema laminar alto que será explicado posteriormente foi realizado na prensa hidráulica de 300 kN (figura 47). É de suma importância salientar que a prensa hidráulica utilizada não conseguiu aplicar um carregamento linear contínuo pois tem uma precisão inferior a prensa eletrônica.

Figura 46 - Prensa eletrônica EMIC 23-300



Fonte: Registrado pelo autor

Figura 47 - Prensa Hidráulica de 300 kN



Fonte: Registrado pelo autor

Para análise dos resultados dos ensaios mecânicos realizados nos módulos poliméricos dos três sistemas que abrangem esta pesquisa, foi levado em consideração o critério de possibilidade de caminhamento de pessoas sobre o sistema de cobertura, item 9.2.4 do capítulo de Segurança no uso e na operação da Norma de Desempenho NBR 15575-5 (ABNT,2013).

A NBR 15575-5 (ABNT,2013) define que para a verificação de resistência ao caminhamento, atividade que ocorre nos momentos de operação de montagem e manutenção, a cobertura deve suportar uma carga vertical concentrada maior ou igual a 1,2kN, sem apresentar ruptura, fissuras e outras falhas.

Para obedecer a este critério a norma estabelece um método de avaliação estipulado no anexo G da referida norma. Todavia, como mencionado nas limitações desta pesquisa, este trabalho não seguiu este método de avaliação, fazendo uso apenas como referência da carga mínima de 1,2 kN estipulada para os ensaios que serão descritos posteriormente.

3.3.2.2.1 Caracterização mecânica – Alveolar Leve

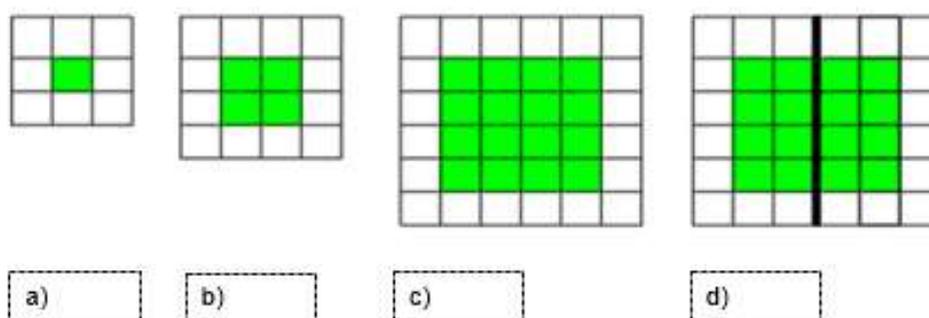
Para os ensaios realizados nos módulos do Sistema Alveolar Leve foram utilizados como base de área de contato a madeira *Hymenolobium Petraeum* Ducke popularmente conhecida com o nome de Angelim nas dimensões 10x10, 20x20 e 40x40 centímetros com espessura de 3,5cm a fim de obter resultados da capacidade

de carga dos módulos nestas dimensões. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (1989), a madeira apresenta uma densidade alta e uma grande dureza ao corte.

O módulo do Sistema Alveolar Leve tem as dimensões originais de 70x115 centímetros, porém devido à restrição de tamanho da prensa o módulo foi cortado nas seguintes dimensões:

- para o ensaio denominado Alveolar leve 10x10 o módulo foi cortado nas dimensões 28,5 x 27,5 centímetros;
- para o ensaio denominado Alveolar leve 20x20 o módulo foi cortado nas dimensões 38,0 x 35,0 centímetros;
- para o ensaio denominado Alveolar leve 40x40 o módulo foi cortado nas dimensões 57,0 x 53,0 centímetros;
- para o ensaio denominado Alveolar leve 40x40 com junta o módulo foi cortado nas dimensões em dois retângulos de 28,5 x 27,5 centímetros totalizando 57,0 x 53,0 centímetros, com o intuito de analisar a resistência mecânica nos encontros de um módulo com o outro.

Figura 48 - Projeto de determinação dos ensaios Alveolar Leve

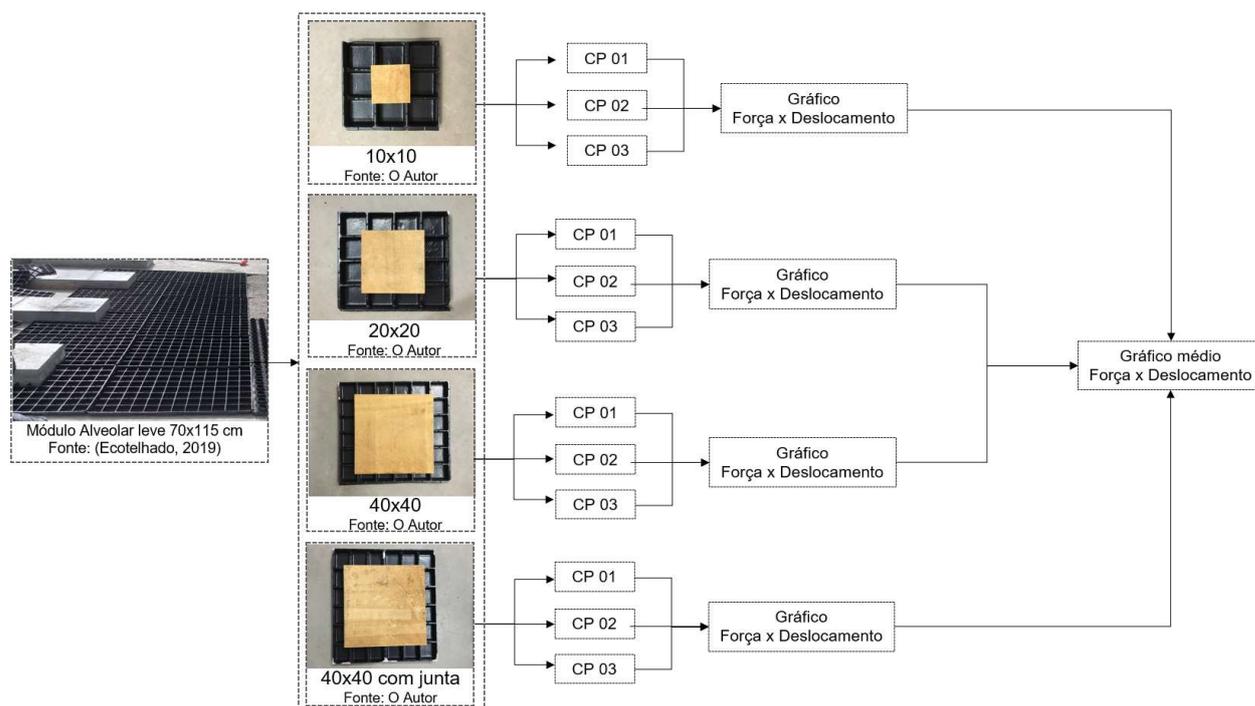


Fonte: Elaborado pelo autor

Os ensaios para cada dimensão foram realizados três vezes, onde os corpos de prova foram denominados CP01, CP02 e CP03, gerando gráficos de força quilonewton em função dos deslocamentos obtidos em milímetros.

Posteriormente, após a obtenção dos resultados através dos três corpos de prova de cada uma das dimensões determinadas, foi gerado um gráfico médio, obtido através do deslocamento em determinados pontos e da força média dos corpos de prova (CPs). A figura 49 abaixo ilustra o desenvolvimento das etapas dos ensaios.

Figura 49 - Fluxograma das etapas do ensaio do sistema Alveolar Leve



Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.2.2.2 Caracterização mecânica – Laminar Médio

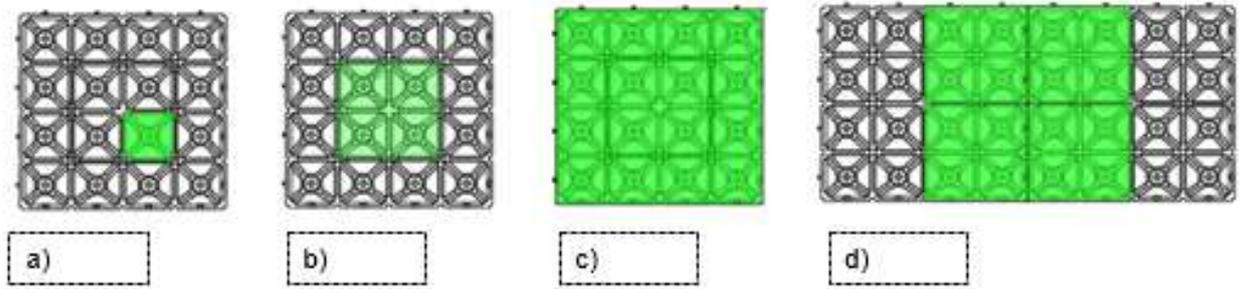
Para realizar os ensaios de compressão nos módulos do sistema Laminar Médio, foi utilizada a madeira Angelim, mesma utilizada nos ensaios do sistema anterior. As dimensões estipuladas para as áreas de contato da madeira com os módulos foram 10x10, 20x20 e 40x40 centímetros com a espessura de 3,5 centímetros.

O módulo do sistema laminar médio tem as dimensões originais de 40x40 centímetros e os módulos não foram cortados como no sistema anterior, preservando assim as suas dimensões originais.

Conforme a figura 50, os ensaios foram separados da seguinte forma:

- ensaio Laminar médio 10x10 no módulo de 40x40 centímetros;
- ensaio Laminar médio 20x20 no módulo de 40x40 centímetros;
- ensaio Laminar médio 40x40 no módulo de 40x40 centímetros;
- ensaio Laminar médio 40x40 no centro das junções de dois módulos, totalizando 40x80 centímetros, com o intuito de analisar a resistência mecânica nos encontros de um módulo com o outro.

Figura 50 - Projeto de determinação dos ensaios Laminar Médio

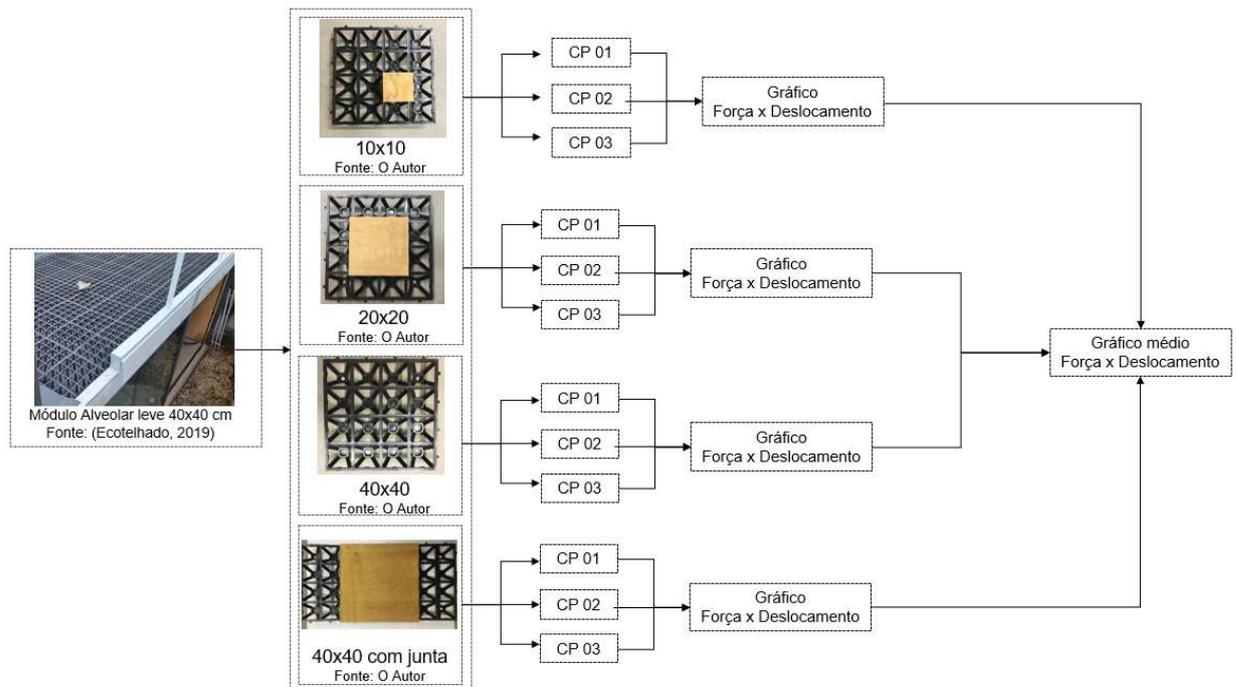


Fonte: Elaborado pelo autor

Os ensaios para cada dimensão estipulada acima, ocorreram de forma semelhante aos ensaios do Alveolar leve. Foram realizados três ensaios para cada dimensão, gerando gráficos de força em quilonewton em função dos deslocamentos obtidos em milímetros.

Posteriormente, após a obtenção dos resultados através dos três corpos de prova de cada determinada dimensão, foi gerado um gráfico médio, obtido através do deslocamento em determinados pontos e da força média dos CPs.

Figura 51 - Fluxograma das etapas do ensaio do sistema Laminar Médio



Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.2.2 Caracterização mecânica – Laminar Alto

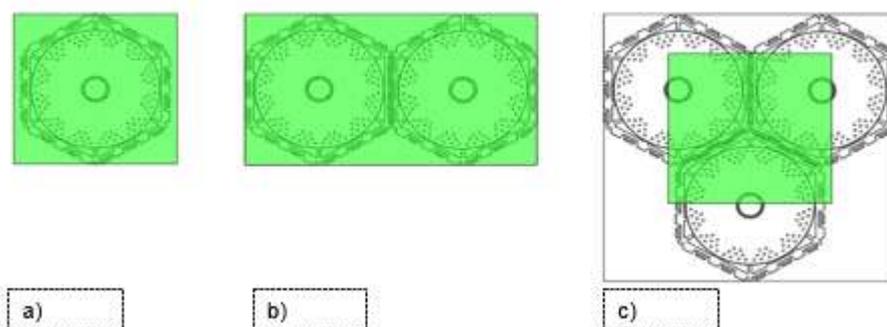
Para os ensaios nos módulos do sistema Laminar Alto, foi utilizado o mesmo tipo de madeira usada nos ensaios explicados anteriormente nas dimensões 40x40 e 40x60 centímetros e com espessura de 3,5 centímetros.

O módulo deste sistema apresenta um formato hexagonal na sua parte superior, onde cada aresta do modulo mede 16,70 centímetros. Conforme a figura 52 os ensaios deste sistema foram separados e denominados da seguinte forma:

- a) ensaio Laminar Alto modulo único;
- b) ensaio Laminar Alto modulo duplo;
- c) ensaio laminar alto modulo triplo;
- d) ensaio laminar alto modulo único com prolongamento de 50 centímetros;
- e) ensaio laminar alto modulo único com prolongamento de 100 centímetros.

Para o ensaio nomeado como Laminar Alto módulo triplo, a área determinada para aplicação de carga foi apenas nas ligações entre os módulos, como mostra a figura 52 abaixo, onde está ilustrado as determinações das áreas de influência hachuradas para cada tipo de ensaio.

Figura 52 - Projeto de determinação dos ensaios Laminar Alto



Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme a figura 54 do fluxograma abaixo, foi determinado neste ensaio a realização de duas análises. A primeira análise foi realizada através do gráfico médio dos ensaios Laminar Alto módulo único, Laminar Alto módulo duplo e Laminar Alto

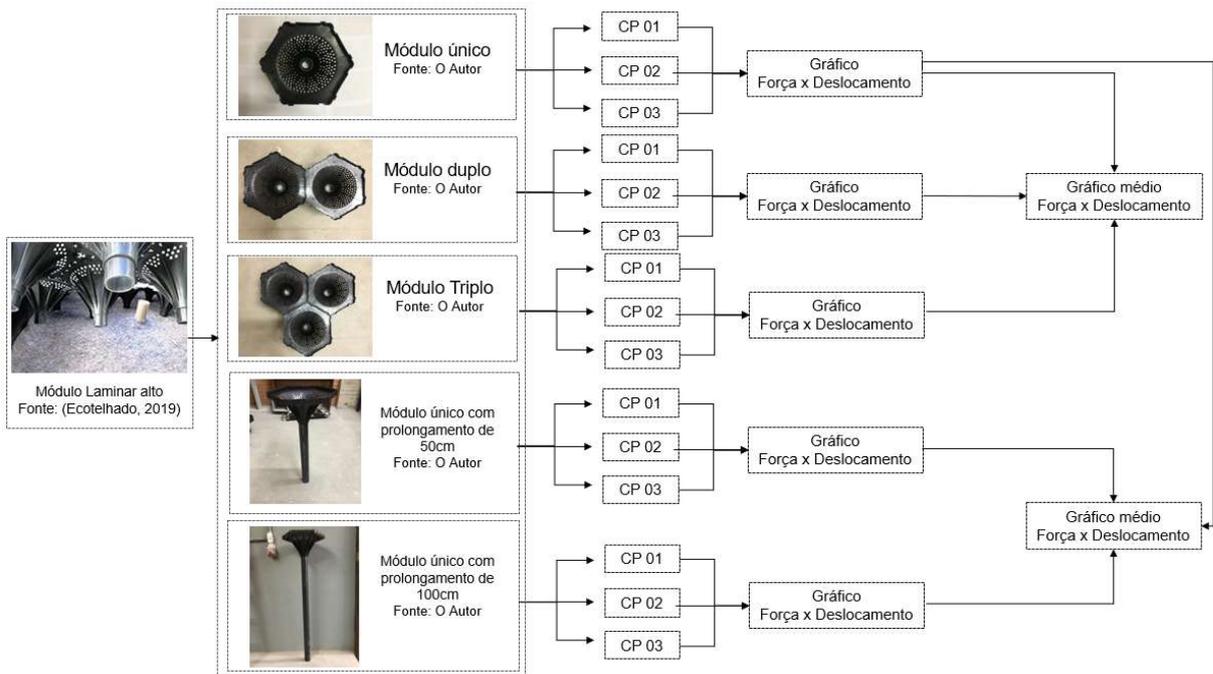
módulo triplo. E a segunda análise foi realizada gerando um gráfico médio dos ensaios Laminar Alto módulo único, Laminar Alto módulo único com prolongamento de 50 centímetros e Laminar Alto módulo único com prolongamento de 100 centímetros (figura 53). O tipo de material utilizado para prolongar o sistema foi o mesmo usado nos sistemas já instalados pela empresa A quando necessário, sendo ele o eletroduto de PVC rígido de 2" apenas encaixado ao módulo, não sendo utilizado nenhum tipo de cola para a fixação, com o intuito de deixar os ensaios verossímeis.

Figura 53 - Comparativo de alturas dos ensaios realizados com prolongamento



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 54 - Fluxograma das etapas do ensaio do sistema Laminar Alto



Fonte: Elaborado pelo autor

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, é apresentada a análise dos resultados obtidos ao longo desta pesquisa. Para Gehardt e Silveira (2009) a análise de resultados tem como principal objetivo organizar os resultados obtidos de forma que fique possível o fornecimento das respostas dos problemas propostos.

4.1 PERCEPÇÃO DOS ENTREVISTADOS

Nos subtítulos posteriores, serão apresentadas as percepções dos setores técnicos envolvidos de projeto, execução, fiscalização e manutenção do empreendimento tema do estudo de caso desta pesquisa.

4.1.1 Projeto

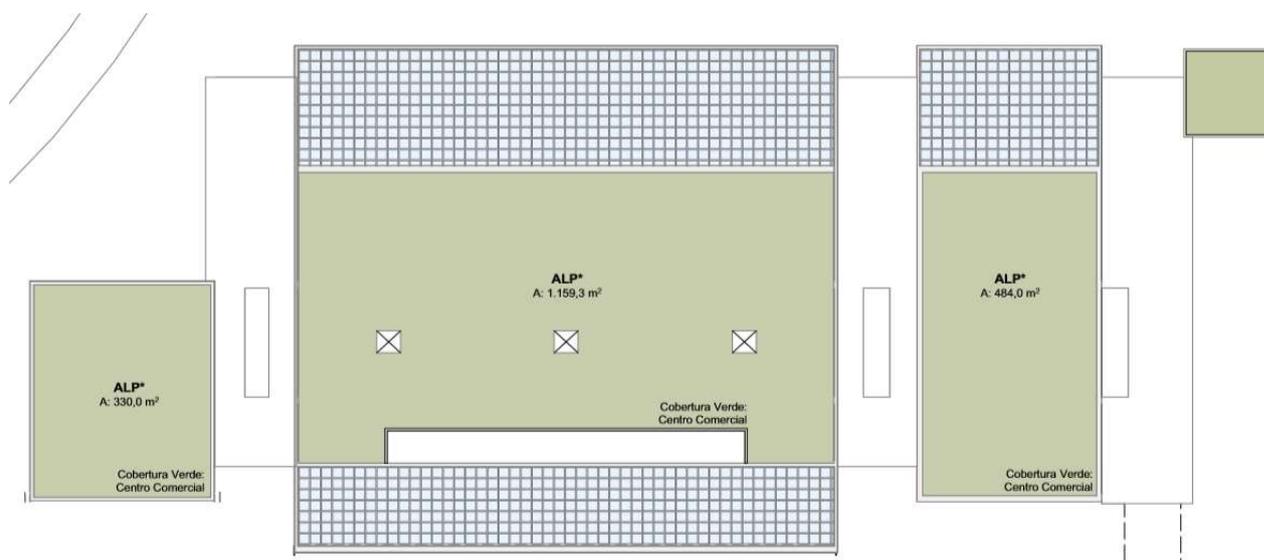
O conceito principal empregado para a realização do projeto do empreendimento da Unisinos Porto Alegre para os espaços verdes localizados nos telhados e na fachada principal surgiram através de aspectos urbanos da região. Onde anteriormente no terreno a ser construído existia um cinturão verde formado por árvores que ficava localizado na Av. Dr. Nilo Peçanha e atrás havia um campo de futebol (figura 55).

Figura 55 - Foto aérea da vista do colégio Anchieta em 2010



Fonte: (Ecotelhado, 2017)

Figura 56 – Projeto de cobertura da parte comercial do empreendimento



Fonte: (AT Arquitetura, 2016)

Figura 57 - Vista atual do Colégio Anchieta



Fonte: (Unisinos, 2017)

Tendo como premissa básica a reconstrução deste local, adotou-se como ideia principal uma reconstrução contemporânea desta atmosfera, onde a parede verde localizada na fachada do Espaço Unisinos remete a massa verde que havia no local.

Com relação ao conceito do projeto incluir telhados verdes, alguns fatores foram levados em consideração, como parâmetros relacionados a estética, saúde e bem-estar, aspectos sustentáveis e técnicos. Foi levado em consideração a vista que os alunos e funcionários do Colégio Anchieta, localizado do lado posterior ao empreendimento tinham, onde até então havia um predomínio de árvores e grama.

Atribuído a isso, adotou-se a abordagem de utilizar as coberturas destas áreas como espaços verdes para que não fosse perdida a vista que o colégio tinha utilizando outros tipos de técnicas construtivas como coberturas de fibrocimento, zinco ou cerâmicas (Figura 58). Estas premissas têm como base, ligações diretas com os estudos relacionados ao design biofílico, tendo como objetivo principal a reinserção da natureza ao cotidiano da população, devido aos seus impactos positivos como: saúde, bem-estar e aspectos emocionais.

Segundo o arquiteto que fez parte do projeto da instituição, um bom projeto arquitetônico deve-se sempre levar em consideração os aspectos sustentáveis do ambiente construído, utilizando de técnicas de orientação solar, conforto do ambiente, promovendo estratégias passivas de condicionamento térmico, proporcionando uma redução nos gastos de energia elétrica e água em algumas ocasiões. Um projeto bem concebido deve ser sempre pensando na melhor maneira de implementação e na otimização do seu uso para que ele gere o menor impacto ambiental possível.

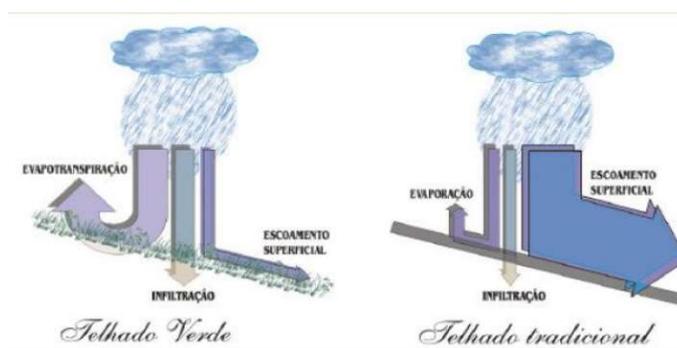
Figura 58 – Vista do telhado do Espaço Unisinos para o Colégio Anchieta



Fonte: Registrado pelo autor

Para um melhor aproveitamento da área construída e para atender o plano diretor de Porto Alegre, utilizou-se de uma medida alternativa onde os telhados verdes auxiliam na compensação da taxa de permeabilidade prevista em 30% da área do terreno, onde metade desta porcentagem pode ser atendida através de terraços vegetados.

Figura 59 - Comparação de escoamento de uma cobertura verde com uma cobertura tradicional



Fonte: (Laar, 2001)

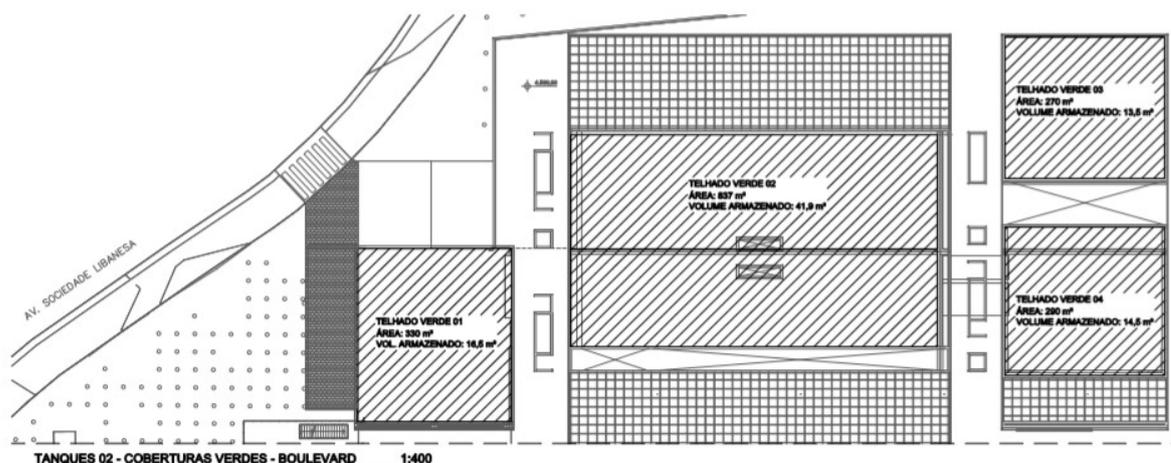
Como forma de atender estes parâmetros do plano de diretor, a cobertura do Espaço Unisinos faz uso do sistema de telhado verde Laminar Médio que conta com 7 centímetros de espessura para acúmulo de água da chuva. Neste caso, a cobertura retém uma lâmina de água onde lentamente é extravasada, ajudando no retardo do escoamento da água da chuva para a rede pública. A figura 59 compara a utilização de uma cobertura com telhado verde com uma cobertura construída com telhado convencional.

A cobertura do Espaço Unisinos foi denominado de tanque 02 no projeto, fazendo parte do projeto de sistemas de bacias de amortecimento do empreendimento, onde consegue-se armazenar 86,4m³ de água, ajudando a diminuir o impacto na rede pública em dias de chuvas torrenciais (Figuras 60 e 61). O Campus ainda conta como mais dois tanques localizados no 2º subsolo do empreendimento.

Para o departamento de esgotos pluviais (DEP, 2006):

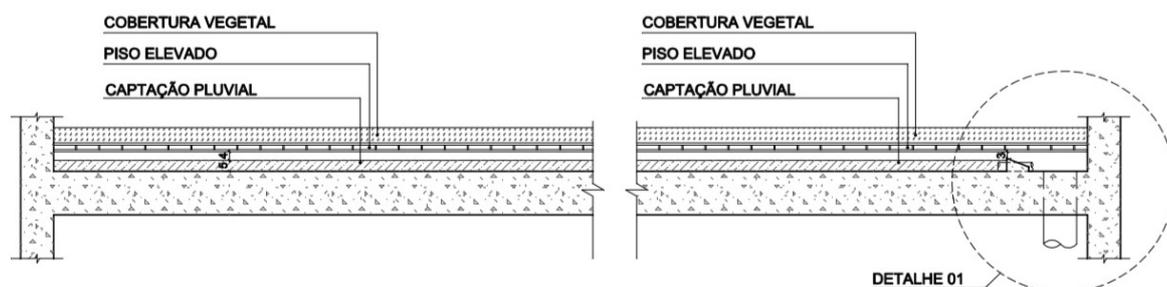
Bacia de amortecimento de cheias é um grande reservatório construído para o armazenamento temporário das águas das chuvas, que escoam por telhados, pátios, ruas, calçadas e redes pluviais, liberando esta água acumulada de forma gradual, garantindo assim que o sistema de macrodrenagem local conduza eficientemente os picos das enxurradas.

Figura 60 - Planta baixa da localização do tanque 02



Fonte: (Engenhosul, 2019)

Figura 61 – Detalhe construtivo do tanque 02



Fonte: (Engenhosul, 2019)

Quando a empresa que projetou o empreendimento, houve uma pesquisa previa com relação aos pesos específicos dos telhados, principalmente com relação ao telhado que serve como tanque de amortização de água da chuva, levando em consideração o peso do substrato molhado.

Não houve contato direto entre o setor de projetos e a Empresa A, todas as especificações fornecidas pela equipe de projetistas para a elaboração do projeto foram extraídas do site da Empresa A como alturas, pesos e demais informações. O primeiro contato direto ocorreu entre a parte executante do projeto e empresas fornecedoras de telhado verde com objetivos de viabilidade econômica e posteriormente técnicos.

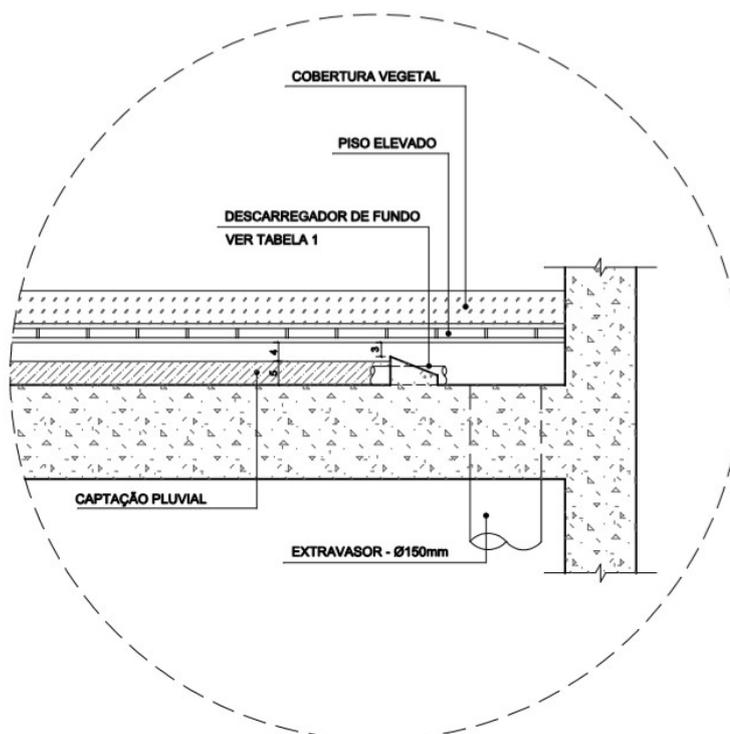
Nenhuma das coberturas foi projetada para acesso ao público, os acessos nas coberturas ocorrem apenas para manutenção, tendo como principais motivos o sobrepeso gerado e questões de segurança.

4.1.2 Execução

A instalação dos dois sistemas de telhado verde Alveolar Leve e Laminar Médio instalados no Teatro Unisinos e no Espaço Unisinos respectivamente, tiveram uma duração aproximada de 20 dias cada, onde houve algumas dificuldades na execução do sistema instalado no Espaço Unisinos, onde o projeto teve que ser readequado para manter a bacia de amortização pluvial prevista sob o telhado verde, conforme mostrado no projeto de retenção pluvial e detalhado na figura 62.

Reiterando o que o que o arquiteto responsável pelo projeto havia informado, foi levado em consideração as cargas que compõe todo o sistema de telhado verde disponibilizadas pela Empresa A, para dimensionamento da parte estrutural do projeto. No caso do teatro, foi levado em consideração todo o sistema de telhado verde (módulo, substrato e grama), impermeabilização e proteção mecânica. Enquanto no Espaço Unisinos foi somado a carga de uso da bacia de retenção.

Figura 62 – Detalhe construtivo



Fonte: (Engenhosul, 2019)

Figura 63 - Extravasor da laje do Espaço Unisnos



Fonte: (Engenhosul, 2019)

A contratação e execução de todo o Teatro Unisnos foi realizado em um segundo momento, onde foi dado prioridade para as etapas construtivas do prédio educacional da instituição devido ao prazo de inauguração. Este espaçamento entre as execuções dos dois sistemas de telhado verde pode ser notado a partir da figura 64.

Figura 64 - Vista aérea da Unisnos Porto Alegre



Fonte: (Engenhosul, 2019)

Mesmo a área de instalação do sistema Alveolar Leve sendo menor, a execução deste sistema teve algumas particularidades como um sistema de irrigação automatizada, como mostra a figura 65.

Figura 65 - Irrigação automatizada do sistema Alveolar Leve do Teatro Unisinos



Fonte: (Engenhosul, 2019)

Para a parte de execução dos sistemas, não houve um projeto específico detalhando construtivamente as etapas a serem seguidas na instalação dos sistemas, havendo apenas um projeto de paisagismo que foi utilizado como referência básica para a etapa de orçamentação das empresas prestadoras deste tipo de telhado. Onde desta forma ocorreu a contratação da Empresa A especializada em construções sustentáveis, que conta com um responsável técnico para as execuções dos projetos.

Durante e após a instalação dos sistemas de telhado verde, a empresa executante informou que não houve relatos de manifestações patológicas tanto no próprio sistema de cobertura, quanto nas lajes como infiltrações e manchas de mofo.

No decorrer do processo de instalação, não foi realizado relatórios das etapas de construção do empreendimento por parte da empresa executante, devido a empresa contar com uma equipe técnica residente no local. No que se refere a parte de relatórios, a empresa executante montou um manual de uso e operação do proprietário, onde contempla todas as instalações do empreendimento e na parte que inclui a manutenibilidade dos sistemas de telhado verde foi anexado o manual fornecido pela Empresa A.

Figura 66 - Instalação dos módulos do sistema Laminar Médio e colocação da membrana de absorção



Fonte: (Engenhosul, 2019)

Não houve relatos sobre os módulos poliméricos terem apresentado rupturas no momento de sua instalação devido aos instaladores terem que subir em cima. Onde após a instalação completa dos sistemas de telhado verde (módulos, substrato e grama) não houve indícios de profissionais que apresentaram algum tipo de desconforto sentindo inseguros em cima da cobertura.

Figura 67 - Instalação da membrana de absorção sobre o sistema Laminar Médio



Fonte: (Engenhosul, 2019)

Figura 68 - Colocação do substrato sobre a membrana de absorção



Fonte: (Engenhosul, 2019)

A empresa executante menciona que não houve grandes problemas após adequação de projeto, sendo relatado apenas dificuldades na etapa de execução devido a logística de instalação que não estava documentada por parte dos instaladores da empresa A.

4.1.3 Fiscalização

Ao que se refere a parte de fiscalização referente a obra da Universidade do Vale do Rio dos Sinos ficou aos cuidados do coordenador de projetos e obras e da equipe de operações da própria instituição de ensino. Consistiu em fiscalizar todas as etapas da construção, desde o projeto à execução, cuidando para que fossem atendidos os prazos e custos previstos no período de elaboração.

Segundo a fiscalização do empreendimento, a Empresa A fornecedora e instaladora dos sistemas de telhado verde no empreendimento de estudo, não realizou impermeabilização nas lajes de cobertura onde seriam instalados os telhados verdes. Para o processo de impermeabilização das lajes de cobertura foi contratada uma empresa terceirizada especializada em impermeabilização onde foi realizada a colocação de manta dupla e posteriormente feita uma proteção mecânica com cimento e areia, para garantir a proteção da manta.

Quando foi elaborado o projeto, o arquiteto responsável falou a respeito dos telhados e parede verde, porém ainda não estava definido quem seria o fornecedor. Portanto essas informações foram buscadas dos sites das empresas. Além disso, os arquitetos fizeram uma sondagem com o mercado, para saber como funcionavam os sistemas de telhado verde.

A fiscalização do empreendimento não teve contato direto com a Empresa A, este contato ocorreu entre a empresa que executou a obra e empresa fornecedora dos sistemas de telhado verde. Segunda a parte fiscalizadora, o processo de contratação da empresa ocorreu após a empresa que iria executar a obra realizar os orçamentos e pesquisas sobre os pesos específicos de cada determinado sistema de telhado verde. Mesmo, o sistema de telhado do Teatro ter o peso inferior a um sistema completo de outro tipo de cobertura como por exemplo de telhas cerâmicas ou de fibrocimento, saber o peso específico se tornou de suma importância para a cobertura do Espaço Unisinos que teria como uso a bacia de detenção.

Com relação aos telhados verdes não houve manifestações patologias até o presente momento, porém pode ser ressaltado que nos dias mais chuvosos a água permeia por dentro da parede verde devido a intensidade da chuva fazendo com que molhe a área interna do espaço Unisinos, esta problemática pode ter ocorrido devido a fatores implícitos ao projeto ou a execução da parede verde.

4.1.4 Manutenção

A realização das atividades de manutenção e inspeção nos telhados verdes ocorrem de forma preventiva em períodos espaçados de 15 dias, onde é realizado a poda, colocação de fertilizantes, manutenções na membrana de absorção, adição de substrato em cima da membrana de absorção quando necessário e o controle do tipo de vegetação que nasce, devido as sementes que o vento e os próprios pássaros trazem para o telhado. (Figuras 69 e 70)

Figura 69 - Módulos do sistema Laminar médio expostos



Fonte: Registrado pelo autor

Figura 70 – ausência de substrato sobre a membrana de absorção



Fonte: Registrado pelo autor

As manutenções de forma geral, acontecem de forma rotineira, onde as manutenções são demandadas via software, separadas por manutenções preventivas e corretivas. Para o tratamento das ações corretivas, é aberto uma ordem de serviço que gera uma lista de tratativas e em seguida é atendida pela empresa terceirizada. Já para as ações preventivas que ocorrem nos telhados verdes, de acordo com o manual do proprietário disponibilizado pela empresa que executou o empreendimento e que está anexado o manual da Empresa A, ela sugere que as manutenções preventivas ocorram a cada 3 meses.

As ações preventivas também foram automatizadas no sistema, com os mesmos moldes de uma ordem de serviço, porém programadas para os períodos de realização, onde somente os postos de atendimento da Unisinos tem acesso para abertura destas ordens de serviços de atendimento.

Os telhados verdes que compõe a cobertura do Espaço Unisinos são acessados apenas para manutenção, onde não é necessário o uso de tabuas ou materiais semelhantes para caminhar em cima. Para o Espaço Unisinos, o acesso ao telhado é disponível apenas por uma escada marinho, enquanto para manutenção do telhado do teatro é realizado entrando pela sala de aula do prédio institucional como mostra a figura 71.

Figura 71 - Acesso ao telhado verde do Teatro Unisinos



Fonte: Registrado pelo autor

A vegetação é composta por boldo chileno (figura 72) que tem como característica principal uma manutenção mais prática se comparado com o plantio de grama e sua facilidade de adaptação ao clima da região sul do Brasil. O Boldo Chileno é a vegetação mais utilizada pela Empresa A, devido sua baixa manutenção e facilidade de plantio e por atrair polinizadores, garantindo o aumento da produção de sementes férteis e consequentemente da biodiversidade.

Figura 72 - Vegetação de Boldo chileno na cobertura do Espaço Unisinos



Fonte: Registrado pelo autor

Devido a Unisinos não possuir mão de obra própria, a instituição terceiriza seus serviços de manutenção, onde devido a modernidade do campus de Porto Alegre, a grande maioria das manutenções ocorrem de forma automatizada. Anteriormente o escopo de manutenção dos telhados verdes ficava aos cuidados da Empresa A, porem após o período de contrato, a Unisinos passou a manutenção dos telhados verdes para a empresa que já atuava em outras manutenções prediais dentro da instituição.

A instituição aumentou o escopo da empresa terceirizada que já realizava manutenções na Unisinos de São Leopoldo e atualmente em Porto Alegre. Apenas para as manutenções que exigem conhecimentos técnicos mais aprimorados na área, como as manutenções que ocorrem na parede verde, onde é contratado uma outra empresa especializada que seja apta para trabalhos em altura.

A obra da Unisinos porto Alegre teve duração de aproximadamente dois anos, tendo sido concluído em julho de 2017, desde então as manutenções que ocorrem no telhado verde são apenas da vegetação, como realização da poda, aplicação de fertilizante, realização de sementeira de novas plantas. A empresa A não disponibilizou garantia para nenhum dos sistemas de telhado instalados na Unisinos, porém, ainda não houve necessidade de troca de nenhum tipo módulo dos sistemas de telhado verde durante até o presente momento.

Devido a curva de tempo entre os sistemas de telhado verde ser de apenas 2 anos da sua instalação, se torna difícil comparar este tipo de sistema com os demais sistemas instalados tanto no campus de Porto Alegre quanto de São Leopoldo. Todavia, mesmo tendo alto investimento inicial, sua manutenção ao longo prazo se torna mais viável devido sua praticidade se comparado com os demais telhados.

4.2 ANÁLISE DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste tópico será apresentado os resultados obtidos através da caracterização térmica das análises de calorimetria exploratória diferencial e termogravimetria e dos ensaios de compressão que compreendem a caracterização mecânica desta pesquisa.

4.2.1 Caracterização térmica

Devido as características térmicas das amostras dos três módulos poliméricos dos sistemas de telhado verde terem apresentado um comportamento análogo, os tópicos apresentados posteriormente denominados Análise de Calorimetria Exploratória Diferencial e o tópico Análise Termogravimétrica tem como objetivo descrever de forma geral as características semelhantes entre as amostras.

4.2.1.1 Análise de calorimetria exploratória diferencial (DSC)

A partir da análise das curvas de calorimetria exploratória diferencial (DSC) realizadas nas amostras dos módulos poliméricos dos sistemas Alveolar Leve, Laminar Médio e Laminar Alto, foi notado que todos os gráficos apresentaram uma transição de primeira ordem o que gerou uma variação endotérmica. Esta variação dá origem a formação de picos, segundo Canevarolo (2004) isto pode ocorrer devido a fusão e perda de massa da amostra (através de vaporização de aditivos ou produtos voláteis de reação ou decomposição).

A fusão é caracterizada como uma transição de primeira ordem, sendo uma característica de polímeros semicristalinos. O ponto de fusão é a temperatura na qual desaparece de forma total a cristalinidade do polímero correspondente (CANEVAROLO, 2004)

Como explicado por Canevarolo (2004) no item 2.3.1.2 desta pesquisa, a linha base ideal é uma reta paralela ao eixo X em toda a faixa de temperatura, porem pode ocorrer variações, tanto no sentido positivo quanto negativo do fluxo de calor, que pode ser acarretado por diversos fatores como variação de calor, perda de massa da amostra ou até mesmo alteração da programação de temperatura da amostra.

4.2.1.2 Análise termogravimétrica (TG)

Já na análise termogravimétrica (TG) dos módulos poliméricos dos sistemas de telhado verde Alveolar Leve, Laminar Médio e Laminar Alto, nota-se que todas as curvas das amostras se mantiveram termicamente estáveis gerando um patamar inicial constante até 300 °C. Após essa temperatura iniciou-se o processo de decomposição térmica iniciando também a liberação de aditivos.

Para Canevarolo (2004), as curvas geradas a partir da análise termogravimétrica fornecem informações quanto a estabilidade térmica das amostras, à composição e à estabilidade dos compostos intermediários e do produto final.

Já no final da curva onde a temperatura na qual as variações acumuladas de massa atingem seu valor máximo há o término da decomposição térmica das amostras, com a total liberação de aditivos, onde a partir destes pontos as mostras se tornam termicamente estáveis novamente no seu patamar final.

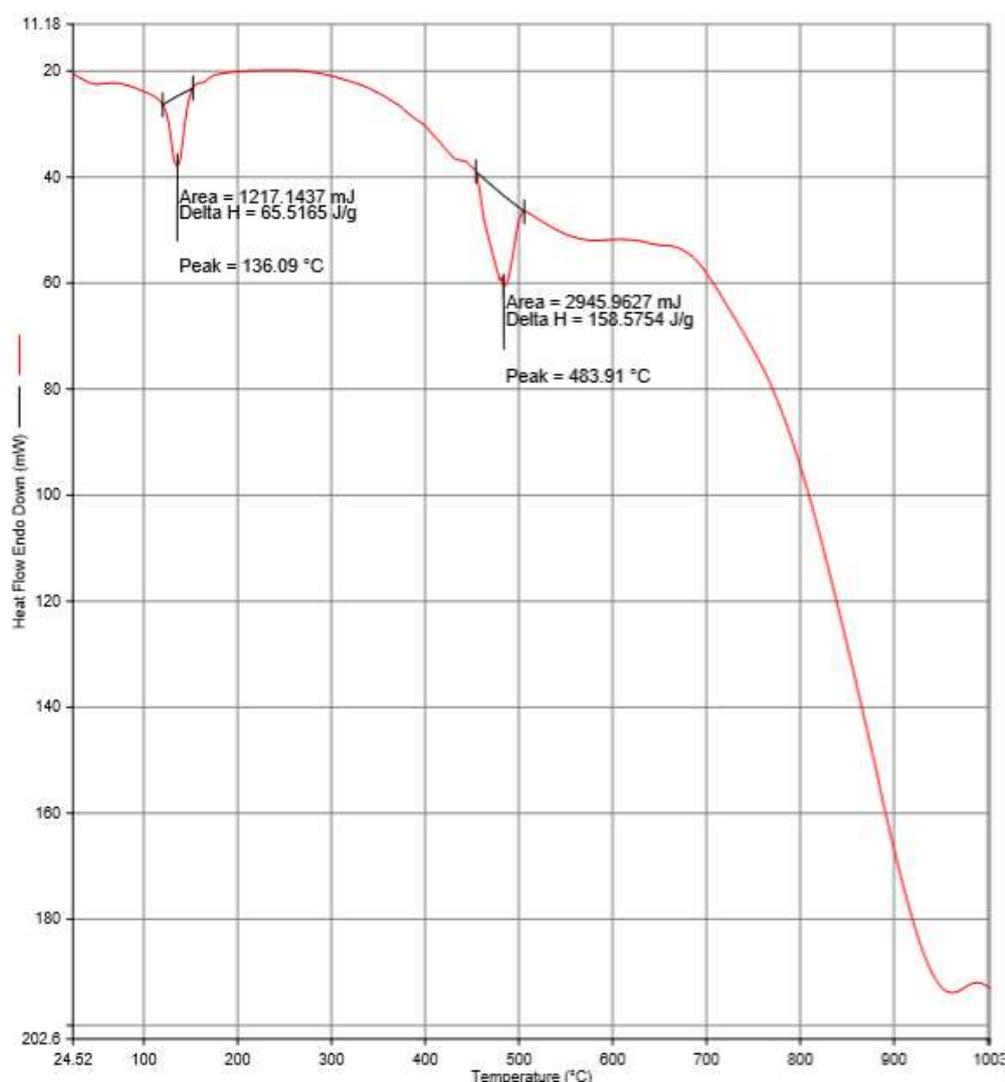
Carnevarolo (2004) também explica que as variações de massa que ocorrem nos ensaios de termogravimetria podem ser determinados de forma quantitativa enquanto outras análises da curva TG são analisadas empiricamente, visto que a temperatura dos eventos térmicos depende de parâmetros relacionados as características das amostras e a fatores instrumentais.

Logo, partindo desta premissa, pode-se afirmar que a variação de massa entre o estado inicial e o estado de degradação total ficou na faixa dos 3%, ou seja, é possível dizer que 97% das amostras dos sistemas são polímeros e os restante são apenas compostos inorgânicos como por exemplo aditivos que são intrínsecos a qualquer polímero.

4.2.1.3 Análise térmica: Sistema Alveolar Leve

A partir da análise da curva de calorimetria exploratória diferencial (DSC) do polímero que compõe o módulo Alveolar Leve apresentado pelo gráfico 2, apresentou-se um ponto de fusão na faixa dos 136,09 °C localizado no seu primeiro pico abaixo da linha base. E o segundo ponto endotérmico ficou na faixa dos 483,91°C onde ocorreu a máxima degradação da amostra deste polímero.

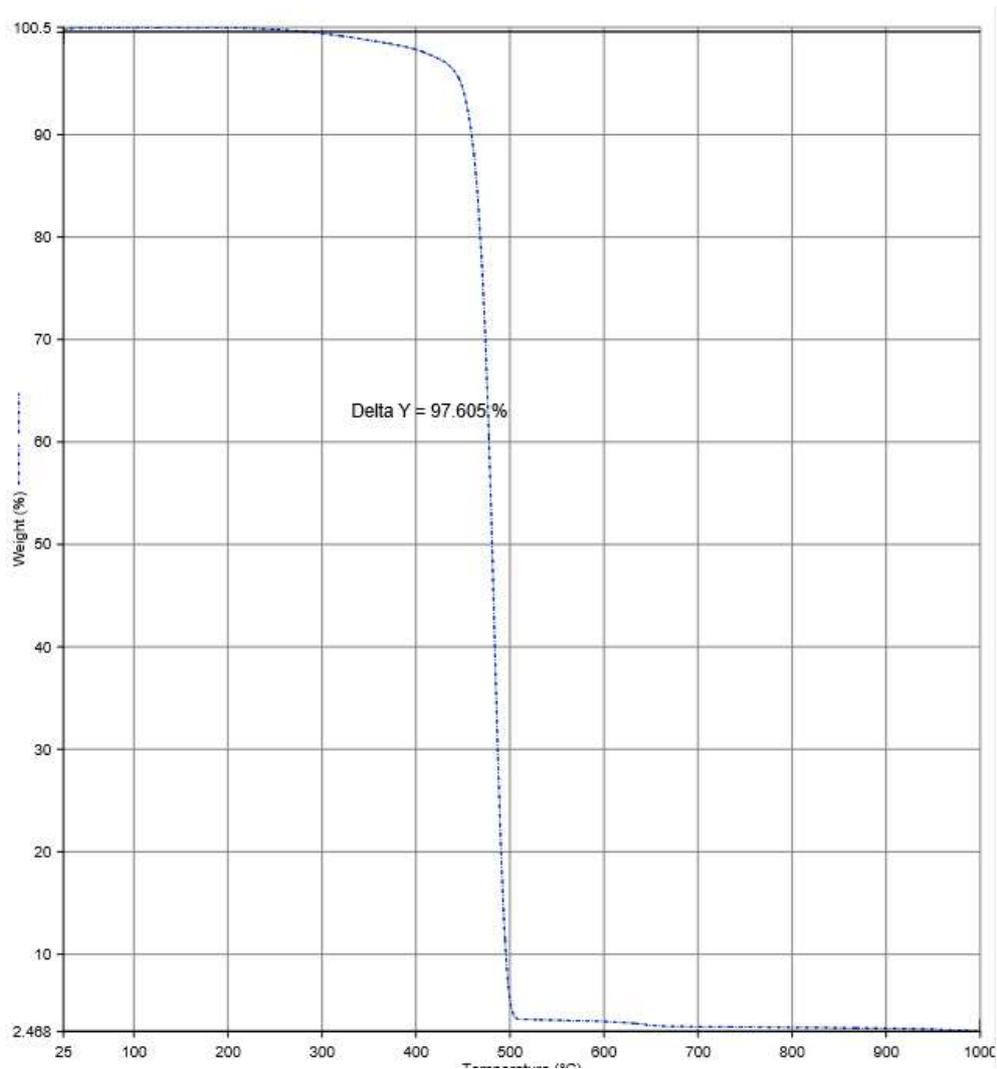
Gráfico 2 - Curva DSC do polímero reciclado com massa de amostra de 18,578mg do sistema Alveolar Leve



Fonte: Elaborado pelo Autor

Na análise termogravimétrica (TG) apresentada pelo gráfico 3, a mostra se manteve estável até os 300 °C onde iniciou seu processo de degradação, após a queda de degradação total a amostra estabilizou próximo dos 500 °C, onde voltou a permanecer termicamente estável. Através deste gráfico, pode-se dizer que 97,60% do material analisado é polímero, sendo 2,40% são compostos inorgânicos inerentes a qualquer composto polimérico.

Gráfico 3 - Curva TGA do polímero reciclado com massa de amostra de 18,578mg do sistema Alveolar Leve



Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nas informações obtidas através dos gráficos de DSC e TG, os resultados apresentam características térmicas semelhantes ao polietileno de alta densidade (PEAD) conforme tabela 4 elaborada pela empresa TA Instruments

Tabela 4 - Características térmicas dos polímeros

Common Polymers Reference						
Acronym	Polymer	T _g (°C)	T _m (°C)	TGA** Decomp T	Linear CTE (°C ⁻¹)	Flexural Modulus (MPa)
ABS	Acrylonitrile Butadiene styrene	110 – 125	–	375	65 – 95	2070 – 4140
PMMA	Polymethylmethacrylate	85 – 110	160	313	50 – 90	2240 – 3170
	Acrylonitrile	95	135	–	66	3450 – 4070
PTFE	Polytetrafluoroethylene	126*	327	525	70-120	525
PVDF	Polyvinylidene fluoride	-60 – -20	170 – 178	470	70-142	1724 – 2896
Nylon 6	Nylon 6	40 – 87*	210 – 220	400	80 – 83	2690
Nylon 6.6	Nylon 6.6	50*	255 – 265	426	80	2830 – 3240
PC	Polycarbonate	140 – 150	–	473	68	2350
PBT	Polybutylene terephthalate	–	220 – 287	386	60 – 95	2280 – 2760
PET	Polyethylene terephthalate	73 – 80	245 – 265	414	65	2410 – 3100
PEEK	Polyetheretherketone	150	334	575	40 – 108	3860
PEI	Polyetherimide	215 – 217	–	–	47 – 56	3310
LDPE	Low density Polyethylene	-25	98 – 115	459	100 – 220	240 – 330
HDPE	High Density Polyethylene	60 – 80	130 – 137	469	59 – 110	1000 – 1550
PI	Polyimide	–	310 – 365	–	45 – 56	3100 – 3450
PPO	Polyphenylene Oxide	100 – 142	–	400	38 – 70	2250 – 2760
PPS	Polyphenylene Sulfide	88	285 – 290	508	49	3790
PP	Polypropylene	-20	160 – 175	417	81 – 100	1170 – 1720
PS	Polystyrene	74 – 109	240 – 250	351	50 – 83	2620 – 3380
PSO	Polysulfone	190	–	510	56	2690
PES	Polyethersulfone	220 – 230	–	–	55	2400 – 2620
PVC	Polyvinyl Chloride	75 – 105	–	265	50 – 100	2070 – 3450

Source: Modern Plastics Encyclopedia, Mid-October Issue, Vol. 66, No. 11, McGraw Hill, Inc., New York, New York, 1989.
 *Polymer Handbook, Second edition, J. Brandrup, E.H. Immergut, John Wiley and Sons, New York, New York, 1975.
 **TA Instruments Library (heating rate of 20°C/min.).

Fonte: (TA instruments, 2018)

O PEAD é caracterizado como um polímero termoplástico, sendo um material que pode ser remoldado com facilidade quando submetido ao aquecimento, devido ter a estrutura menos rígida, formado por interações que quebram sob aquecimento e se reestabelecem quando resfriadas (CANEVAROLO, 2006).

Canevarolo (2006) também fala que os termoplásticos são polímeros de baixo custo, baixo nível de exigência mecânica, alta produção e facilidade de processamento. Atualmente, produção de termoplásticos somados corresponde a aproximadamente 90% da produção total de polímeros no mundo.

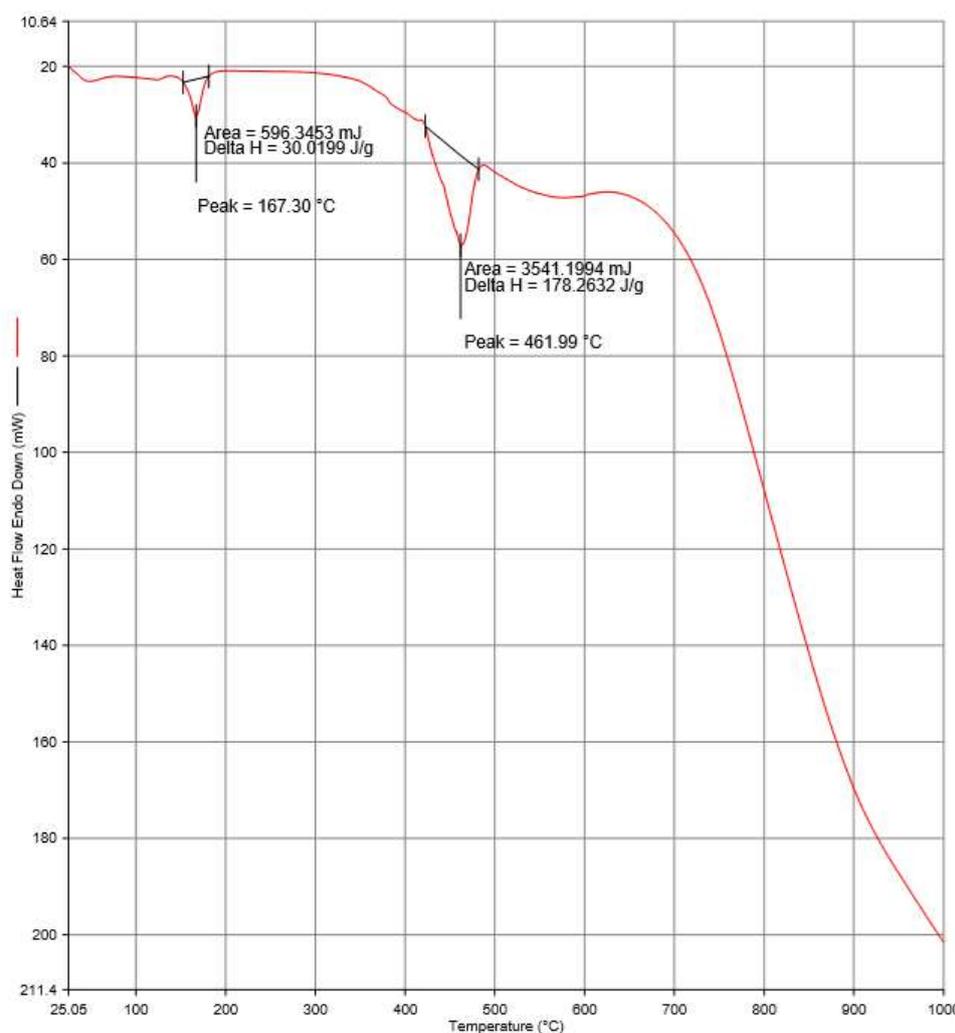
Porém, Zanin e Mancini (2015) contrapõe que este polímero apresenta um processamento mais dificultoso quando se refere aos aspectos de reutilização. Logo necessita-se de maiores testes para confirmar qual a origem do material polimérico reciclado que compõe este sistema.

4.2.1.4 Análise térmica: Sistema Laminar Médio

A partir da análise da curva de calorimetria exploratória diferencial (DSC) do polímero que compõe o módulo Laminar Médio apresentado pelo gráfico 4, notou-se um ponto de fusão na faixa dos 167,30 °C localizado no seu primeiro pico abaixo da

linha base. E o segundo ponto endotérmico ficou na faixa dos 461,99°C onde ocorreu a máxima degradação da amostra deste polímero

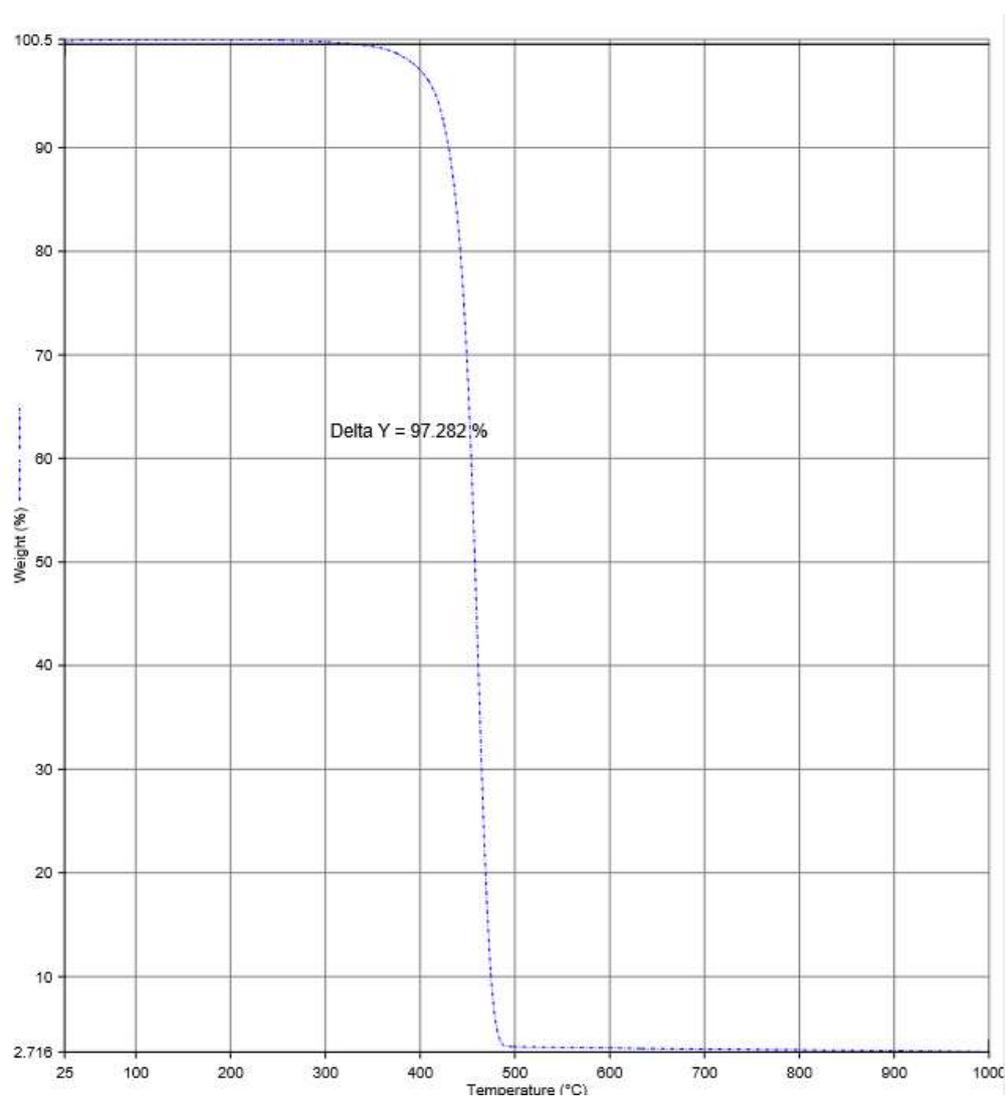
Gráfico 4 - Curva do polímero reciclado com massa de amostra de 19,865mg do sistema Laminar Médio



Fonte: Elaborado pelo autor

Na análise termogravimétrica (TG) apresentada pelo gráfico 5, a mostra se manteve estável até os 300 °C onde iniciou seu processo de degradação, após a queda de degradação total a amostra estabilizou próximo dos 500 °C, onde voltou a permanecer termicamente estável. Através deste gráfico, pode-se dizer que 97,28% do material analisado é polímero, sendo 2,72% são compostos inorgânicos inerentes a qualquer composto polimérico

Gráfico 5 - Curva TGA do polímero reciclado com massa de amostra de 19,865mg do sistema Laminar Médio



Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nas informações obtidas através dos gráficos de DSC e TG, os resultados apresentam características térmicas semelhantes ao polímero polipropileno (PP) conforme tabela 5 elaborada pela empresa TA Instruments

Tabela 5 - Características térmicas dos polímeros

Common Polymers Reference						
Acronym	Polymer	T _g (°C)	T _m (°C)	TGA** Decomp T	Linear CTE (°C ⁻¹)	Flexural Modulus (MPa)
ABS	Acrylonitrile Butadiene styrene	110 – 125	–	375	65 – 95	2070 – 4140
PMMA	Polymethylmethacrylate	85 – 110	160	313	50 – 90	2240 – 3170
	Acrylonitrile	95	135	–	66	3450 – 4070
PTFE	Polytetrafluoroethylene	126*	327	525	70-120	525
PVDF	Polyvinylidene fluoride	-60 – -20	170 – 178	470	70-142	1724 – 2896
Nylon 6	Nylon 6	40 – 87*	210 – 220	400	80 – 83	2690
Nylon 6,6	Nylon 6,6	50*	255 – 265	426	80	2830 – 3240
PC	Polycarbonate	140 – 150	–	473	68	2350
PBT	Polybutylene terephthalate	–	220 – 287	386	60 – 95	2280 – 2760
PET	Polyethylene terephthalate	73 – 80	245 – 265	414	65	2410 – 3100
PEEK	Polyetheretherketone	150	334	575	40 – 108	3860
PEI	Polyetherimide	215 – 217	–	–	47 – 56	3310
LDPE	Low density Polyethylene	-25	98 – 115	459	100 – 220	240 – 330
HDPE	High Density Polyethylene	60 – 80	130 – 137	469	59 – 110	1000 – 1550
PI	Polyimide	–	310 – 365	–	45 – 56	3100 – 3450
PPO	Polyphenylene Oxide	100 – 142	–	400	38 – 70	2250 – 2760
PBS	Polyphenylene Sulfide	88	285 – 290	508	40	3790
PP	Polypropylene	-20	160 – 175	417	81 – 100	1170 – 1720
PS	Polystyrene	74 – 109	240 – 250	351	50 – 83	2620 – 3380
PSO	Polysulfone	190	–	510	56	2690
PES	Polyethersulfone	220 – 230	–	–	55	2400 – 2620
PVC	Polyvinyl Chloride	75 – 105	–	265	50 – 100	2070 – 3450

Source: Modern Plastics Encyclopedia, Mid-October Issue, Vol. 66, No. 11, McGraw Hill, Inc., New York, New York, 1989.
 **Polymer Handbook, Second edition, J. Brandrup, E.H. Immergut, John Wiley and Sons, New York, New York, 1975.
 ***TA Instruments Library (heating rate of 20°C/min.).

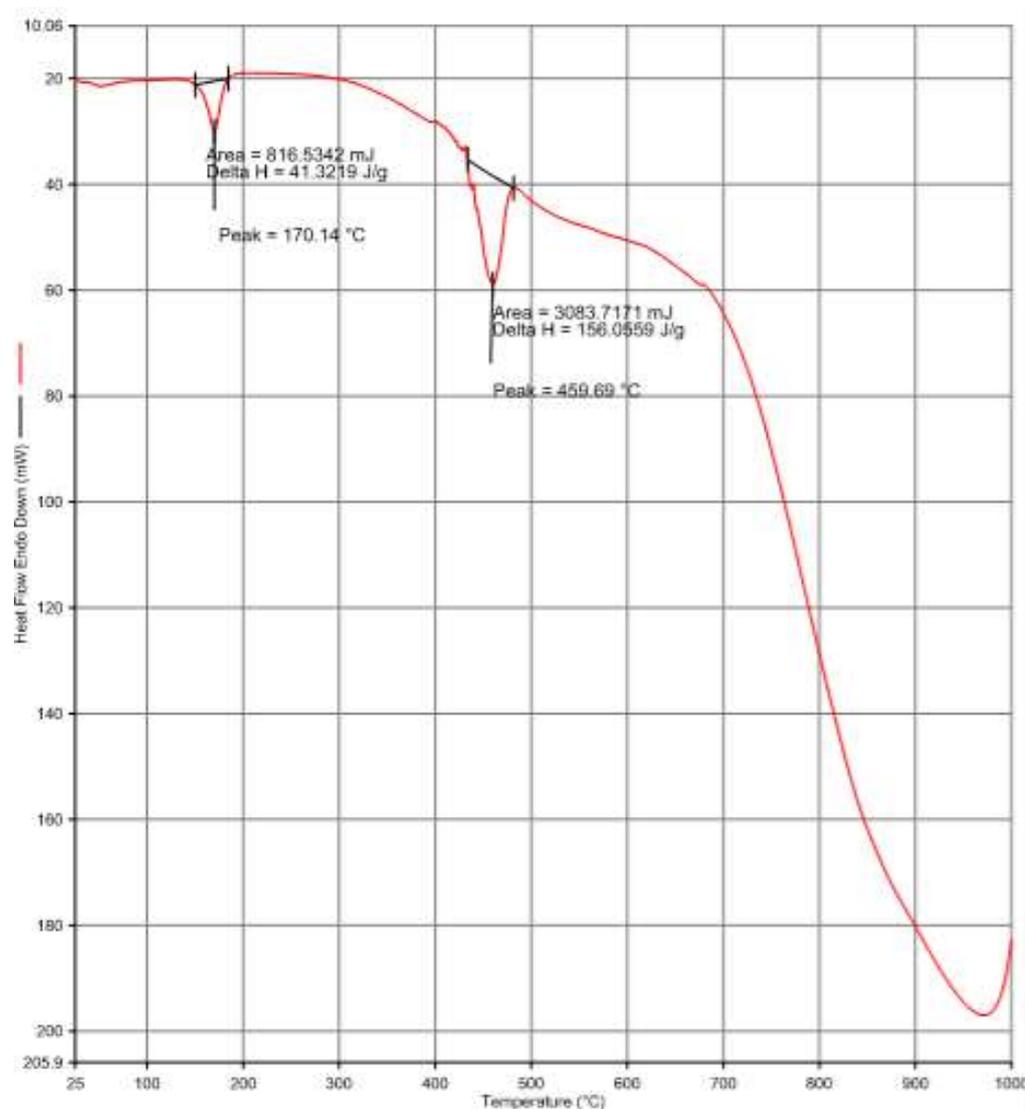
Fonte: (TA instruments, 2018)

Para Canevarolo (2006) o polipropileno pode ser caracterizado como um polímero termoplástico de baixa densidade que oferece um bom equilíbrio de características térmicas, químicas e elétricas. Este polímero apresenta uma grande resistência a rupturas por flexão, a fadiga e a impactos, além de possuir um baixo custo de fabricação. Atualmente é um dos polímeros mais utilizados na fabricação de recipientes devido a suas características físico-químicas citadas acima, sua facilidade de moldagem e de coloração. E quando sua resina é reforçada com fibra de vidro torna-se ainda mais resistente, sendo utilizada nas indústrias automotivas.

4.2.1.5 Análise térmica: Sistema Laminar Alto

A partir da análise da curva de calorimetria exploratória diferencial (DSC) do polímero que compõe o módulo Laminar Alto apresentado pelo gráfico 6, notou-se um ponto de fusão na faixa dos 170,14 °C localizado no seu primeiro pico abaixo da linha base. E o segundo ponto endotérmico ficou na faixa dos 459,69°C onde ocorreu a máxima degradação da amostra deste polímero.

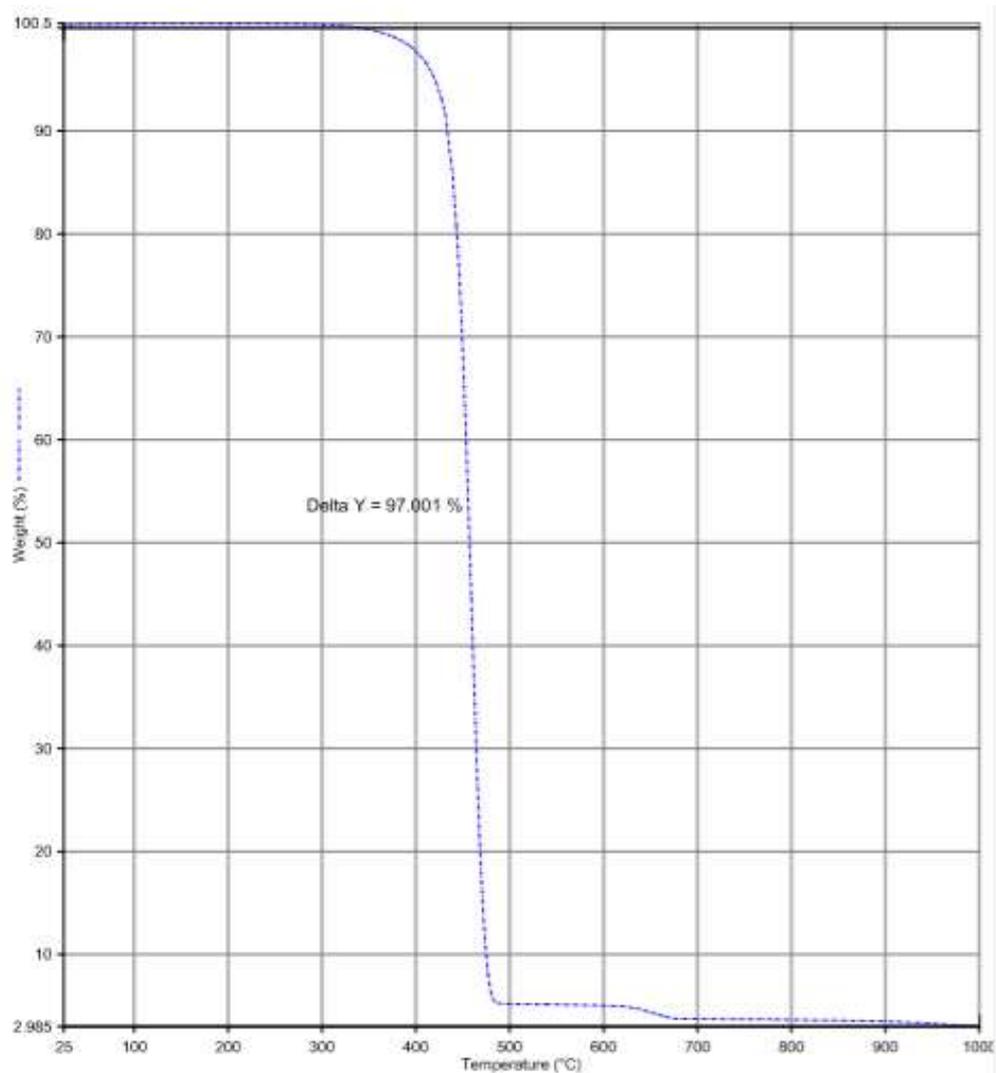
Gráfico 6 - Curva do polímero reciclado com massa de amostra de 19,760mg do sistema Laminar Alto



Fonte: Elaborado pelo autor

Na análise termogravimétrica (TG) apresentada pelo gráfico 7, a mostra se manteve estável até os 300 °C onde iniciou seu processo de degradação, após a queda de degradação total a amostra estabilizou próximo dos 500 °C, onde voltou a permanecer termicamente estável. Através deste gráfico, pode-se dizer que 97,00% do material analisado é polímero, sendo 3,00% são compostos inorgânicos inerentes a qualquer composto polimérico.

Gráfico 7 - Curva do polímero reciclado com massa de amostra de 19,760mg sistema Laminar Alto



Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nas informações obtidas através dos gráficos de DSC e TG, os resultados apresentam características térmicas semelhantes ao polímero polipropileno (PP) conforme tabela 6 elaborada pela empresa TA Instruments.

Tabela 6 - Características térmicas dos polímeros

Common Polymers Reference						
Acronym	Polymer	T _g (°C)	T _m (°C)	TGA** Decomp T	Linear CTE (°C ⁻¹)	Flexural Modulus (MPa)
ABS	Acrylonitrile Butadiene styrene	110 – 125	–	375	65 – 95	2070 – 4140
PMMA	Polymethylmethacrylate	85 – 110	160	313	50 – 90	2240 – 3170
	Acrylonitrile	95	135	–	66	3450 – 4070
PTFE	Polytetrafluoroethylene	126*	327	525	70-120	525
PVDF	Polyvinylidene fluoride	-60 – -20	170 – 178	470	70-142	1724 – 2896
Nylon 6	Nylon 6	40 – 87*	210 – 220	400	80 – 83	2690
Nylon 6,6	Nylon 6,6	50*	255 – 265	426	80	2830 – 3240
PC	Polycarbonate	140 – 150	–	473	68	2350
PBT	Polybutylene terephthalate	–	220 – 287	386	60 – 95	2280 – 2760
PET	Polyethylene terephthalate	73 – 80	245 – 265	414	65	2410 – 3100
PEEK	Polyetheretherketone	150	334	575	40 – 108	3860
PEI	Polyetherimide	215 – 217	–	–	47 – 56	3310
LDPE	Low density Polyethylene	-25	98 – 115	459	100 – 220	240 – 330
HDPE	High Density Polyethylene	60 – 80	130 – 137	469	59 – 110	1000 – 1550
PI	Polyimide	–	310 – 365	–	45 – 56	3100 – 3450
PPO	Polyphenylene Oxide	100 – 142	–	400	38 – 70	2250 – 2760
PBS	Polyphenylene Sulfide	88	285 – 290	508	40	3700
PP	Polypropylene	-20	160 – 175	417	81 – 100	1170 – 1720
PS	Polystyrene	74 – 109	240 – 250	351	50 – 83	2620 – 3380
PSO	Polysulfone	190	–	510	56	2690
PES	Polyethersulfone	220 – 230	–	–	55	2400 – 2620
PVC	Polyvinyl Chloride	75 – 105	–	265	50 – 100	2070 – 3450

Source: Modern Plastics Encyclopedia, Mid-October Issue, Vol. 66, No. 11, McGraw Hill, Inc., New York, New York, 1989.
 *Polymer Handbook, Second edition, J. Brandrup, E.H. Immergut, John Wiley and Sons, New York, New York, 1975.
 **TA Instruments Library (heating rate of 20°C/min.).

Fonte: (TA instruments, 2018)

Pode-se concluir que os módulos poliméricos Laminar Médio e Laminar Alto apresentam características térmicas que se assemelham, dando indícios de ser o mesmo polímero reciclado utilizado nos processos de fabricação destes sistemas de telhado verde.

4.2.2 Caracterização mecânica

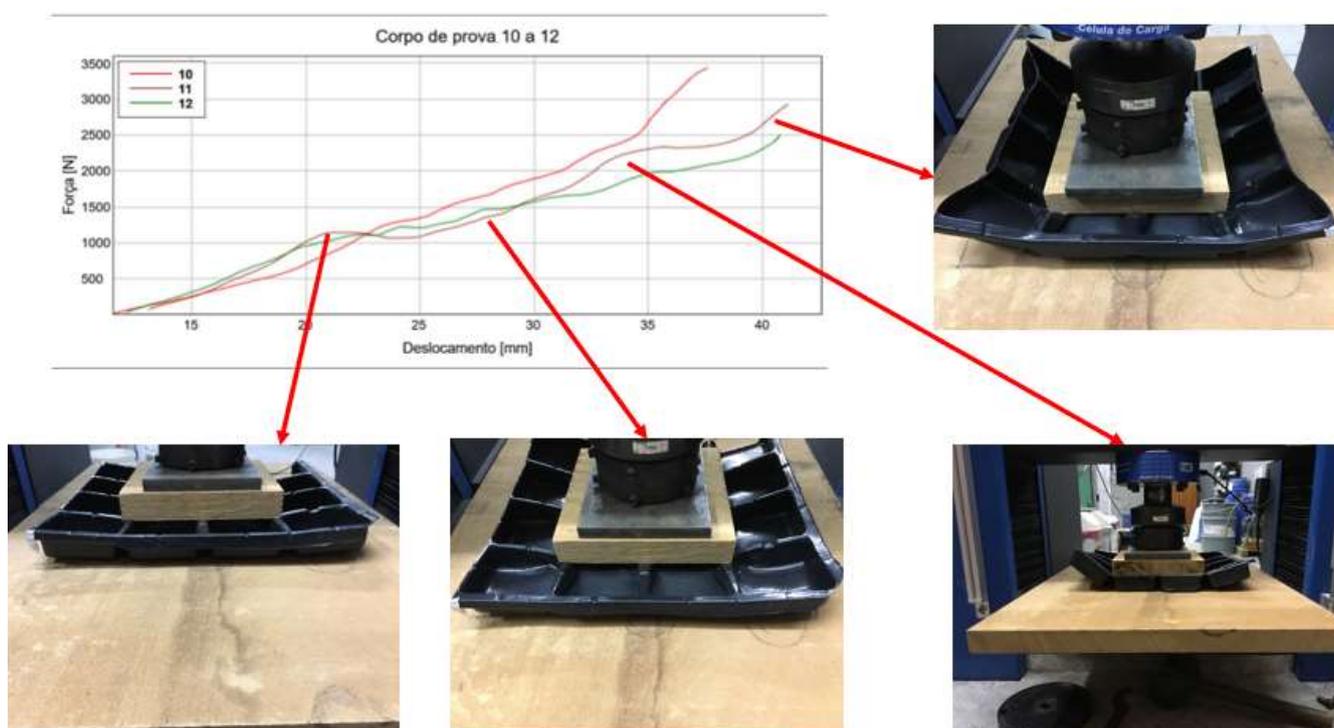
Como falado no item 3.3.2.2 de caracterização mecânica do capítulo de metodologia, para critério de análise da caracterização mecânica foi levado em consideração o item 9.2.4 do capítulo de Segurança no uso e na operação da Norma de Desempenho NBR 15575-5 (ABNT, 2013) onde define que para a verificação de resistência ao caminhamento, atividade que ocorre nos momentos de operação de montagem e manutenção, a cobertura deve suportar uma carga vertical concentrada maior ou igual a 1,2kN, sem apresentar ruptura, fissuras e outras falhas.

Entretanto o método avaliativo seguido nesta pesquisa é distinto ao descrito na norma, onde se fez uso apenas da carga mínima de 1,2kN descrita na norma de desempenho. Outro método avaliativo utilizado neste capítulo terá como enfoque principal as cargas máximas dos ensaios das amostras de dimensões 20x20

centímetros, área análoga a uma pisada de uma pessoa exercendo a atividade de montagem ou manutenção dos sistemas de telhado verde.

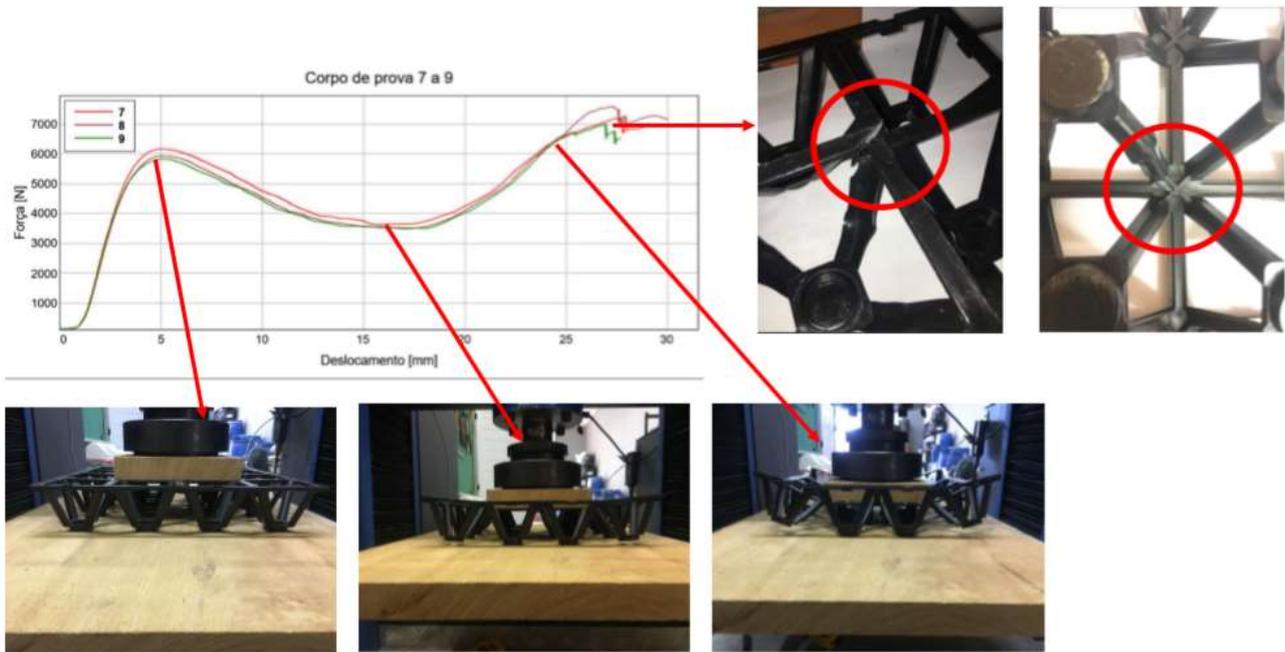
Os ensaios de compressão ocorreram até o limite máximo dos módulos tendo como finalidade analisar o formato final e a carga máxima suportada até o momento da sua ruptura. Todavia, após o primeiro pico máximo os módulos perderam seu formato original e conseqüentemente descaracterizou os sistemas estudados como exemplifica as figuras 73, 74, 75. Por conseguinte, foi utilizado os valores máximos do primeiro pico como método avaliativo, analisando se os sistemas atendem o critério de 1,2kN estipulados pela Norma de Desempenho 15575-5 (ABNT, 2013).

Figura 73 – Etapas do ensaio de compressão do sistema Alveolar Leve



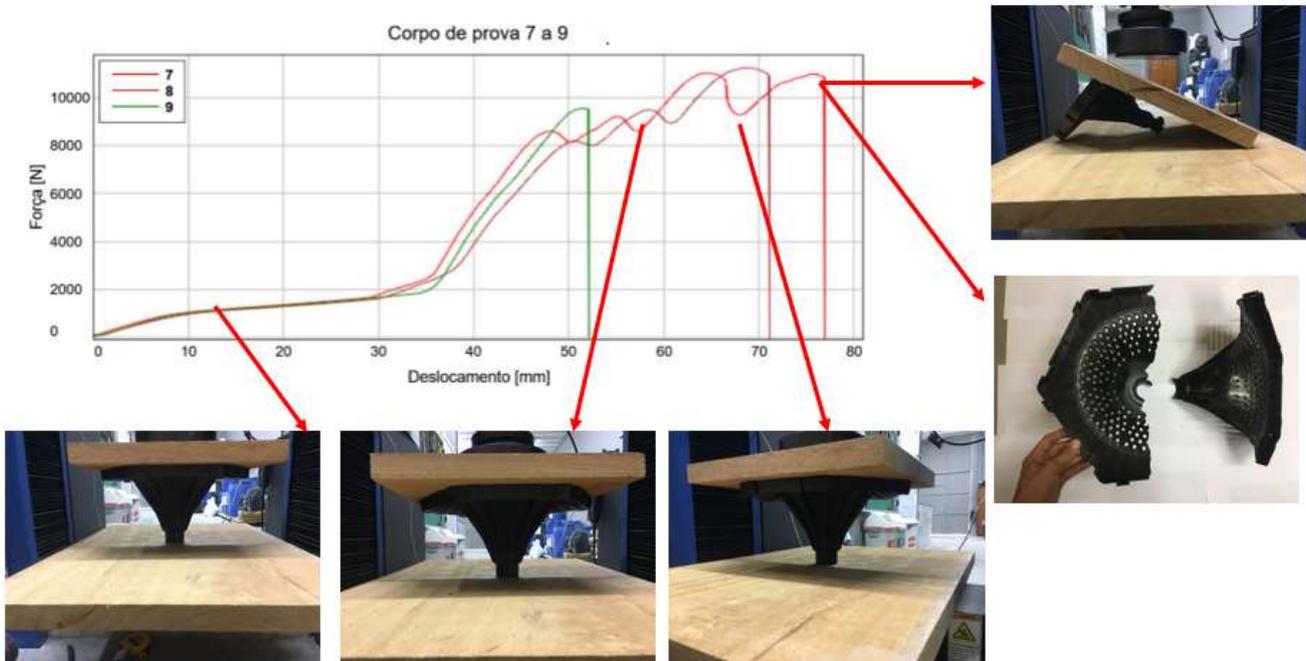
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 74 - Etapas do ensaio de compressão do sistema Laminar Médio



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 75 - Etapas do ensaio de compressão do sistema Laminar Alto

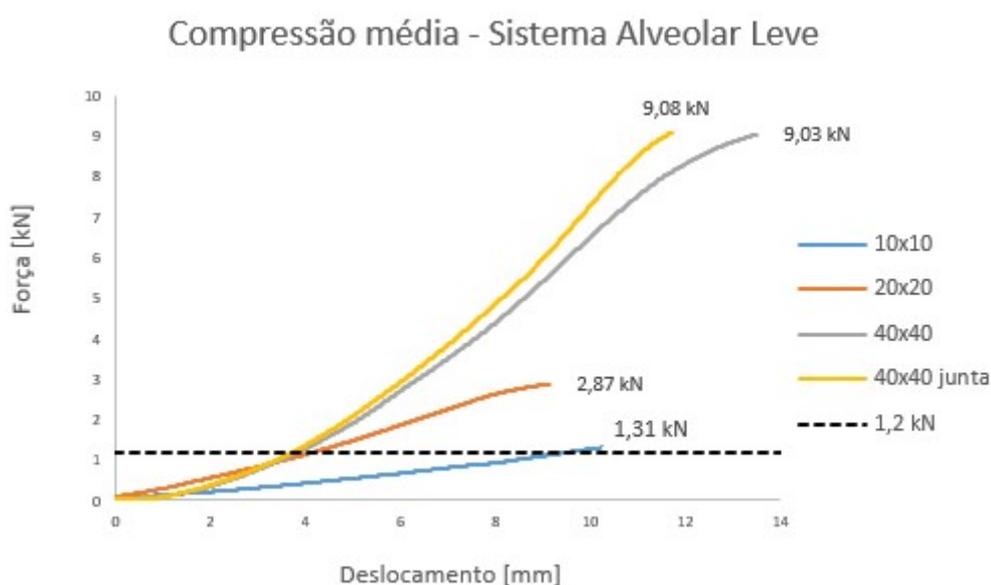


Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.2.1 Módulo Alveolar Leve

Conforme dito no item 3.3.2.2 do capítulo de metodologia, foi realizado quatro ensaios de compressão com áreas distintas de 10x10 centímetros, 20x20 centímetros, 40x40 centímetros e 40x40 centímetros com união de módulos com intuito de testar a ligação entre eles. O gráfico 8 abaixo mostra a média dos corpos de prova de cada sistema.

Gráfico 8 – Resumo do ensaio a compressão do sistema Alveolar Leve



Fonte: Elaborado pelo autor

A partir do gráfico 8, observa-se que as 4 amostras tiveram seus resultados acima da carga estabelecida pela NBR 15575-5 (ABNT, 2013) de 1,2 kN, onde a carga da amostra 20x20, análoga a uma pisada de uma pessoa executando os serviços de instalação ou manutenção teve como carga máxima 2,87 kN e o menor deslocamento dentre as demais amostras. Nota-se também a similaridade nas curvas geradas a partir das amostras 40x40 e 40x40 com junta, concluindo que onde se sucede ligações de um módulo com outro não ocorre instabilidades notadas a partir dos ensaios de compressão. A tabela 7 mostra os resumos dos resultados máximos obtidos através dos ensaios de compressão.

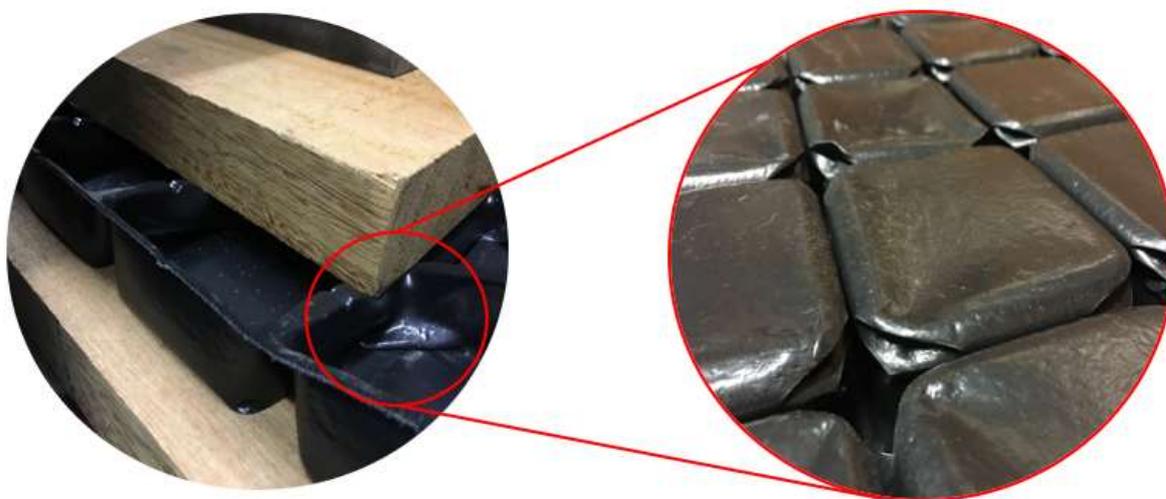
Tabela 7 - Tabela resumo do sistema Alveolar Leve

Ensaio	Força (kN)	Deslocamento (mm)	Deslocamento em 1,2 kN (mm)
10x10	1,31	10,23	9,53
20x20	2,87	9,15	4,17
40x40	9,03	13,48	3,84
40x40 com junta	9,08	11,72	3,73

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando os gráficos e os registros fotográficos dos ensaios é possível concluir que após a aplicação de carga máxima as amostras assumem uma deformação plástica, ou seja, deixam o regime elástico e perdem a capacidade de retornar à sua dimensão inicial. A figura 76 evidencia que após a aplicação de carga ocorreu uma deformação permanente nos cantos inferiores dos alvéolos por ser a área mais frágil do sistema.

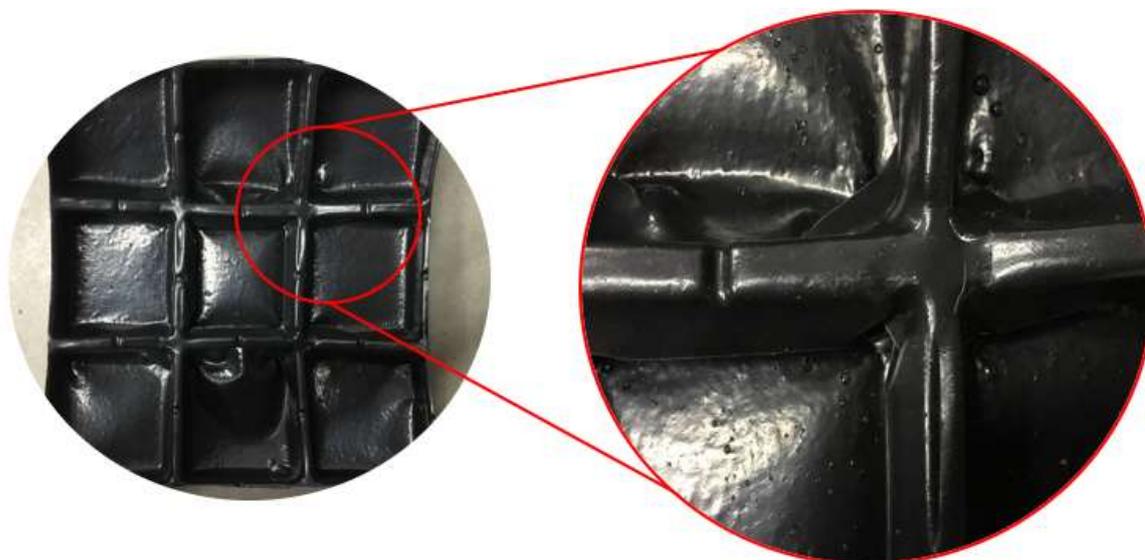
Figura 76 – Deformação plástica



Fonte: Registrado pelo autor

No decorrer dos ensaios, as amostras apresentaram fissuras nos perímetros superiores onde houve área de contato pela madeira quando aplicado a carga máxima. Esta incidência devido ao sobrepeso suportado pode gerar desde sensação de insegurança ao caminhar sobre os módulos à redução da durabilidade do sistema.

Figura 77 – Fissuras apresentadas após compressão máxima

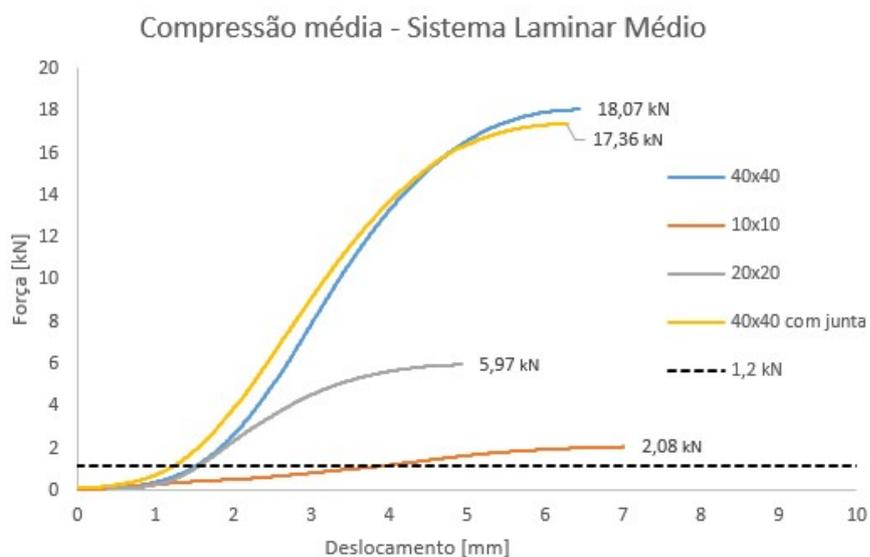


Fonte: Registrado pelo autor

4.2.2.2 Módulo Laminar Médio

Os ensaios de compressão mecânica neste sistema ocorreram em quatro diferentes áreas de aplicação de carga sendo eles 10x10 centímetros, 20x20 centímetros, 40x40 centímetros e 40x40 centímetros onde a carga de aplicação atuante foi localizada em cima do encaixe de um módulo com o outro. O gráfico 9 abaixo mostra a média dos corpos de prova de cada sistema.

Gráfico 9 - Resumo do ensaio a compressão do sistema Laminar Médio



Fonte: Elaborado pelo autor

A partir do gráfico 9 , observa-se que as 4 amostras tiveram seus resultados acima da carga estabelecida pela NBR 15575-5 (ABNT, 2013) de 1,2 kN, onde a carga da amostra 20x20, análoga a uma pisada de uma pessoa executando os serviços de instalação ou manutenção teve como carga máxima 5,97 kN e o menor deslocamento dentre as demais amostras.

Nota-se também a similaridade nas curvas geradas a partir das amostras 40x40 e 40x40 com junta, concluindo que onde se sucede ligações de um modulo com outro não ocorre instabilidades notadas a partir dos ensaios de compressão.

A tabela 8 mostra os resumos dos resultados máximos obtidos através dos ensaios de compressão.

Tabela 8 - Tabela resumo do sistema Laminar Médio

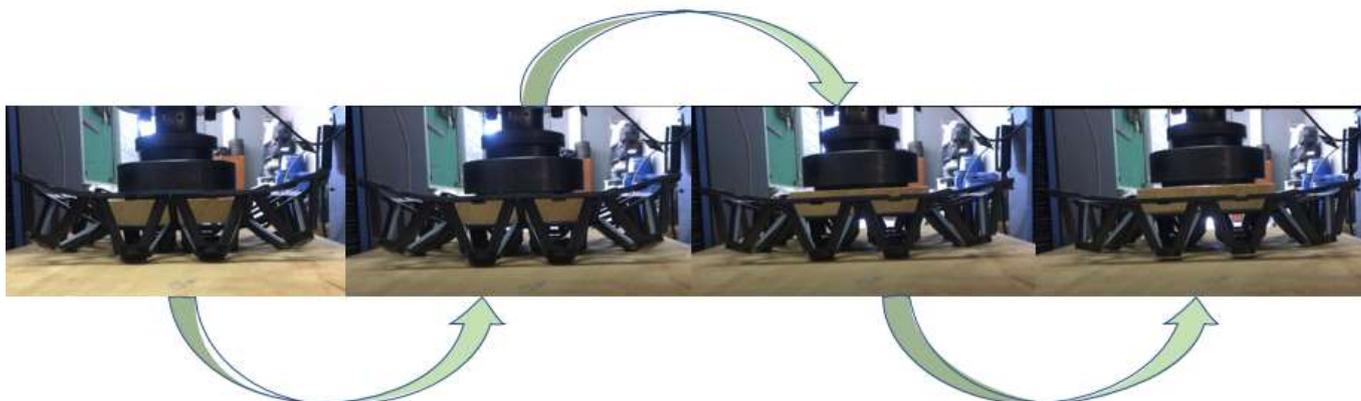
Ensaio	Força (kN)	Deslocamento (mm)	Deslocamento em 1,2 kN (mm)
10x10	2,08	7,00	1,53
20x20	5,97	4,93	3,98
40x40	18,07	6,43	1,57
40x40 com junta	17,36	6,28	1,25

Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar dos resultados das cargas e dos deslocamentos obtidos neste ensaio serem diferentes aos do sistema Alveolar Leve, é possível notar uma semelhança com relação ao comportamento de cada amostra, onde os ensaios de seção 10x10 resultaram em cargas máximas de aplicação inferiores as demais amostras e o comportamento símil entre as amostras 40x40 e 40x40 com junta.

Com relação aos aspectos analisados no decorrer dos ensaios, notou-se que após da aplicação máxima de carga os módulos retornavam de forma parcial ao seu estado original, ou seja, as amostras dão indícios de uma deformação elástica parcial, como mostra a figura 78.

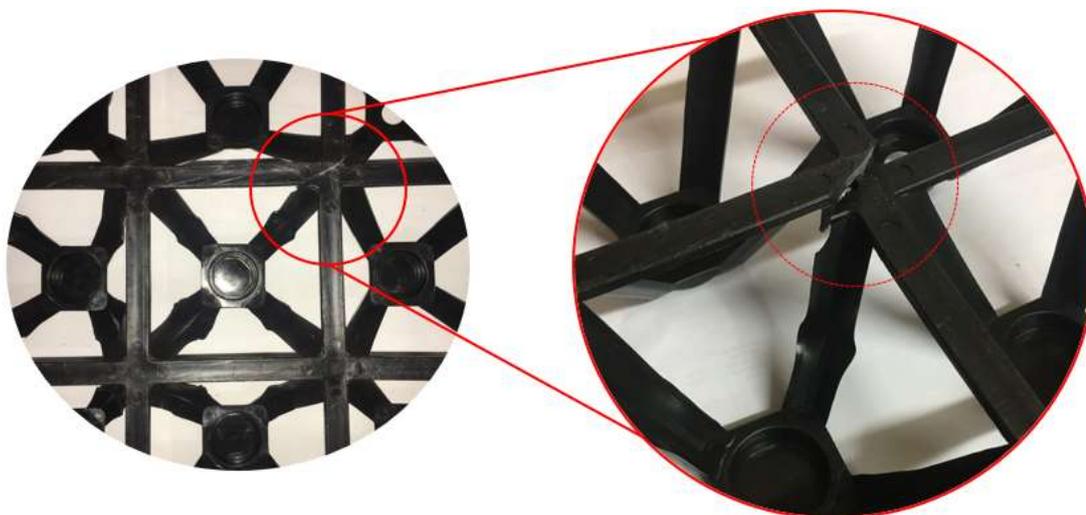
Figura 78 – Estado final da amostra após a retirada da carga



Fonte: Registrado pelo autor

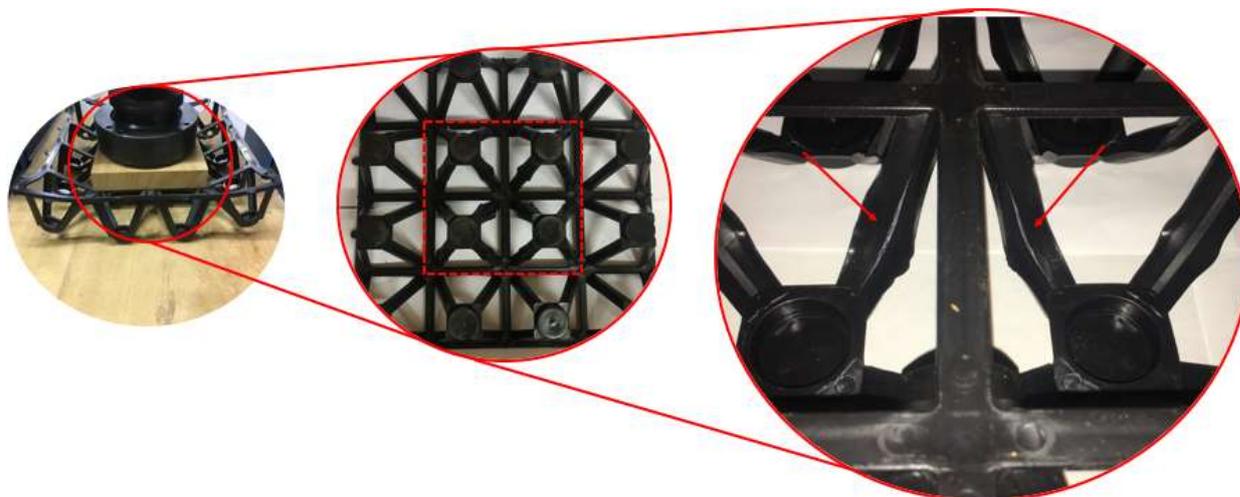
Após a carga máxima distribuída nas amostras, notou-se o rompimento localizado nos eixos das hastes dos perímetros superiores das amostras como mostra a figura 79. Outro ponto analisado da amostra do sistema Laminar Médio foi a flambagem que ocorreu nas hastes diagonais das amostras onde verificou-se fissuras após a retirada da carga como mostra a figura 80.

Figura 79 – Fissura apresentada nas hastes superiores da amostra



Fonte: Registrado pelo autor

Figura 80 – Fissura nas hastes diagonais da amostra

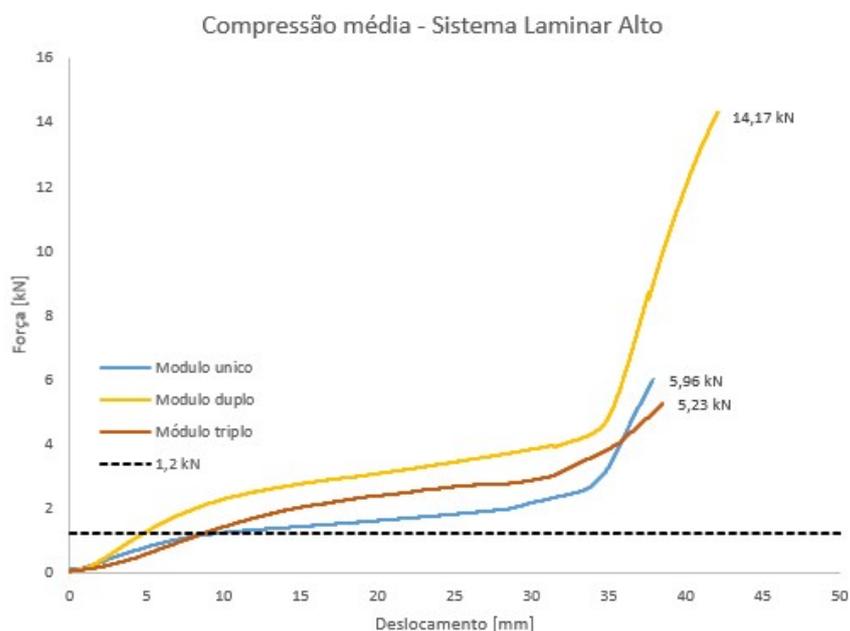


Fonte: Registrado pelo autor

4.2.2.3 Módulo Laminar Alto

Conforme mencionado no item 3.3.2.2 do capítulo de metodologia, foram realizados cinco ensaios de compressão com áreas distintas nas amostras do sistema Laminar Alto, onde estes ensaios englobaram duas formas distintas de avaliação. A primeira avaliação ocorreu nos ensaios dos módulos simples, módulos duplos, e módulos triplos, como mostra o gráfico 10 abaixo.

Gráfico 10 - Resumo do ensaio a compressão do sistema Laminar Alto sem prolongamento



Fonte: Elaborado pelo autor

Por intermédio do gráfico 10, é possível notar que todos os ensaios tiveram seus resultados acima da carga estabelecida pela NBR 15575-5 (ABNT, 2013) de 1,2 kN. Notou-se também que o módulo duplo obteve a maior carga chegando a alcançar 14,17 kN, como mostra a tabela 9.

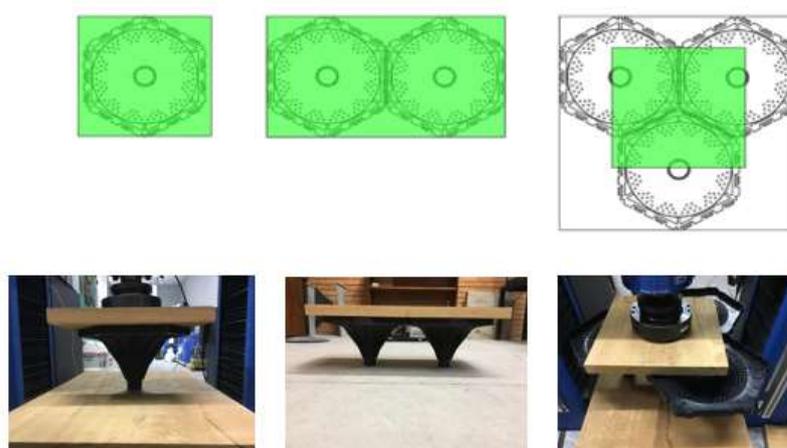
Tabela 9 - Tabela resumo do sistema Laminar Alto sem prolongamento

Ensaio	Força (kN)	Deslocamento (mm)	Deslocamento em 1,2 kN (mm)
peça única	5,96	41,62	9,2
peça dupla	14,17	42,06	4,17
peça tripla	5,23	38,44	8,55

Fonte: Elaborado pelo autor

Este resultado foi possível devido a área de influência da madeira que abrangeu toda a área dos módulos e devido a maior estabilidade ocasionada pela conexão de um módulo com o outro. Diferentemente do módulo único, que tinha uma menor estabilidade devido seu formato cônico e do módulo triplo onde a madeira percorreu uma menor área de influência, abrangendo apenas as interligações dos módulos, como mostra a imagem 81.

Figura 81 – Áreas de influência dos módulos ensaiados

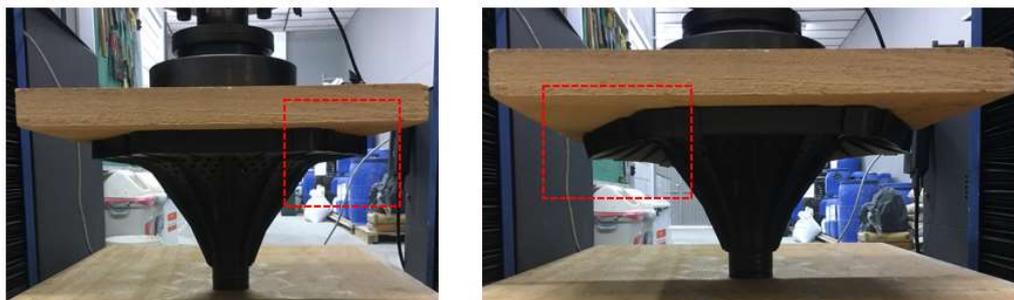


Fonte: Elaborado pelo autor

Nesta primeira análise das amostras sem prolongamento, reparou-se que ao decorrer da aplicação de carga as hastes do perímetro superior das amostras

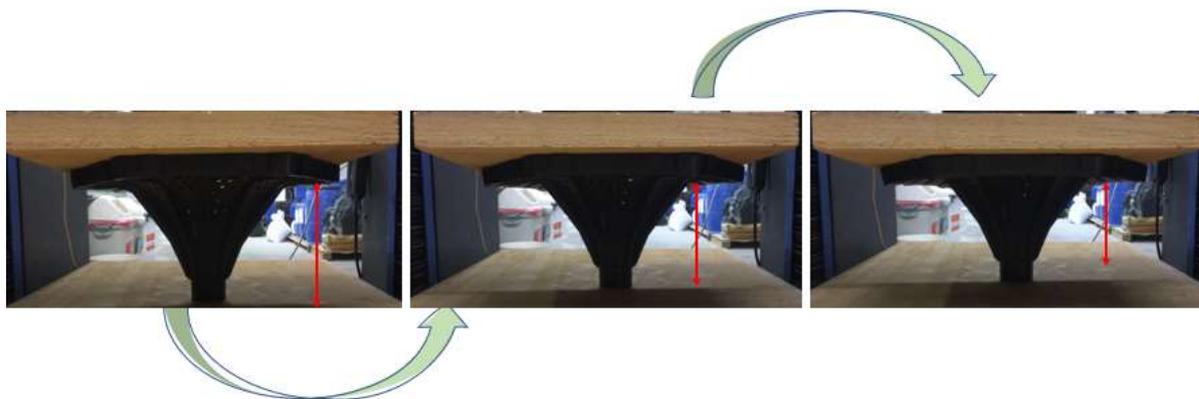
realizadas como módulo único e módulo duplo foram girando para baixo, a figura 82 abaixo evidencia a amostra sem aplicação de carga e durante a carga sendo aplicada. Esta deformação ocorreu devido a madeira em seu primeiro momento estar encostando apenas no perímetro externo, após a aplicação de carga e com o giro das extremidades a madeira teve contato com uma maior área do módulo (Figura 83).

Figura 82 – Deformação ocorrida no módulo único durante a aplicação de carga



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 83 – Aumento da área de contato devido ao aumento de carga



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a obtenção de uma maior área de contato decorrente de uma maior carga distribuída, tanto os módulos únicos quanto os ensaios realizados nas amostras duplas rompiam. Como mostra a figura 84, a amostra dupla rompeu próximo da área de conexão com o outro módulo, onde sua fissura percorreu da parte superior do módulo até a parte inferior. Este rompimento ocorreu devido aos círculos vazados em todo o perímetro do módulo que aumentaram sua fragilidade.

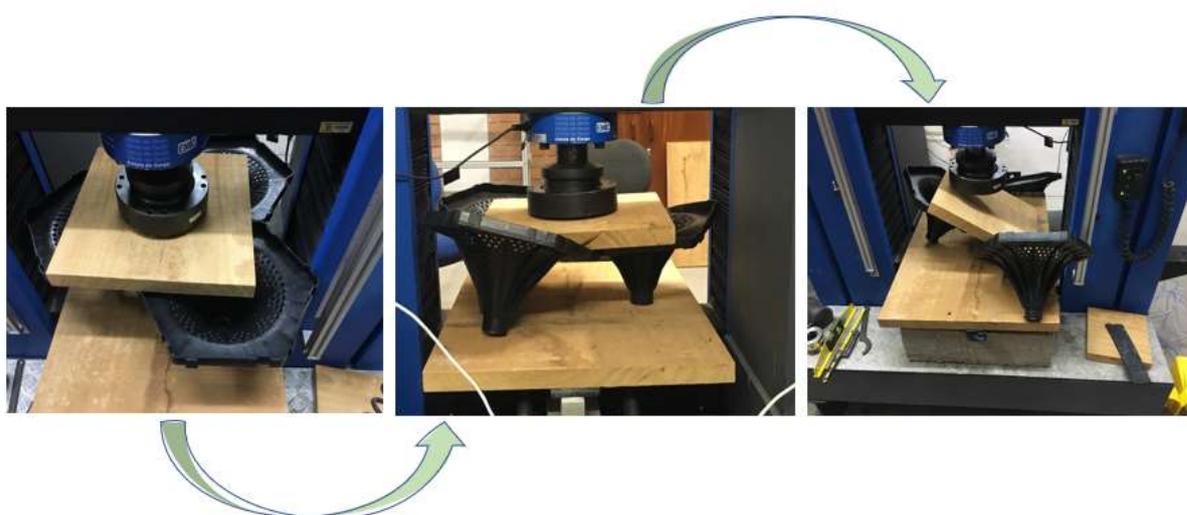
Figura 84 – Rompimento da amostra dupla



Fonte: Registrado pelo autor

Já o ensaio denominado como módulo triplo, as amostras não fissuraram e não houve rompimento delas. Devido ao ensaio ocorrer apenas em uma área de 40x40 centímetros abrangendo apenas como área de influência as conexões entre os módulos conforme o aumento da carga de aplicação, os módulos iniciaram um processo de giro devido a aplicação de carga centralizada no sistema e excêntrica nos módulos, que acarretou apenas no desprendimento entre eles, como ilustra a figura 85

Figura 85 – Etapas das deformações na amostra Laminar Alta módulo triplo



Fonte: Elaborado pelo autor

A segunda avaliação realizada a partir dos ensaios realizados nos módulos do sistema de telhado verde Laminar Alto teve como principal objetivo avaliar comparativamente as cargas aplicadas em diferentes alturas de prolongamento do sistema. Para o ensaio foi realizado apenas em módulos únicos, variando apenas as alturas dos módulos, onde as amostras foram sem prolongamento, com prolongamento de 50 centímetros e com prolongamento de 100 centímetros (gráfico 11).

Estas alturas foram estipuladas após a entrevista realizada com a Empresa A, onde foi informado que o módulo Laminar Alto foi utilizado com prolongamento de 100 centímetros em um telhado de uso acessível para clientes de um clube. Para esta cobertura acessível, o telhado verde composto pelo sistema Laminar Alto não tinha como propósito reservar água na sua parte inferior. No vão localizado entre a laje e prolongamento de 100 centímetros havia apenas tubulações de ar condicionado e máquinas de uso específico do clube passando.

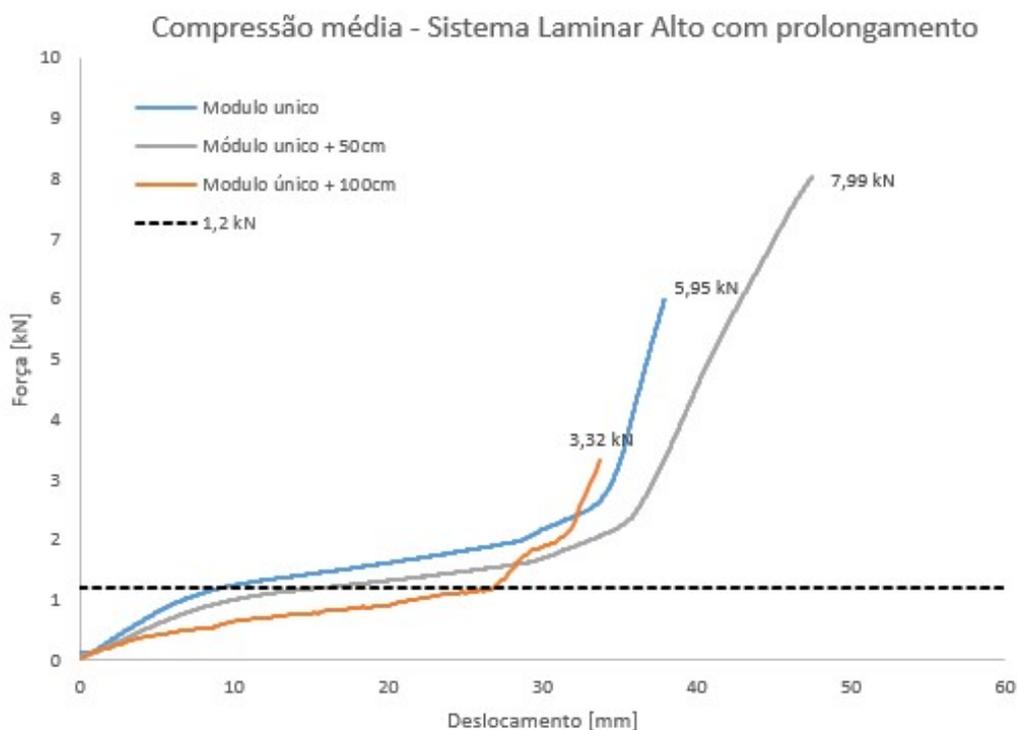
É importante salientar que para este caso em específico a Empresa A fabricou um módulo próprio para este uso em específico, onde não havia os círculos vazados que tem como objetivo a passagem de água, porém como neste caso não havia a necessidade da retenção de água na cobertura e por ela ter um outro uso, foi utilizado o módulo mostrado na figura 86, que compara o módulo convencional (lado esquerdo) com o módulo feito sob encomenda (lado direito).

Figura 86 – Comparação entre os módulos do sistema Laminar Alto



Fonte: Registrado pelo autor

Gráfico 11 - Resumo do ensaio a compressão do sistema Laminar Alto com prolongamento



Fonte: Elaborado pelo autor

A partir do gráfico 11, gerado após os ensaios dos sistema Laminar Alto com prolongamento, foi possível avaliar que todos os ensaios tiveram seus resultados acima da carga estabelecida pela NBR 15575-5 (ABNT, 2013) de 1,2 kN, onde o módulo com prolongamento de 50 centímetros suportou a maior carga resultando em 7,99 kN entretanto com o maior deslocamento dentre os demais módulos, onde o módulo com prolongamento de 100 centímetros suportou uma carga de 3,32 kN como mostra a tabela 10.

Tabela 10 - Tabela resumo do sistema Laminar Alto com prolongamento

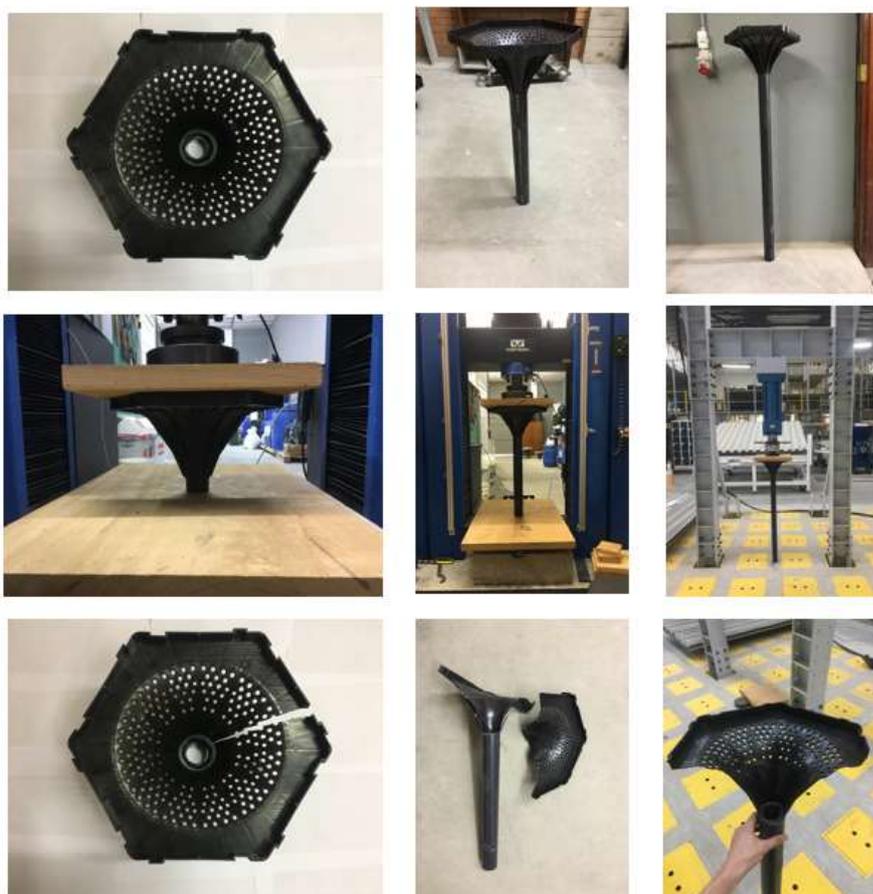
Ensaio	Força (kN)	Deslocamento (mm)	Deslocamento em 1,2 kN (mm)
peça única sem prolongamento	5,95	37,84	9,2
peça única com prolongamento de 50 cm	7,99	47,5	15,65
peça única com prolongamento de 100 cm	3,32	33,75	26,77

Fonte: Elaborado pelo autor

Dois pontos devem ser ressaltos na análise desta etapa com realizadas a partir dos módulos Laminar Alto utilizando prolongamentos, onde é de suma importância salientar que a prensa hidráulica utilizada para realização do ensaio do sistema com prolongamento de 100 centímetros não consegue aplicar um carregamento linear contínuo, tendo uma precisão inferior a prensa eletrônica utilizada nos demais ensaios desta pesquisa.

Outro ponto a ser enfatizado é com relação ao módulo usados nestes ensaios, onde foi utilizado o módulo convencional que contém os círculos vazados que conseqüentemente corrobora para uma fragilidade maior da peça, podendo-se concluir que os ensaios que avaliam as diferentes alturas testaram a pior condição.

Figura 87 – Ensaios realizados para avaliação das diferentes alturas

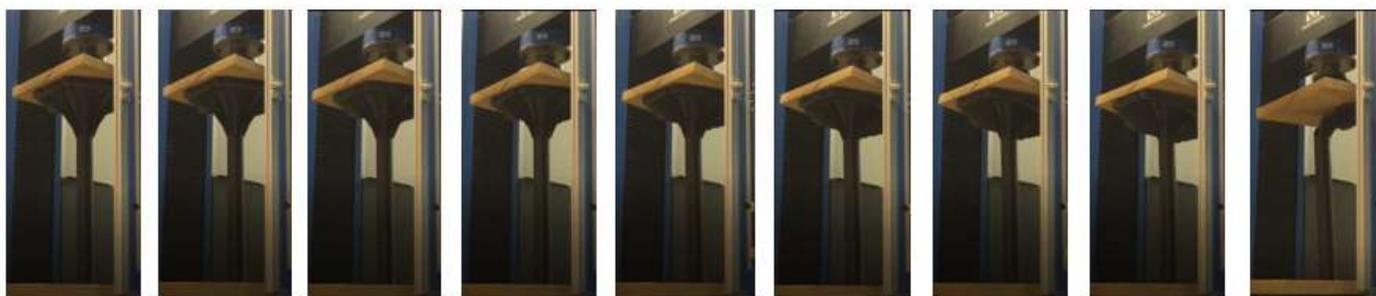


Fonte: Registrado pelo autor

A partir das fotos dos ensaios realizados, é possível evidenciar dois padrões. O primeiro é as fissuras que se estendem da parte superior à parte inferior do módulo através dos vazios dos módulos, gerando um indício de um possível enfraquecimento

na resistência a compressão devido a geometria dos módulos. Outro ponto a ser ressaltado é sobre a grande resistência dos prolongamentos utilizados, não havendo fissuras ou rompimentos visíveis em nenhum dos corpos de prova, onde todos os ensaios ocorridos os módulos romperam deixando os eletrodutos rígidos intactos, conforme mostra a figura 88.

Figura 88 – Ensaio realizado na amostra do sistema Laminar Alto com 50 centímetros de prolongamento



Fonte: Registrado pelo autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do aprimoramento de técnicas construtivas e da sua utilização em plena expansão, o uso de telhado verdes em coberturas tem tido um aumento significativo ao longo dos anos. Países como Alemanha, que implementou na década de 70 diretrizes para o planejamento, execução e manutenção de locais com telhados verdes, e os Estados Unidos, onde se tem uma rigorosa participação do poder público estabelecendo políticas de incentivo ao uso, estão sendo considerados exemplos significativos de países ao redor do mundo que contribuem para os aspectos ambientais associados ao planejamento urbano.

Além dos benefícios ambientais e vantagens do ponto de vista energético, a implantação dos telhados verdes está diretamente ligada ao conceito do design biofílico, onde tenta-se projetar locais que unam a natureza ao ambiente construído. Criando-se, assim, espaços naturais em residências, escolas e ambientes de trabalho, com o intuito de impactar de forma positiva na saúde física e mental da população.

A partir das entrevistas realizadas e premissas utilizadas, pode-se evidenciar que houve aplicação dos conceitos de design biofílico, tanto no uso da implantação da parede verde, quanto na utilização de telhados verdes nas coberturas do espaço comercial e do teatro, levando-se em consideração a redução do impacto visual gerado pela construção do empreendimento.

Todavia, percebe-se ao longo desta pesquisa que não houve interação por parte da equipe que projetou o empreendimento com a Empresa A, não havendo uma especificação aprofundada do produto a ser utilizado, restringindo a realização de detalhamentos construtivos e paginações. No item do manual do proprietário que se refere ao uso e conservação dos telhados verdes do empreendimento, elaborado pela empresa que executou a construção foi apenas incluso o manual disponibilizado pela Empresa A em seu site, sem haver maiores detalhes e particularidades para com os cuidados e manutenções direcionadas aos telhados verdes instalados no empreendimento.

Atualmente a empresa terceirizada que presta serviços de manutenção predial ao empreendimento não é especializada em manutenções relacionadas aos telhados verdes. Uma forma de melhorar a execução das manutenções e qualificar os profissionais que hoje executam estes serviços seria a disseminação do conhecimento através de palestras e workshops ministrados pela Empresa A. Esse tipo de

treinamento é imprescindível para a determinação da frequência de manutenção, que resultado de vários parâmetros, como espécies vegetais e objetivos estipulados para cada projeto.

A partir do programa experimental relacionado a análise térmica realizada nos módulos poliméricos, houve indícios que os polímeros reciclados utilizados eram polietileno de alta densidade no sistema Alveolar leve e polipropileno nos sistemas Laminar Médio e Laminar Alto. Entretanto, para que haja uma melhor avaliação dos componentes dos módulos poliméricos, esta pesquisa indica a realização de análises térmicas mais aprofundadas.

Conforme ficou evidenciado através dos ensaios de compressão mecânica feitos nos três sistemas de telhado verde e seguindo os parâmetros delimitados nesta pesquisa, todas as cargas aplicadas foram superiores a 1,2kN, indicando a possibilidade de caminhamento, conforme o item 9.2.4 do capítulo de Segurança no uso e na operação da Norma de Desempenho NBR 15575-5 (ABNT, 2013).

Posto isso, as informações desta pesquisa convergem com as referidas bibliografias citadas nesta pesquisa, visto que os sistemas de telhado verde instalados tanto no Espaço Unisinos, quanto no Teatro, podem ser caracterizados como coberturas extensivas, devido as vegetações serem leves e de pouca profundidade. Este tipo de telhado não tem como intuito principal ter acesso ou uso frequente, onde se prevê apenas manutenções periódicas. Seu propósito é estritamente técnico e objetiva simular uma paisagem natural.

Por fim, recomenda-se para pesquisas futuras e estudos complementares a utilização dos critérios estipulados pela norma de desempenho NBR 15575-5 (ABNT, 2013), levando em consideração tanto os métodos avaliativos do critério 9.2.4 que não foram citados nesta pesquisa referentes aos ensaios de caminhamento, quanto o critério 7.2.7 que refere-se a cargas concentradas em sistemas de cobertura acessíveis aos usuários.

REFERÊNCIAS

- AGENDA 21: ações prioritárias/ Comissão de políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional. 2 ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.
- ALVES, José Eustáquio Diniz. **Urbanização e Cidades Ecológicas**. Ecodebate. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2012/02/08/urbanizacao-e-cidades-ecologicas-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves//>>. Acesso em 20 de abril de 2019.
- ARAÚJO, Sidney Rocha de. **As funções dos telhados verdes no meio urbano, na gestão e no planejamento de recursos hídricos**. Soropédica, RJ, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 5: Sistemas de coberturas: Referências**. Rio de Janeiro, 2013.
- BALDESSAR, S. M. N. **Telhado Verde e sua Contribuição na Redução da Vazão da Água Pluvial Escoda**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- BEATLEY, T. **Biophilic Cities: Integrating Nature Into Urban Design and Planning**. Estados Unidos: Editora Island Press, 2010
- BENINI, R. DE M.; MENDIONDO, E. M. **Urbanização e Impactos no Ciclo Hidrológico na Bacia do Mineirinho**. Floresta e Ambiente, v. 22, n. 2, p. 211–222, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.103114>>.
- BONIN, Luis Carlos. Prefácio. In: FABRÍCIO, Márcio Minto; ONO, Rosária (Org.). **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: manutenção e percepção dos usuários**. Porto Alegre: ANTAC, 2015.
- BORGES, A. de C. **Prática das pequenas construções**. Revisão José Simão Neto e Walter Costa Filho. 9. ed. revista e ampliada. São Paulo: Blücher, 2009, v. 1.
- BRAGA R. 2001. **Política urbana e gestão ambiental: considerações sobre plano diretor e o zoneamento urbano**. In: Carvalho PF, Braga R. (Org.) **Perspectivas de Gestão Ambiental em Cidades Médias**. Rio Claro: LPM-UNESP, p. 95-109.

BRITTO CORREA, C., NEILA GONZÁLEZ, F. J. **O Uso de coberturas ecológicas na restauração de coberturas planas**. NUTAU 2002 – Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Pag. 686-696

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Our common future: The World Commission on Environment and Development**. Oxford: Oxford University 1987.

CANERO, R. F. e REDONDO, P. G. **Green Roof as a Habitat for Birds: A Review**. Journal of Animal and Veterinay Advances, n. 12, p. 2041-2052. 2010

CANEVAROLO, S. V. . **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. 1. ed. São Paulo: ARTLIBER, 2004. v. 1. 444p

CANEVAROLO, S. V. Jr. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artibler, 2006.

CARDÃO, C. **Técnica da construção**. 5. ed. Belo Horizonte: Edições Engenharia e Arquitetura, 1981. v. 2

CATUZZO, H. **Estudos Sobre As Condições Termohigrométricas: Quando Utilizado Os Telhados Verdes**. Anais VII Congresso Brasileiro de Geógrafos, p. 01, 2014.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **CBIC** Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil> acesso em 09 de novembro de 2019

CENTRO TECNOLÓGICO DA CERÂMICA E DO VIDRO (Coord.). **Manual de aplicação de telhas cerâmicas**. Coimbra: Associação Portuguesa dos Industriais da Cerâmica de Construção, 1998.

CONSTRUBUSINESS. 12º Congresso Brasileiro da Construção. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://sinaprocim.org.br>>. Acesso em 20 de maio 2019.

CORBELLA, Oscar e YANNAS, Simos. **Em busca de uma Arquitetura Sustentável para os trópicos: Conforto Ambiental**. Rio de Janeiro: Editora Revan, 2003

COSTA, Enio C.da; **Arquitetura Ecológica: Condicionamento térmico Natural**. São Paulo. Edgard Blücher, 1982.

ECOTELHADO. 2019. Disponível em: <<http://www.ecotelhado.com>>. Acesso em 17 maio. 2019.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila. GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007

GARRIDO NETO, P. S. G. **Telhados verdes como técnica compensatória em drenagem urbana na cidade do Rio de Janeiro: estudo experimental e avaliação de sua adoção na bacia do rio Joana a partir do uso de modelagem matemática**. 2016. 344 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016

GERHARDT, Tatiana. Engel.; SILVEIRA, Denise. Tolfo. **Métodos de Pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

GIL, Antonio Carlos, 1946 – **Como elaborar projetos de pesquisa** – 5 ed – São Paulo: Atlas, 2010.

GIL, Antonio. Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6º. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GOLDENBERG, Mirian. **A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em ciências sociais**. 8º. ed. Rio de Janeiro: Record, 2004.

GREEN ROOF SERVICE. Disponível em: <www.greenroofservice.com> Acesso em 17 de maio de 2019.

GUERRA JUNIOR, Jose Carlos. **Coberturas vivas, algumas observações técnicas para a sua implantação**. 2013. 213 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2013.

GUERRA, J.; MAGALHÃES, B.; GOMES, M.; FONSECA, R. **Materiais de construção II: coberturas**. Porto: Universidade Fernando Pessoa, 2010.

HEWAGE, Kasun; BIANCHINI, Fabricio. **How “green” are the green roofs?** Lifecycle analysis of green roof materials. Building and Environment, Canadá, V 48 Pg 57 a 65. Ago, 2011. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/>> Acesso em: 10 de abril de 2019.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Divisão de edificações. **Cobertura com estrutura de madeira e telhados com telhas cerâmicas**: manual de execução. São Paulo: IPT; Sinduscon-SP, 1988.

IONASHIRO, M. Giolito: **Fundamentos da Termogravimetria, Análise Térmica Diferencial e Calorimetria Exploratória Diferencial**. São Paulo: Giz Editorial, 2004, 86p.

JOHNSTON, J.; NEWTON J. **Building Green, A guide to using plants on roofs, walls and pavements**. Greater London Authority. 125p. 2004.

JÚNIOR, Álvaro. Francisco. de. Britto.; JÚNIOR, Nazir. Feres. A utilização da técnica da entrevista em trabalhos científicos. **Revista Evidências**, Araxá, 7, n. 7, 2011. 237-250.

LAAR, M. Et al. **Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos extensivos em cidades de clima tropical**. In. ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO-ENCAC, 6. Anais...São Pedro, São Paulo, 2001.

LOPES, Daniela Arantes Rodrigues. **Análise do comportamento térmico de uma cobertura verde leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura**. 2007. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

MINAYO, M. C. S. (Org.). **Pesquisa social**: teoria, método e criatividade. Petrópolis: Vozes, 2001.

MINKE, G. **Techos verdes** - Planificación, ejecución, consejos prácticos. Uruguay: Editora Fin de Siglo, 2005.

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. Revisão de Reyolando Manoel L. R. da Fonseca Brasil. 4. ed. rev. São Paulo: Blücher, 2010.

MONTANER, Josep Maria. **A Modernidade Superada**. Arquitetura, arte e pensamento do século XX. Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona, 2001.

MORESI, Eduardo. **Metodologia da pesquisa**. Universidade Católica de Brasília – UCB, 2003. Disponível em: <http://www.inf.ufes.br>. Acesso em março de 2017.

MOROMIZATO, F. B.; OLIVEIRA, J. C.; VIEIRA, K. R.; ABRAO, M. V. T.; LIMA, M. B.; SILVA, L. F. G. **Telhados Verdes Para Conforto Térmico**. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO DO IFTO, 7., 2016, Araguatins. Anais... 2016. Araguatins, TO: IFTO, 2016. p. 1-9

NASCIMENTO, Wânia C. do. **Coberturas verdes no contexto da região metropolitana de Curitiba** – Barreiras e potencialidades. Dissertação de mestrado. Curitiba: UFPR, PPGCC, 2008.

NETO, P. S. G. **Telhados Verdes Associados Com Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva**: Projeto de Dois Protótipos Para Futuros Estudos Sobre Esta Técnica Compensatória em Drenagem Urbana e Prática Sustentável na Construção Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro/RJ, p. 168. 2012.

ONU. Disponível em <https://nacoesunidas.org/acao/populacao-mundial/>. Acesso em 13 de março de 2019.

OSMUNDSON, T. **Roof Gardens** – History, Design and Construction. W.W. Norton & Company, Inc., New York, NY. 1999.

PECK, S.; C. CALLAGHAN; M. KUHN; B.E.S.; B. Arch; O. A.A.; BASS. B. **Greenbacks from green roofs**: Forging a new industry in Canada. Canada Mortgage and Housing Corporation - CMHC, Ottawa, Canada. 1999.

PIMENTEL da SILVA, L. et al. **Métodos Não Convencionais na Conservação da Água em Bacias Peri-Urbanas**. In: ENCONTRO NACIONAL DAS ÁGUAS URBANAS, 8. 2008. Rio de Janeiro.

PINHABEL, G. C. **Telhados Verdes: Aspectos Positivos no Conforto Térmico e Microclima**. Unitoledo. Araçatuba/SP, p. 14. 2015.

PINHEIRO, M. D. **Construção Sustentável: mito ou realidade?** In: VII Congresso Nacional De Engenharia Do Ambiente, 2003, Lisboa.

PIOVESAN, ARMANDO; TEMPORINI, RITA APUD THEODORSON, G. A. & THEODORSON, A. G. (1995). **Pesquisa exploratória: Procedimento metodológico para o estudo de fatores humanos**. Sítio Scielo Public Health.

POLIT, D. F.; BECK, C. T.; HUNGLER, B. P. **Fundamentos de pesquisa em enfermagem: métodos, avaliação e utilização**. Trad. de Ana Thorell. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

POUEY, M.T.: **Estudo experimental de desempenho térmico de coberturas planas**. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 1998.

RANGEL; A. C. L. da C.; ARANHA; K. C.; SILVA, M. B. C. **Os telhados verdes nas políticas ambientais como medida indutora para a sustentabilidade**. Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 35, dezembro de 2015.

REGO, R.L. **A Casa, o Pilotis e a Paisagem: Artifício e Natureza**. Revista Assentamentos Humanos, Marília, v3, n. 2, p11-18, 2001.

REIS, F. S. B. dos; SOUZA, U. E. L. de. **Coberturas com telhados: definições, características gerais e visão analítica**. São Paulo: EPUSP, 2007.

ROAF, Sue at alli. **Ecohouse: A casa ambientalmente sustentável**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ROCHA, A. P. Por uma membrana. **Téchne: a revista do Engenheiro Civil**, São Paulo, ano 18, n. 169, p. 46-57, abr. 2011.

ROHRBACH, J. **The Ancient World, Adonis And New Departures**. Tradução livre, data não indicada. Disponível em: <<http://ecoroofsystms.com/history.html>>. Acesso em 09 de abril de 2019.

ROLA, S. M. **A natureza como ferramenta para a sustentabilidade de cidades:** estudo da capacidade do sistema de natureza em filtrar a água de chuva. 2008. 209 p. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

ROSSI, A. P. **Projeto de instalações de águas pluviais:** utilização de telhados verdes, 2014. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SANTOS, Antônio Raimundo. **Metodologia Científica a construção do conhecimento.** 5ª ed. Rio de Janeiro: DP&A, 2002.

SANTOS, R.; CARVALHO, E. H. C. P.; SANTOS, R. V.; HOLANDA, W. S. **Telhado Verde:** Sua Definição e Principais Indicativos de Vantagens na Sustentabilidade de uma Construção. UNAERP Campus Guarujá. Guarujá/SP, p. 8. 2016.

SANTOS, Sylvana Melo et. al – **Desempenho térmico dos telhados verdes no semiárido brasileiro,** 2017. Universidade Federal de Pernambuco

SANTOS, V. I. M. **Desenho para um planeta vivo:** biofilia uma solução para o urbanismo e arquitetura sustentáveis. 2016. 157 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Lusíada de Lisboa, Portugal, 2016.

SAVI, A. C. **Telhados verdes:** análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura. 2012. 125 p. Monografia (Construções Sustentáveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SELLTIZ, Claire et. al. **Métodos de pesquisa nas relações sociais.** São Paulo: Herder, 1967.

SETO KC. et al. 2011. **A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion.** PLoS ONE, 6(8).

SILVA, N. da C. **Telhado Verde:** Sistema Construtivo de Maior Eficiência e Menor Impacto Ambiental. 2011. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SNODGRASS, E. C.; MCINTYRE, L. **The Green Roof Manual: A Professional Guide to Design, Installation and Maintenance**. London: Timber Press, 2010.

SPERANDELLI DI, Dupas FA, Pons NAD. 2013. **Dynamics of Urban Sprawl, Vacant Land, and Green Spaces on the Metropolitan Fringe of São Paulo, Brazil**. Journal of Urban Planning and Development. 139: 274-279.

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. da S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. **Telhado verde na alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, jan./mar. 2014

TONIAL, M.; FERNANDES, V. M. C.; GIL, A. S. L.; FIORI, S.; SCORTEGAGNA, V.; FERREIRA, M. de C.; ADAMES, D. B. **Telhados Verdes: Uma Perspectiva Contemporânea**. Revista CIATEC – UPF, vol.9 (1), p. 46-57, 2017.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. **A Sustentabilidade dos Materiais**. Coimbra: Gráfica Vilaverdense, 2010.

UGALDE, J. **Contribuição da natureza para a eficiência energética na Arquitetura**. 3º RELATÓRIO SEMESTRAL. UFRJ/COPPE/PPE - CNPq/Energia, 2004.

UNRIC. Disponível em: <https://www.unric.org/pt/actualidade/31537-relatorio-da-onu-mostra-populacao-mundial-cada-vez-mais-urbanizada-mais-de-metade-vive-em-zonas-urbanizadas-ao-que-se-podem-juntar-25-mil-milhoes-em-2050> . Acesso em 13 de março de 2019.

WILLES, J. A. **Tecnologias em telhados verdes extensivos: meios de cultura, caracterização hidrológica e sustentabilidade do sistema**. 2014. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

YANG, J.; YU, Q.; GONG, P. **Quantifying Air Pollution Removal by Green Roofs in Chicago**. Atmospheric Environment, v. 42, n. 31, p. 7266-7273, oct. 2008.

YIN, r. K. **O Estudo de caso**. Porto Alegre: Bookman, 2015

ZAMPIEIRI, J. N. F. **Produção mais limpa na construção civil: o uso do bloco cerâmico modular como proposta de redução de resíduos no canteiro de obras.** 2018. Monografia (Pós-Graduação lato sensu em gestão e planejamento ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Barra do Garças, 2018

ZANIN, M., and MANCINI, SD. **Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia** [online]. 2nd ed. São Carlos: EdUFSCar, 2015. ISBN 978-85-7600-457-8. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org> >.

Referências de figuras:

AQUA TOWER. **Skyscrapercenter** Disponível em: <http://www.skyscrapercenter.com/building/aqua-at-lakeshore-east/886> . Acesso em: 24 de outubro de 2019.

CAIS DO MONT-SAINT-MICHE. **ArchDaily**. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/763481/cais-do-mont-saint-michel-dietmar-feichtinger-architectes>. Acesso em: 24 de outubro de 2019.

JARDINS SUSPENSOS DA BABILÔNIA. **Geocities**. Disponível em: <http://www.geocities.ws/SoHo/Square/7175/jardins.htm> . Acesso em: 24 de outubro de 2019.

LEI DE INCENTIVO AO USO DE TELHADOS VERDES. **Going Green**. Disponível em: <http://goinggreen.com.br/2018/03/06/blumenau-sc-tem-nova-lei-que-incentiva-telhados-verdes/>. Acesso em: 24 de outubro de 2019.

MIETSKASERNEN. Disponível em: <http://www.hufeisensiedlung.info/geschichte/stadtgeschichte/bevoelkerungswachstum-und-mietskasernen.html>. Acesso em: 24 de outubro de 2019.

PALAZZO BORROMEO. **Borromean Islands**. Disponível em: <https://www.isoleborromee.it/eng/isola-bella.html> Acesso em: 24 de outubro de 2019.

PISCINA E RECEPÇÃO DO CAMPING STELLA MARIS. **ArchDaily**. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/925316/piscina-e-recepcao-do-camping-stella-maris-nfo>. Acesso em: 24 de outubro de 2019.

PONTO DE ONIBUS COM TELHADO VERDE NA HOLANDA. **GreenMe**. Disponível em: <https://www.greenme.com.br/morar/arte-urbana/8282-pensando-nas-abelhas-holanda-cobre-centenas-de-paradas-de-onibus-com-plantas>. Acesso em: 24 de outubro de 2019.

PONTO DE ONIBUS COM TELHADO VERDE NO BRASIL. **Ecotelhado**. Disponível em: <https://ecotelhado.com/ponto-de-onibus-com-telhado-verde-opcao-sustentavel-para-cidades/>. Acesso em: 24 de outubro de 2019.

PREFEITURA DE CHICAGO. **American Society of Landscape Architects** disponível em: www.asla.org. Acesso em: 24 de outubro de 2019.

PREFEITURA DE FUKUOKA **Archello** Disponível em: <https://archello.com/project/acros-fukuoka> . Acesso em: 24 de outubro de 2019.

ROCKEFELLERCENTER. **Rockefellercenter**. Disponível em: <https://www.rockefellercenter.com/attractions/top-of-the-rock-observation-deck/>. Acesso em: 24 de outubro de 2019.

SKY GARDEN HOUSE. **ArchDaily**. <https://www.archdaily.com/112766/sky-garden-house-guz-architects/>. Acesso em: 24 de outubro de 2019.

SOD HOUSES. **The Canadian Encyclopedia** Disponível em: <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/sod-houses> Acesso em: 24 de outubro de 2019.

THE CHRIST HOSPITAL JOINT AND SPINE CENTER. **ArchDaily**. Disponível em: <https://www.archdaily.com/783542/the-christ-hospital-joint-and-spine-center-som/>. Acesso em: 24 de outubro de 2019.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DA ENTREVISTA COM A EMPRESA A

- a) Em quais cidades/estados a Ecotelhado já instalou cada tipo de telhado?
- b) Dos três tipos de sistemas, qual o sistema mais vendido pela empresa? Qual o motivo?
- c) A Empresa faz manutenção após a instalação? Com que frequência ocorre?
- d) É possível colocar/installar vegetações mais altas nos três tipos de sistemas
- e) A Empresa trabalha com alguma garantia dos seus módulos? Para futuros rompimentos etc.?
- f) A Empresa a já fez algum tipo de ensaio nos seus produtos? Eles são certificados sobre o uso deles?
- g) Todos os módulos existem a possibilidade de subirmos na cobertura para manutenção da vegetação, irrigação da vegetação, ou até mesmo executar a troca de um modulo danificado
- h) Sobre os módulos, os três tipos estudados são usados em telhados acessíveis?
- i) Já houve ocorrências de manutenção devido ao rompimento dos módulos?
- j) Algum destes módulos já foi utilizado para uso acessível de cargas mais pesadas (além de pessoas) como passagem de carros etc.?
- k) Qual o tipo de material usado para a fabricação dos módulos? Informações técnicas, químicas, físicas
- l) Os módulos podem ser cortados para caber na cobertura?
- m) Quando o modulo é cortado ele perde a resistência?
- n) Os módulos laminar alto como é realizado quando fica um vão grande, mas que não cabe um modulo do sistema? Como é realizado este preenchimento?
- o) Os módulos colocados na cobertura plana, são fixados de alguma forma?
- p) Sobre o prolongamento do sistema, a empresa relata que podemos aumentar até 1 metro utilizando eletroduto rígido. Tem algum estudo feito sobre isto?
- q) Este prolongamento pode ser feito tanto com tudo PVC, quanto eletroduto rígido?
- r) Ocorre alguma proteção na ponta do tubo para não perfurar a impermeabilização?
- s) Como é colado o modulo no prolongamento?
- t) Até que altura deste prolongamento a cobertura é acessível? Como funciona o pé regulável neste sistema? Qual a função dele? Pode ser utilizado sem ele?

- u) Tem algum problema que as vezes interfere no desempenho dos módulos, na hora de instalar eles?
- v) A lâmina de água serve hoje para qual finalidade?

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DA ENTREVISTA COM O SETOR DE PROJETOS DO EMPREENDIMENTO

- a) Qual o conceito por trás do projeto da Unisinos PoA referente a inclusão de espaços verdes?
- b) Com relação mais especifica a inclusão de telhados verdes. Qual o principal intuito deste método construtivo na instituição?
- c) O projeto do telhado verde da instituição foi previamente compatibilizado com o projeto estrutural da cobertura devido a sua sobrecarga?
- d) O motivo do telhado verde ser inacessível ao público deve-se ao fato de sobrecarga?
- e) Como ocorreu a compatibilização das informações dadas pela Empresa A para a realização deste projeto? A empresa dispôs de todas as informações relevantes para que tu pudesses fazer o projeto sem grandes dificuldades?
- f) Atualmente a Empresa A não tem laudos técnicos avaliando a usabilidade dos telhados verdes comercializados por eles. Para um projeto onde o telhado será acessível como área de lazer de seus usuários quais são as premissas utilizadas para realizar tal projeto?
- g) Como foi o contato com a Empresa A? Tu projetaste o local onde seria instalado o telhado e enviou para eles o projeto? Ou houve algum tipo de auxílio da empresa referente a ao projeto destas coberturas?
- h) A Empresa A conta com vários tipos de sistemas de telhados verdes, como foi realizada a escolha dos sistemas implantados no projeto da Unisinos PoA?
- i) Em comparação aos demais tipos de telhados comercializados atualmente, custo da implantação do telhado verde é maior?
- j) Em demais projetos realizados por ti o uso do telhado verde é algo usual? É um pedido recorrente por clientes?
- k) O telhado verde tem aplicação em todos os tipos de edificações?

- l) Os telhados verdes atualmente projetados por ti tem estão mais relacionados ao conceito estético ou ecológico/ambiental/sustentável?
- m) Os telhados verdes instalados nas demais edificações que tu já fizeste projeto são na sua grande maioria acessíveis ou inacessíveis?
- n) Edificações projetadas com telhado verde são recorrentes as manutenções?
- o) A Empresa A tem como seus principais objetivos a construção sustentável e o design biofílico, onde relatam a busca da reconexão entre a natureza e o ambiente construído. Com relação ao projeto da Unisinos PoA, o conceito do design biofílico foi levado em consideração?
- p) Os demais projetos de sua autoria onde é utilizado conceitos sustentáveis (telhados verdes, paredes verdes etc.) o design biofílico está inserido no conceito dos projetos?
- q) Uma das partes do estudo do design biofílico é analisar a conexão das pessoas com a natureza aplicado ao ambiente construído, onde já existem estudos referentes a melhoria da qualidade de vida quando se está em contato a natureza. Infelizmente, este assunto hoje ainda é pouco difundido no Brasil. Na sua opinião a difusão baixa sobre tal assunto é decorrente a qual motivo?

APÊNDICE C –QUESTIONÁRIO DA ENTREVISTA COM O SETOR DE EXECUÇÃO

- a) Quanto tempo durou aproximadamente a colocação dos sistemas de telhado verde tanto na cobertura do espaço Unisinos quanto na cobertura do teatro? (pois são telhados diferentes)
- b) Houve alguma dificuldade na parte de execução dos sistemas de telhado verde?
- c) Sobre a diferença entre os telhados verdes do teatro e do espaço Unisinos, houve alguma diferença com relação a etapa construtiva?
- d) Para realizar a instalação dos telhados verdes houve um projeto específico (construtivo) com detalhes sobre como deveria ser realizada de forma correta a instalação?
- e) Sobre os módulos de plásticos do telhado verde, durante a execução houve algum modulo que foi quebrado no momento da colocação por pisar em cima ou algo do tipo?

- f) Após a instalação do sistema completo (módulos + substrato+ grama), você e os funcionários da empresa que executou se sentiam confortáveis/seguros de subir em cima do telhado verde?
- g) Para os cálculos estruturais das lajes/vigas e pilares foi levada em consideração o peso dos telhados verdes?
- h) A empresa contratante disponibilizou de todas as informações essenciais tanto para projeto/orçamento quanto para execução ou foi necessário buscar informações sobre os sistemas de telhado verde fora?
- i) A empresa disponibilizou o peso dos telhados que iriam ser utilizados?
- j) A empresa executante montou algum manual de uso e manutenção do telhado verde? Caso tenha montado, teria como disponibilizar este manual?
- k) Caso tenha sido realizado o manual para uso e operação, as informações dispostas neste manual foram extraídas de informações disponibilizadas pela própria empresa contratante? (Empresa A)
- l) Foi realizado algum tipo de relatório durante a etapa de construção?
- m) Após a instalação do telhado verde, houve alguma manifestação patológica? Infiltrações, fissuras na laje, mofo... etc.
- n) Com base na sua experiência, comparando com outros tipos de telhados instalados na Unisinos PoA, foi encontrado mais dificuldades na execução/instalação no telhado verde do que nos demais tipos?

APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO DA ENTREVISTA COM O SETOR DE FISCALIZAÇÃO DA EXECUÇÃO DA OBRA

- a) Quantos m² de telhado verde foi instalado na Unisinos PoA?
- b) Esta cobertura onde foi instalado o telhado verde, ele é acessível? Caso seja, qual é o tipo de uso deste ambiente. Caso não seja acessível a usuários, qual é o principal objetivo deste telhado na Unisinos.
- c) Como foi o processo de instalação deste telhado?
- d) Qual foi o tempo duração do serviço?
- e) Durante a instalação houve algum tipo de problema que prejudicasse a execução do serviço?
- f) Foi instalado apenas um tipo de sistema de telhado verde? Ou existe mais de um tipo?

- g) Com relação ao projeto estrutural da laje que recebeu a cobertura em telhado verde, esta laje foi dimensionada levando em consideração esta sobrecarga dos módulos + substratos+ vegetação?
- h) A empresa disponibilizou o peso dos telhados que iriam ser utilizados?
- i) A empresa disponibilizou algum projeto com o processo construtivo para conferência?
- j) A laje de cobertura recebeu algum tipo de tratamento antes da instalação do telhado verde?
- k) Quanto tempo a Unisinos já está com este telhado verde instalado?
- l) Atualmente como funciona a manutenção deste telhado? Já houve necessidade de manutenção neste telhado?
- m) Caso haja manutenções A empresa que forneceu e instalou os módulos está encarregada destes procedimentos? Existe algum tipo de garantia? Se existe garantia, ela cobre impermeabilização + módulos + vegetação?
- n) Houve algum tipo de patologia/problemas pós instalação? (infiltrações, umidade....)
- o) Referente aos pós uso, é notado algum feedback sobre está tipo de processo construtivo? (alunos, funcionários etc.)
- p) Existe algum estudo realizado antes ou depois da instalação sobre as melhorias do uso do telhado verde na instituição?
- q) Foi realizado algum tipo de relatório durante a etapa de execução?
- r) Haveria a disponibilidade de fotos da execução do telhado verde?
- s) Haveria disponibilidade dos projetos da cobertura utilizados referente ao telhado verde?
- t) Existe algum tipo de Manual de uso da cobertura? Indicando como se deve cuidar, indicando as limitações etc.?
- u) Haveria a possibilidade de realizarmos uma visita in loco nesta cobertura?

APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO DA ENTREVISTA COM O SETOR DE MANUTENÇÃO DO EMPREEDIMENTO

- a) Como é realizado a manutenção do telhado verde?
- b) A manutenção é feita pela instituição (com terceirizados que já fazem as demais manutenções ou com é realizada pela Empresa A)

- c) A instituição faz manutenções preventivas (semanais, mensais) ou apenas corretivas (quando da problemas)?
- d) Caso seja realizado manutenções preventivas, o que é levado em consideração no momento da realização da atividade? Quais fatores não podem ser esquecidos?
- e) Para subir em cima do telhado, é utilizado algum tipo de material para subir nos sistemas? Como tabuas de madeiras etc.? ou não há necessidade de suportes?
- f) Há algum relato dos colaboradores que executam as atividades de manutenção de não se sentirem seguros em cima dos módulos?
- g) A empresa Ecotelhado (empresa fabricante do telhado verde) passou algum tipo de manual de instruções para realizar de forma correta as manutenções necessárias?
- h) Existe algum tipo de Manual de uso da cobertura? Indicando como se deve cuidar, indicando as limitações etc.?
- i) Houve algum tipo de problema com os módulos (suportes)? quebraram
- j) Já houve necessidade de realizar alguma troca de modulo dos sistemas de telhado verde?
- k) Houve algum tipo de problema com infiltrações? Caso tenha ocorrido, como foi resolvido?
- l) Houve alguma manifestação patológica? Nas coberturas onde foram instalados os telhados verdes? Tanto na parte superior quanto inferior?
- m) Caso tenha havido algum problema em decorrência da instalação do telhado verde, a empresa que forneceu foi contada para ajudar na resolução do problema?
- n) Como foi resolvido o problema?
- o) Existe algum tipo de formulário padrão da instituição, sobre as manutenções que ocorrem? Indicando eventuais problemas ou as atividades a serem realizadas?
- p) A instituição conta com dois tipos de sistemas de telhados verdes, existe algum tipo de diferença na execução das atividades de manutenção destes locais?
- q) Com base na sua experiencia com manutenções, os sistemas de telhados verdes requerem mais atenção e manutenções comparados aos demais tipos de telhados?