

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ADRIAN JAN SCRENSKI

VIABILIDADE DO TELHADO VERDE COMO INSTRUMENTO DE REDUÇÃO
DE EMISSÕES DE CARBONO

CURITIBA

2015

ADRIAN JAN SCRENSKI

VIABILIDADE DO TELHADO VERDE COMO INSTRUMENTO DE REDUÇÃO
DE EMISSÕES DE CARBONO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Especialização em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Gestão Corporativa de Carbono do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como requisito para obtenção do título de especialista.

Orientador: Prof. Msc. José de Almendra Freitas Júnior

CURITIBA

2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus amigos e familiares, pela compreensão e carinho, me apoiando e incentivando, durante a realização deste trabalho.

Ao meu orientador Professor José Freitas que, pelo seu estimado auxílio-técnico e experiência com estudos ambientais e de construção civil, me incentivou a sempre seguir em frente com as pesquisas.

Aos Professores do Curso, que com humildade e disciplina nos ensinaram, além do conhecimento científico, valores importantes para a contínua emancipação humana.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
1.1. OBJETIVOS	8
1.1.1. Objetivo Geral	8
1.1.2. Objetivos Específicos.....	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1. Construção em Lajes Horizontais.....	11
2.1.1. Tipos de Telhado Verde.....	13
2.1.2. Construção Intensiva	13
2.1.3. Construção Extensiva	14
2.1.4. Construção Semi-intensiva	16
2.1.5. Condições Estruturais.....	17
2.2. As emissões de CO ₂ pela produção de aço e de concreto.....	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1. Metodologia de análise.....	21
3.2. Quantitativos para as estruturas.....	22
3.2.1. Estruturas de concreto armado para o telhado convencional	22
3.2.2. Estruturas de concreto armado para os telhados verdes.....	22
3.3. Carbono fixado pelos telhados verdes	24
4. CONCLUSÕES.....	29
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

VIABILIDADE DO TELHADO VERDE COMO INSTRUMENTO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CARBONO

Adrian Jan Screnski

Orientador: Prof. Msc. José de Almendra Freitas Júnior.

Graduado em Engenharia Civil –UFPR, 1985, Mestrado em Construção Civil – UFPR, 2006, Doutorando em Engenharia Florestal – UFPR. E-mail: freitasjose@terra.com.br, fone (41) 9975-7425

RESUMO

O crescimento populacional urbano das últimas décadas trouxe um grande impacto para a área urbana, causando uma forte redução de áreas permeáveis nas cidades e ao mesmo tempo acelerando a construção civil para atender a crescente demanda. Neste sentido, os telhados verdes tornam-se uma excelente opção na busca de construções sustentáveis, pois aparecem como uma alternativa no combate a problemas típicos das grandes cidades, como inundações, piora da qualidade do ar e formação de ilhas de calor. Os telhados verdes são uma técnica construtiva milenar, mas ultimamente tem sido retomado devido à inserção do conceito de sustentabilidade, tendo em vista sua redução nos impactos ambientais comparando-se a sistemas de coberturas convencionais. A análise técnica presente neste estudo aborda a viabilidade do telhado verde como forma de reduzir as emissões de dióxido de carbono atmosférico provenientes de sua construção. A partir disso, foram levantados dados de dimensionamento, construção e consumo de material de um telhado convencional de laje plana e de três tipos de telhados verdes: extensivo, semi-intensivo e intensivo. Utilizaram-se dados de dois tipos de concreto, tendo em vista a sua grande diversidade, com informações de duas tradicionais usinas de Curitiba. Foram calculadas as emissões dos telhados e a captura de carbono em cada tipo de cobertura verde. Os dados foram confrontados e chegou-se a um saldo final do CO₂ por metro quadrado. Foi possível concluir que todas as coberturas verdes geram um saldo positivo de captura de carbono pela sua vegetação e solo, sendo possível neutralizar parte das emissões geradas pela obra. Em média, o telhado verde teve um saldo de 41,32 kg/m² de dióxido de carbono atmosférico capturado. O estudo realizado permitiu concluir que a utilização do telhado verde é viável sob o aspecto de redução da emissão de carbono gerado pelo reforço necessário na construção desse tipo de cobertura.

Palavras-Chave: telhado verde, construções sustentáveis, sustentabilidade, emissão de CO₂, captura de carbono.

ABSTRACT

Urban population growth in recent decades has brought a huge impact on the urban area, causing a sharp reduction of permeable areas in the cities and at the same time speeding up construction to meet the increase in demand. In this sense, green roofs become an excellent option in the search for sustainable buildings, as it is an alternative to prevent the typical problems of large cities such as floods, air quality deterioration and formation of urban heat islands. Green roofs are an ancient construction technique, but lately they have been used due to the concept of sustainability, given its reduction in environmental impact compared to conventional roofing systems. This technical analysis of this research addresses the viability of the green roof as a way to reduce carbon dioxide emissions from its construction. From this, data was collected based on sizing, construction and material consumption from a conventional flat roof slab and three types of green roofs: extensive, semi-intensive and intensive. It used data from two types of concrete, due to fact of its extensive diversity, containing information from two traditional plants in Curitiba. Emissions from roofs and carbon capture in each type of green roof were calculated. Data were analyzed and it reached a final balance of CO₂ per square meter. It was concluded that all green roofs generate a surplus carbon sequestration by vegetation and soil, and it is possible to neutralize part of the emissions generated by the construction. On average, the green roof had a balance of 41.32 kg/m² atmospheric carbon dioxide capture. This research concluded that the use of the green roof is feasible from the standpoint of reducing carbon emissions generated by the necessary strengthening of the roof construction.

Keywords: green roof, green building, sustainability, CO₂ emissions, carbon capture.

1. INTRODUÇÃO

Cerca de 3,3 bilhões de pessoas vivem em cidades ao redor do mundo. O número representa 51% da população global, com uma tendência de crescimento ao longo dos anos. De acordo com o Programa Populacional das Nações Unidas, até o ano de 2050, os centros urbanos vão abrigar dois terços da população (ONU, 2014). Atualmente, no Brasil, mais de 75% da população está vivendo nas grandes cidades (IBGE, 2015).

A falta de planejamento e o excesso de consumo, além de esgotar os recursos naturais, podem causar catástrofes com influência nas populações. Neste aspecto, é desejável que exista planejamento urbano no sentido de possibilitar o bem-estar para todos os residentes nesses grandes centros. Portanto, existe a necessidade de que as cidades estejam adequadas para evitar problemas ambientais que acabam prejudicando toda a coletividade.

É desejável que os centros populacionais possuam ambientes com alta biodiversidade, livre de inundações e com baixos níveis de poluição, além de estarem esteticamente alinhados. Os telhados verdes são uma técnica construtiva milenar e vem surgindo como uma proposta de redução aos impactos ambientais comparados a sistemas de cobertura convencionais (SCRENSKI, 2011).

Porém, a estrutura do telhado verde pode exigir um maior consumo de material e insumos para suportar o peso do substrato e da vegetação utilizada, e conseqüentemente incorporar uma maior quantidade de energia. A partir disso, foram analisados três tipos de telhado verde, verificando os materiais utilizados e a quantidade de carbono emitido, como também a quantidade de carbono capturado pela sua vegetação instalada. Compararam-se estas informações com dados obtidos de um telhado convencional de laje plana, verificando assim sua viabilidade em termos de redução de emissões atmosféricas.

Por fim, verificar-se-á com a pesquisa e análise dos dados levantados se, apesar de exigir uma estrutura mais reforçada por conta da carga necessária para suportar o peso do substrato e da vegetação plantada, o carbono capturado pela biomassa existente no telhado verde consegue

neutralizar parte do carbono emitido, e assim demonstrar sua viabilidade comparado ao telhado convencional.

1.1.OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Realizar um estudo comparativo relacionando aspectos de emissões de carbono na construção da estrutura do telhado verde e sua capacidade de captura do dióxido de carbono atmosférico.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Apresentar o telhado verde, destacando os aspectos positivos e negativos associados à utilização de construções que façam uso deste tipo de cobertura;
- Descrever e calcular as emissões de dióxido de carbono dos materiais que envolvem a construção do telhado convencional e do telhado verde,
- Descrever e calcular a capacidade de retenção de carbono pela vegetação e solo instalados no telhado verde;
- Comparar os resultados e demonstrar a viabilidade ambiental do telhado verde como instrumento de redução de emissões de carbono.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em resumo, telhado verde pode ser entendido como cultivo de vegetação em cima de uma cobertura. As coberturas variam de acordo com a finalidade da edificação: residencial, comercial, industrial e recreativa. Em relação aos tipos de telhados construídos encontram-se: os convencionais inclinados que utilizam telhas, as lajes de concretos horizontais ou inclinadas e modelos na forma de arco, utilizados em cobertura de armazéns ou ginásios (OLIVEIRA, 2009).

Os telhados geralmente utilizam em sua composição materiais como: cerâmica, amianto, fibra, plástico, alumínio, madeira e cimento. Também existem outros tipos de coberturas que podem ser consideradas como alternativas às tradicionais, incluindo-se o telhado verde (SILVA, 2011).

Segundo Bacovis (2010), o telhado verde é um sistema constituído de mantas, substrato e vegetação que sobrepostos em coberturas planas ou inclinadas de edificações podem trazer benefícios sócio-econômicos e ambientais. Ainda, a aplicação de vegetação sobre coberturas podem proporcionar melhoria termo acústica, paisagista, além de reduzir a poluição nos grandes centros urbanos, segundo levantamentos do Instituto para o Desenvolvimento de Habitação Ecológica (IDHEA, 2015).

A técnica de construção de cobertura associado com a vegetação não é novidade, registros históricos demonstram que o homem já dominava esta tecnologia de construção no passado, construindo moradias com cobertura de gramíneas, até palácios cobertos com jardins. Neste contexto, os famosos Jardins Suspensos da Babilônia 78 a.C. ganharam destaque (figura 1), visto que, estes são considerados uma das sete maravilhas do mundo antigo. (HENEINE, 2008).

FIGURA 1 - JARDINS DA BABILÔNIA COM A UTILIZAÇÃO DE PLANTAS NAS COBERTURAS



FONTE: <http://kwnow.blogspot.com>

Relata Peck (2002, *apud* Oliveira, 2009) que, atualmente, o país considerado referência na construção de telhados verdes é a Alemanha. Na década de 70, muitas pesquisas com objetivo de desenvolver métodos e tecnologia de construção de telhados verdes foram financiadas por organizações privadas junto com suas universidades.

Estas pesquisas, aliadas aos incentivos fiscais concedidos pelo governo, estimularam a construção de telhados verdes no país. No ano de 2002, a área total de telhados verdes chegou a 14 milhões de metros quadrados construído, tornando a Alemanha líder na construção de telhados verdes, posição que mantém até hoje (PECK, 2002).

Segundo Oliveira (2009), os telhados verdes são compostos por várias camadas, na qual cada camada tem uma função específica. As camadas dependem também da estrutura que o telhado possui, e ainda, podem variar em relação ao tipo de cobertura construída: lajes horizontais ou telhados convencionais inclinados. Este trabalho tratará apenas das construções que utilizam lajes horizontais, a qual será o foco deste estudo.

2.1. Construção em Lajes Horizontais

Para construir telhados verdes em lajes, devem-se considerar as cargas permanentes, as cargas acidentais, o confinamento da área a ser trabalhada, a construção de beirais mais altos e a previsão de instalação de tubos de dreno (OLIVEIRA, 2009).

A princípio, é importante frisar dois aspectos relevantes na construção de telhados verdes em lajes horizontais e telhados inclinados: a estrutura que irá suportar as camadas que compõe o telhado e a impermeabilização. Estes aspectos são primordiais para viabilizar a construção de telhados verdes.

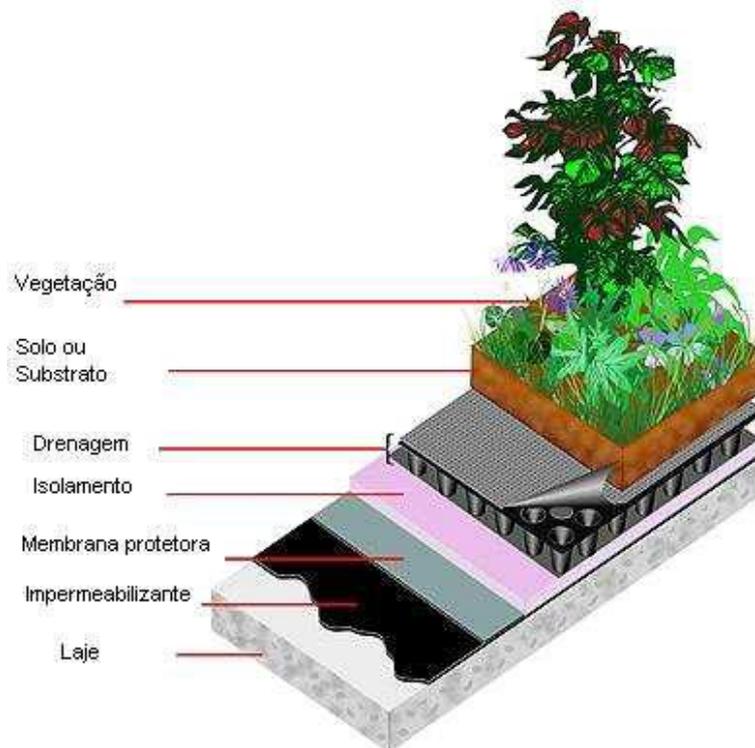
De acordo com Oliveira (2009, p. 27 e 28) as camadas que compõem o telhado verde em cima de lajes devem ter as seguintes finalidades:

- Impermeabilização: que impede a infiltração de água na laje, utiliza-se filme plástico, mistura de água cimento e aditivos, manta asfáltica, além de outros produtos químicos anti-raiz.
- Isolamento Térmico: a própria composição do telhado verde completa, pode funcionar eficientemente para o conforto térmico das construções.
- Proteção Mecânica: serve para impedir danos na impermeabilização. A composição pode ser de uma argamassa simples (areia + cimento) com 6 partes de areia para 1 de cimento.
- Drenagem: responsável pela regulagem da retenção de água e da drenagem rápida e eficiente do excesso desta. Neste caso, utilizam-se diversos materiais de densidades variáveis de acordo com o projeto.
- Filtragem (facultativo): impede a passagem dos substratos, para a camada de drenagem, o que prejudicaria o sistema de drenagem e a circulação do ar. Utiliza-se normalmente uma manta geotêxtil comercial e até mesmo areia de diversas granulometrias.
- Substrato: é a terra ou solo com os nutrientes que dão suporte à vegetação, retendo e absorvendo água. O tipo de substrato, bem como a altura do mesmo, irá variar conforme a vegetação escolhida e o tipo de telhado.

- Vegetação: consiste na cobertura vegetal propriamente dita e que vai depender do tipo de telhado verde proposto, em função da altura do solo e substrato disponível.

A figura 2 ilustra as camadas que constituem um exemplo de construção do telhado verde, levando-se em conta as principais características citadas anteriormente.

FIGURA 2 - ESQUEMA DE UMA ESTRATIFICAÇÃO DE COBERTURA VERDE COM SISTEMA DE DRENAGEM PARA LAJES



FONTE: <http://www.lidstormwater.net>

Ainda, segundo Silva (2011), cinco camadas são necessárias para a instalação de um telhado verde:

- Camada Impermeabilizante: Tem a função de proteger a laje contra infiltrações;
- Camada drenante: Tem a função de drenar a água da chuva dando vazão ao excesso de água e também como filtro separando os poluentes;
- Camada filtrante: Para Reter partículas que seriam levadas pela água da chuva;

- Camada com a membrana de proteção contra raízes: Para controlar o crescimento das raízes que seriam danosas para o sistema.
- Camada constituída por Solo e Substrato: Esta camada contém os nutrientes para o crescimento da vegetação cultivada, além de servir, para fixação das plantas.

2.1.1. Tipos de Telhado Verde

Não é o formato da cobertura que define o tipo de telhado verde a ser instalado, mas sim a espessura do substrato e o tipo de vegetação. Segundo Laar (2001, *apud* OLIVEIRA, 2009), para serem considerados telhados verdes, duas camadas de elementos são obrigatórias: a mineral ou substrato, composta pelo solo, e a orgânica, constituída pela vegetação. Existem três formas de construir de telhado verde: a intensiva, a extensiva e a semi-intensiva. Esta classificação foi definida de acordo com a espessura da camada de substrato, tipos de plantas que será cultivada e a necessidade de manutenção (BRITTO, 2001 *apud* KREBS, 2005).

2.1.2. Construção Intensiva

A construção de telhado verde do tipo intensiva tem como característica sua estrutura complexa de implantação e significativos custos relacionados à manutenção. Neste tipo de construção as vegetações cultivadas podem ser gramíneas, arbustos, flores ou árvores, desde que a cobertura não possua uma inclinação favorável para ocorrência de deslizamentos (HENEINE, 2008).

De acordo com Krebs (2005), além da escolha correta da vegetação para cultivar neste tipo de telhado, é de fundamental importância que os nutrientes e água estejam na quantidade certa, visto que estas são as condições essenciais para o crescimento e sobrevivência das plantas.

A construção intensiva pode ser considerada como um jardim em cima do telhado, já que neste modelo é cultivado vegetação de pequeno porte, médio e grande porte. Ainda, este tipo de construção fica restrito aos grandes empreendimentos, devido ao maior custo na sua implantação, no reforço das estruturas que suportam o telhado e na manutenção que deve realizada

periodicamente (figura 3). Estas áreas podem ser utilizadas como praças ou pequenos parques em hotéis, *shoppings centers* ou edifícios comerciais e habitacionais (KREBS, 2008).

FIGURA 3 - TELHADO VERDE INTENSIVO CONSTRUÍDO EM LAJE DE PRÉDIOS



FONTE: <http://atitudesustentavel.uol.com.br>

Na construção de telhado verde intensivo, a profundidade do substrato de solo varia de 15 a 40 cm. Esta altura de substrato garante a sustentação das plantas cultivadas. Outro ponto importante está relacionado com o peso total exercido em cima do telhado, sendo que o ideal é não ultrapassar 500 kg/m², de acordo *International Green Roof Association* (IGRA, 2015).

Nota-se que, neste sistema de construção, o peso exercido sobre a cobertura é maior. Este fato pode ser explicado pela quantidade de substrato utilizado para sustentar a vegetação e pelo tipo de espécies cultivadas (arbustos, flores, e até mesmo árvores), o qual pode exigir um solo de maior profundidade.

2.1.3. Construção Extensiva

As características peculiares do telhado verde extensivo, como a espessura do substrato de até 10 cm, a vegetação cultivada de pequeno porte e a baixa manutenção, favorecem e viabilizam a instalação deste modelo em

diversas coberturas já existentes. Ainda que estas estejam em estruturas planas ou inclinadas, a sobrecarga exercida na estrutura do telhado será menor comparada com outros modelos, mesmo em dias chuvosos.

A construção extensiva de telhados verdes possui vantagens em relação aos modelos intensivo e semi-intensivo. Um motivo essencial é que a vegetação cultivada não necessita de cuidados constantes ou especiais. Geralmente as plantas cultivadas são gramíneas ou outras espécies que não precisam de muita água para se desenvolver (xerófitas), além da baixa profundidade, pois a espessura do substrato é baixa (HENEINE, 2008).

Abaixo, a figura 4, detalha as camadas de um telhado verde com gramíneas no modelo extensivo:

FIGURA 4 - TELHADO VERDE DE CONSTRUÇÃO EXTENSIVA



FONTE: <http://www.isoline.com.br>

Segundo Oliveira (2009), o telhado verde extensivo apresenta alta resistência à variação pluvial, o que torna quase que desnecessária a manutenção da vegetação cultivada, pois em sua maioria são plantas que possuem baixa taxa de crescimento e não requerem uma grande quantidade de água para o seu desenvolvimento.

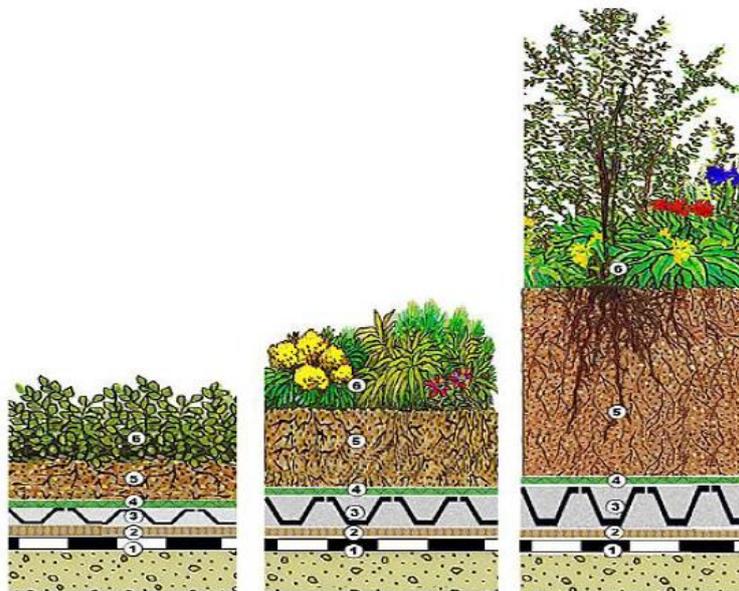
2.1.4. Construção Semi-intensiva

O telhado verde semi-intensivo, por ser constituído de uma camada de substrato mais profundo em relação ao modelo extensivo, propicia o cultivo de plantas diversificadas, tais como herbáceas, arbustos ou até mesmo plantas lenhosas, que possuem crescimento médio (HENEINE, 2008).

Conforme IGRA (2015), esse modelo possui características de altura do substrato variando entre 12 a 25 cm e peso exercido sobre a cobertura em torno de 120 a 200 Kg/m². Além disto, os custos se aproximam do telhado verde intensivo, tendo em vista que este telhado necessita de manutenções periódicas.

A figura 5 demonstra a diferença de espessuras do substrato na construção extensiva, semi-intensiva e intensiva respectivamente:

FIGURA 5 - ESTRATIFICAÇÃO BÁSICA DE TELHADOS COM DIFERENTES ESPESSURAS



FONTE: Lohmann (2008).

A tabela 1 apresenta a diferença dos tipos de telhados verdes em relação às características específicas de cada cobertura de acordo com IGRA (2015).

TABELA 1. CARACTERÍSTICAS DOS TELHADOS VERDES.

ITENS	TELHADO VERDE EXTENSIVO	TELHADO VERDE SEMI-INTENSIVO	TELHADO VERDE INTENSIVO
MANUTENÇÃO	Baixo	Periodicamente	Alto
IRRIGAÇÃO	Não	Periodicamente	Regularmente
PLANTAS	Sedum, ervas e gramíneas	Gramas, ervas e arbustos	Gramado, arbustos e árvores
ALTURA DO SISTEMA	60 - 200 mm	120 - 250 mm	150-400 mm
PESO	60-150 kg/m ²	120-200 kg/m ²	180-500 kg/m ²
CUSTOS	Baixo	Médio	Alto
USOS	Camada de proteção ecológica	Projetado para ser um telhado verde	Parque igual a um Jardim

FONTE: IGRA (2015)

No entanto, é importante citar sobre outro modelo de telhado verde que vem sendo adotado no sul do Brasil. Com tecnologias e inovações próprias, este modelo pode ser considerado uma alternativa interessante, pois adota um tipo de sistema modular e possui bastante semelhança ao modelo extensivo (ECOTELHADO, 2015).

2.1.5. Condições Estruturais

Um aspecto importante para implantação de um telhado verde é a sobrecarga que o novo telhado (cobertura convencional + camadas de impermeabilização + solo + vegetação + água retida) exercerá sobre as estruturas construídas, uma vez que esta carga irá aumentar, principalmente nos dias de chuva. Desde forma, no projeto de construção ou na implantação do telhado verde, um requisito prioritário é atentar-se à carga que será exercida pelo novo telhado, visando uma construção de cobertura segura (HENEINE, 2008).

Segundo Pouey (1998, *apud* KREBS, 2005), na avaliação inicial das forças exercidas em uma estrutura de telhado devem ser consideradas duas cargas: as permanentes e as acidentais.

As cargas permanentes se referem ao peso de todas as camadas de regularização, impermeabilização, proteção, drenagem, substrato, dentre outras que constituem o novo telhado, somando ainda o peso da água retida e da vegetação cultivada (POUEY, 1998 *apud* KREBS, 2005).

Já as cargas acidentais referem-se à circulação de pessoas e máquinas para a manutenção do telhado verde ou reforma. Comprova-se neste caso que a construção extensiva é mais vantajosa que a intensiva, em virtude que não é necessária a realização de manutenções periódicas (BRITTO, 2001 *apud* KREBS, 2005).

De acordo com Heneine (2008), a escolha do tipo de telhado verde depende diretamente da estrutura que suporta o telhado construído. A construção de um de telhado verde extensivo em coberturas existentes é mais fácil e viável, pois este modelo exerce carga menor nas estruturas, mesmo em dias de chuva. O modelo de cobertura extensiva, com substrato de 5 a 15 cm de espessura, aumenta a carga em 70 a 170 kg/m² nas estruturas, enquanto a intensiva, na qual o substrato está acima de 15 cm de profundidade, aumenta a carga em 290 a 970 kg/m².

As coberturas verdes extensivas são bem adequadas para suportar cargas menores e sendo possível adaptar em locais os quais não foram projetados para utilizar jardins de cobertura. Coberturas extensivas são mais leves e pode ter sua capacidade de carga suportada pelas estruturas de cobertura existentes hoje, ao contrário das intensivas, que possuem mais peso e podem ter sérias implicações estruturais. Em novas construções deve-se verificar a necessidade de reforço para suporte do telhado no estágio do projeto, porém em construções existentes deve-se pensar na capacidade de carga da cobertura em si e somar o seu peso, assim analisando se ela está preparada ou se necessita de um reforço estrutural (HENEINE, 2008).

2.2. As emissões de CO₂ pela produção de aço e de concreto.

Os processos de produção dos materiais de construção provocam grandes emissões de CO₂, principalmente devido à queima de combustíveis dentro dos processos industriais, como também pela transformação química da

matéria-prima utilizada, além do uso de combustíveis no transporte (MARCOS, 2009).

São muitas as variáveis que influenciam os levantamentos das quantidades de CO₂ gerados pelos materiais, tais como diferenças nas tecnologias das plantas industriais, diferenças nas matérias primas, além das diferentes formas de energia utilizadas. Um mesmo material produzido por diferentes indústrias do mesmo setor terá quantidades de emissões de CO₂ diferentes.

Consideramos neste trabalho somente os materiais de uso estrutural para o caso que são o aço e o concreto, sendo que este último envolve diretamente o cimento Portland.

Iniciando pelo cimento Portland, aglomerante derivado do calcário, que é grande emissor de dióxido de carbono, para sua produção, podemos citar Kumar Mehta que coloca que para se produzir 1000 kg clínquer (composto principal do cimento Portland), gera-se de 900 a 1000 kg de CO₂, (MEHTA, 2001). Destas emissões, 50% a 60% são geradas na reação química de descarbonatação do calcário, 30% a 40% são devido à combustão dos combustíveis fósseis no forno (SUMNER; *et al.*, 2008). Muito usual na indústria nacional, a incorporação de adições ao clínquer, como cinzas volantes e escórias de alto forno, que são resíduos industriais, minimizam o fator de clínquer, nos diversos tipos de cimento Portland comercializados, diminuindo também a quantidade de CO₂ gerado por unidade de peso de cimento.

Considerando que as escórias e as cinzas volantes são resíduos industriais, e que o seu aproveitamento como adições pela indústria cimenteira não gera CO₂, na Tabela 2 estão apresentados os valores aproximados das emissões de CO₂ para a produção de alguns tipos de cimentos nacionais com as adições. É importante ressaltar que as quantidades destas adições são variáveis tanto sazonalmente quanto de uma planta industrial para outra. Os valores da Tabela 2 são resultado do cálculo do CO₂ gerado pelos diferentes tipos de cimento de acordo com seus consumos de clínquer e adições permitidas pelas Normas técnicas como colocado por Freitas (2011).

TABELA 2. CO₂ GERADO POR TONELADA DE CIMENTO PORTLAND.

Tipo	Adição	kg CO₂/tonelada
CP II E	40% Escória + Filercarbonático	580
CP II Z	24% Pozolana + Filercarbonático	700
CP III	75% Escória	290
CP IV	40% Pozolana	530
CP V	5% Filercarbonático	860

FONTE: Freitas (2011)

Para calcularmos as emissões de CO₂ para um concreto classe C25 (fck de 25 MPa), material que utilizamos para este estudo, foi utilizado as informações de dosagens (consumos de cimento e agregados) fornecidas por duas tradicionais usinas de concreto de Curitiba. Como para a produção dos agregados é gerado CO₂ somente no transporte e explosivos, foi considerado para este estudo apenas o CO₂ emitido pelo cimento Portland consumido.

A Tabela 3 mostra as quantidades de CO₂ geradas calculadas para a produção do concreto C25 por duas usinas diferentes. Os cálculos foram feitos baseando-se nos consumos e tipos de cimento usados, acrescentando-se mais 34 kg de CO₂ ou 18% na média dos concretos para as outras etapas da produção, como a trituração e preparo dos agregados e a operação da usina, conforme calcularam Struble L. e Godfrey J., em seu trabalho “HOW SUSTAINABLE IS CONCRETE?”, University of Illinois at Urbana-Champaign (2004), onde fazem os cálculos baseados nos consumos de energia. Obviamente esta abordagem é uma aproximação que é afetada por diversos fatores, como os consumos e origens dos agregados, além da origem da energia.

TABELA 3. EMISSÕES DE CO₂ GERADAS POR M³ DOS CONCRETOS.

	Cimento utilizado	Concreto	Emissão de CO₂ (kg/m³)
Usina A	CP IV	25 Mpa	167
Usina B	CP II Z	25 MPa	257

FONTE: O autor

A produção de aço ou siderurgia também é grande emissora de CO₂. Para se obter aço a partir do minério de ferro, ocorre a decomposição química de óxidos de ferro, reação que libera monóxido e dióxido de carbono.

A média mundial de liberações de CO₂ para produção de aço é de 1,7 toneladas para cada tonelada de aço. Um estudo sobre 35 siderúrgicas por todo o mundo, que operam com minério de ferro em alto-forno, encontrou valores de 1,6 a 2,6 toneladas de emissões de CO₂ por tonelada de aço. Para plantas industriais que produzem aço a partir de sucata, utilizando fornos à arco elétrico, o mesmo estudo, encontrou valores de 0,2 a 1,1 toneladas de CO₂ por tonelada de aço (SANDBERD, *et al.* 2001). Para este trabalho utilizaremos a média mundial de 1,7 toneladas de CO₂ por tonelada de aço.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada a seguir foi direcionada para o propósito de verificar se a quantidade sequestrada de carbono pelos três tipos de telhados verdes existentes (extensivo, semi-intensivo e intensivo) compensa a quantidade de carbono emitido com a estrutura reforçada para suportar o peso do telhado verde. A estrutura é proporcional ao peso que depende do substrato, do tipo e da quantidade de vegetação instalada.

3.1. Metodologia de análise

Para este procedimento, será calculada a quantidade de carbono emitido na fabricação dos materiais utilizados na construção dos telhados, apresentando-os em uma tabela. Será realizado o cálculo da estimativa de biomassa arbustiva e herbácea utilizando a metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso de terra da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2002), determinando assim a quantidade de carbono a ser sequestrada pela vegetação do telhado verde.

Com os dados literários de sobrecarga de cada telhado citado neste estudo será possível determinar a quantidade de material necessário e conseqüentemente quanto dióxido de carbono foi emitido para sua construção. Desta forma poderemos comparar os dados obtidos com a quantidade de

carbono capturado pela vegetação e o solo instalados. Serão comparados também os dados dos telhados verdes com um padrão de cobertura impermeabilizada convencional, verificando o potencial de redução de emissões de gás carbônico pelos três tipos de cobertura ecológica.

Os três tipos de telhado verde serão: extensivo, semi-intensivo e intensivo, todos suportados por estruturas de concreto armado convencional. Para a comparação serão utilizadas informações de uma cobertura impermeabilizada convencional, utilizando uma estrutura teórica para lajes planas, com vãos de 5 metros de lajes e vigas.

3.2. Quantitativos para as estruturas

A seguir estão colocados os cálculos para as diferentes soluções, tendo em vista que diferentes espessuras dos telhados verdes implicam em sobrecargas estruturais diferentes. Para os dimensionamentos estruturais em concreto armado, foi feita uma consultoria com a empresa especializada Kalkulo Projetos Estruturais LTDA, de Curitiba, através do engenheiro Antônio Stramandinoli Junior, que foi professor da UFPR e possui larga experiência no assunto. A Norma utilizada para os cálculos estruturais foi a NBR 6118/2014.

3.2.1. Estruturas de concreto armado para o telhado convencional

Para a situação de simples cobertura impermeabilizada, sem tráfego, só proteção do sol e da chuva, foram consideradas uma sobrecarga acidental de 50 kg/m^2 , acrescentada da carga da impermeabilização de 100 kg/m^2 .

Com estas informações, utilizando a NBR 6118, o engenheiro estrutural dimensionou uma estrutura com uma espessura média (ou volume) de concreto C25 ($f_{ck} 25 \text{ MPa}$) de 12 cm por m^2 de laje, com um consumo de aço CA50 de 100 kg por m^3 de concreto aplicado.

3.2.2. Estruturas de concreto armado para os telhados verdes

Analisando a estrutura, para a mesma laje, com os mesmos vãos, só que agora considerando um jardim de espessura de acordo com o tipo de

telhado verde extensivo (altura de 200 mm), foram consideradas uma sobrecarga acidental de 150 kg/m^2 , acrescentada da carga da impermeabilização de 100 kg/m^2 . Com estas informações, utilizando a mesma NBR 6118, a estrutura foi dimensionada com uma espessura média (ou volume) de concreto C25 de 12 cm por m^2 de laje, agora com um consumo de aço CA50 de 110 kg por m^3 de concreto aplicado.

Ainda para a mesma laje e mesmos vãos, agora considerando um jardim de espessura de acordo com o tipo de telhado verde semi-intensivo (altura da ordem de 250 mm), foram consideradas uma sobrecarga acidental de 200 kg/m^2 , acrescentada da carga da impermeabilização de 100 kg/m^2 . A estrutura foi dimensionada com uma espessura média (ou volume) de concreto C25 de 13 cm por m^2 de laje, com um consumo de aço CA50 de 110 kg por m^3 de concreto aplicado.

Considerando agora um jardim de espessura de acordo com o tipo de telhado verde intensivo (altura da ordem de 400 mm), para a mesma laje e mesmos vãos, considerou-se uma sobrecarga acidental de 500 kg/m^2 , acrescentada da carga da impermeabilização de 100 kg/m^2 . A estrutura foi dimensionada com uma espessura média (ou volume) de concreto C25 de 15 cm por m^2 de laje, com um consumo de aço CA50 de 125 kg por m^3 de concreto aplicado.

Na Tabela 4 estão colocadas as informações consideradas e obtidas no estudo das diversas alternativas da estrutura.

TABELA 4. DADOS SOBRE AS ESTRUTURAS DOS TELHADOS VERDES.

	Espessura de solo (mm)	Sobrecarga da cobertura verde	Concreto (m^3/m^2)	Aço (kg/m^3 concreto)	Aço (m^3/m^2)
Telhado Convencional	0	0	0,12	100	12
Telhado verde extensivo	200	250	0,12	110	13,20
Telhado verde semi-intensivo	250	312	0,13	110	14,30
Telhado verde intensivo	400	500	0,15	125	18,75

FONTE: O autor

3.3. Carbono fixado pelos telhados verdes

O carbono capturado do dióxido de carbono da atmosfera está presente em um jardim em diversas biomassas, que são especificados pelo manual da Embrapa, que são a biomassa arbórea viva, a arbustiva e herbácea, a da serapilheira, a das plantas, se estima também, que 45% da biomassa vegetal é carbono (AREVALO *et al.*, 2002). É possível estimar que um hectare de plantio arbóreo pode absorver em torno de 10 t de carbono por hectare/ano, da atmosfera, e em florestas tropicais a biomassa seca pode variar entre 150 e 382 t/ha, variando o carbono armazenado entre 67,5 a 171 t/ha (FREITAS *et al.*, 2008). Portanto com estas informações, tendo em vista que o presente estudo se baseia em um ajardinamento com vegetação média genérica, estamos estimando uma massa de carbono retida pelo sistema em 6,75 a 17,1kg de carbono por metro quadrado de jardim, dependendo da espessura do substrato.

Dividiu-se a estimativa de carga de carbono proporcionalmente à espessura do substrato de cada tipo de telhado verde, chegando aos valores da Tabela 5, que mostram as cargas de carbono fixadas e seus equivalentes em dióxido de carbono. É importante observar que a molécula de CO₂ é 3,66 vezes mais pesada que cada átomo de carbono. Portanto, cada unidade de massa de carbono fixado por um telhado verde, elimina a emissão de 3,66 unidades de massa de CO₂.

TABELA 5. ALTURAS E CARGAS DE CARBONO PARA OS DIFERENTES TIPOS DE TELHADO VERDE.

	Altura do Sistema (mm)	Carga de Carbono (kg/m ²)	CO ₂ Capturado (kg/m ²)
Telhado Verde Extensivo	200	10,20	37,33
Telhado Verde Semi-Intensivo	250	13,65	49,96
Telhado Verde Intensivo	400	17,10	62,59

FONTE: O autor

Para alcançarmos os resultados de quanto se acrescenta na geração de dióxido de carbono para as estruturas dos telhados verdes comparado a uma cobertura simples de laje impermeabilizada, foram calculados os consumos de aço e concreto para cada estrutura. Na Tabela 6 estão apresentados os consumos de aço e concreto para cada tipo de telhado, das informações obtidas no capítulo anterior.

TABELA 6. ALTURAS E CARGAS E CONSUMOS DE AÇO E CONCRETO.

	Altura Máxima (mm)	Sobre- carga (kg/m²)	Peso da impermea- bilização (kg/m²)	Volume de Concreto (cm/m²)	Consumo de aço (kg/m²)
Telhado Convencional	-	50	100	12,0	12,0
Telhado Verde Extensivo	200	150	100	12,0	13,2
Telhado Verde Semi- Intensivo	250	200	100	13,0	14,3
Telhado Verde Intensivo	400	500	100	15,0	18,75

FONTE: O autor

Seguindo o dado de que as emissões de CO₂ pela produção dos concretos podem variar muito em função do tipo de cimento utilizado e sua forma de fabricação, foram feitos os cálculos para os dois diferentes tipos de concreto de usinas diferentes. Na Tabela 7 estão apresentados os valores calculados de emissões de CO₂ para a cobertura convencional e para cada uma das alternativas de telhado verde estudadas, considerando os dois tipos de concretos diferentes, sempre para um metro quadrado de área de cobertura.

TABELA 7. EMISSÕES DE CO₂ PELOS MATERIAIS NOS DIFERENTES TIPOS DE TELHADO VERDE.

	Concreto (m ³ /m ²)	Aço (kg/m ²)	Emissões Concreto A kg CO ₂	Emissões Concreto B kg CO ₂	Emissões pelo aço kg CO ₂	Total A kg CO ₂	Total B kg CO ₂
Telhado Convencional	0,12	12	20,04	30,84	20,4	40,44	51,24
Telhado Verde Extensivo	0,12	13,2	20,04	30,84	22,44	42,48	53,28
Telhado Verde Semi-Intensivo	0,13	14,3	21,71	33,41	24,31	46,02	57,72
Telhado Verde Intensivo	0,15	18,75	25,05	38,55	31,88	56,93	70,43

FONTE: O autor

Com o intuito de se proceder a análise comparativa, na Tabela 8 estão apresentadas as diferenças ou acréscimos de CO₂ produzidos por cada tipo de telhado verde, em relação à cobertura convencional. Para isso, descontou-se o total de CO₂ emitido pelo telhado convencional do total também de emissões de cada telhado verde, isso para os dois tipos de concreto. Chamamos este valor de “Diferença”.

TABELA 8. DIFERENÇAS DAS EMISSÕES DE CO₂ ENTRE OS TELHADOS VERDES E O CONVENCIONAL.

	Altura Máxima (mm)	Total A kg CO ₂	Total B kg CO ₂	Diferença A kg CO ₂	Diferença B kg CO ₂
Telhado Convencional	-	40,44	51,24	-	-
Telhado Verde Extensivo	200	42,48	53,28	2,04	2,04
Telhado Verde Semi-Intensivo	250	46,02	57,72	5,58	6,48
Telhado Verde Intensivo	400	56,93	70,43	16,49	19,19

FONTE: O autor

Comparando os resultados de carbono fixado apresentados na Tabela 5, com os resultados de acréscimos de CO₂ emitidos apresentados na Tabela 8, chegaram-se aos dados da Tabela 9. O “Saldo” é o resultante da captura de cada telhado verde descontado a “Diferença” calculada na tabela anterior. Desta maneira é possível verificar a quantidade de CO₂ capturado restante após subtrair o acréscimo de emissões geradas com o reforço de material nos telhados verdes.

TABELA 9. SALDO DA DIFERENÇA ENTRE EMISSÃO E CAPTURA DE CO₂ COMPARADOS AO TELHADO CONVENCIONAL

	Diferença A kg CO ₂	Diferença B kg CO ₂	CO ₂ Capturado (kg/m ²)	Saldo com concreto A (kg/m ²)	Saldo com concreto B (kg/m ²)
Telhado Verde Extensivo	2,04	2,04	37,33	35,29	35,29
Telhado Verde Semi-Intensivo	5,58	6,48	49,96	44,38	43,48
Telhado Verde Intensivo	16,49	19,19	62,59	46,1	43,4

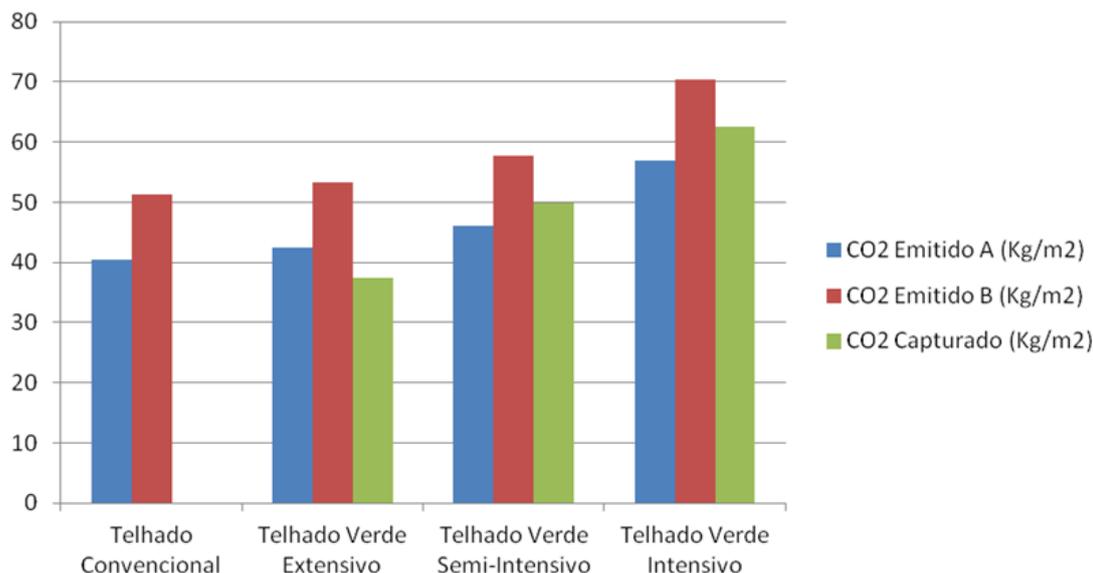
FONTE: O autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através desses dados é possível concluir que ao compararmos com o telhado convencional, o telhado verde extensivo gera um saldo de captura de 35,29 kg de CO₂ por metro quadrado de área, tanto utilizando o concreto A como o concreto B. Já o telhado verde semi-intensivo ao utilizar o concreto A tem como saldo de captura de 44,38 kg/m² de CO₂ e 43,48 kg/m² com o concreto B. O saldo de CO₂ capturado do telhado verde intensivo corresponde a 46,1 kg/m² se utilizando o concreto A e 43,4 kg/m² com o concreto B.

O Gráfico 1 demonstra os valores de CO₂ emitidos com a utilização dos tipos de concreto A e B comparando com a quantidade de dióxido de carbono capturado pela vegetação, todos em kg/m² de telhado.

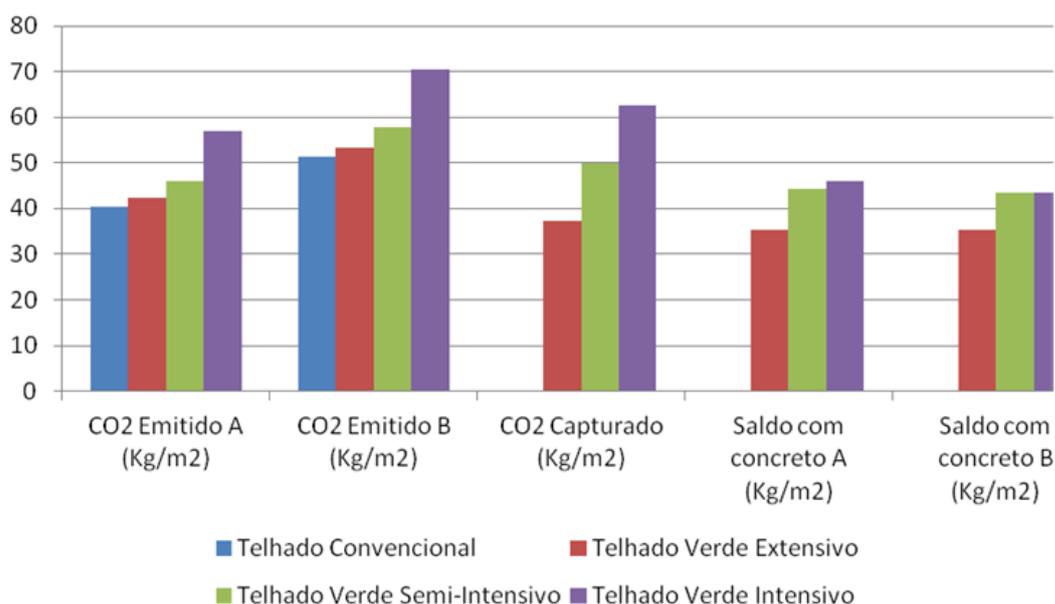
GRÁFICO 1 – COMPARATIVO DE EMISSÕES E CAPTURA DE CO₂ ENTRE OS TIPOS DE TELHADOS.



FONTE: O autor

A diferença das emissões e a captura de CO₂ entre cada tipo de telhado é demonstrada no Gráfico 2, aonde é possível visualizar e comparar também o saldo de CO₂ da diferença do telhado convencional com o telhado verde em kg por m² nos tipos de concreto A e B.

GRÁFICO 2 – DIFERENÇA DAS EMISSÕES, CAPTURA E O SALDO DE CO₂ ENTRE OS TIPOS DE TELHADOS.



FONTE: O autor

Podemos observar que a emissão de CO₂ é proporcional ao consumo de material para o reforço da estrutura do telhado, sendo os telhados com carga maior que emitem mais dióxido de carbono. Por outro lado, a carga maior provém de uma vegetação de maior porte e um substrato mais espesso, tendo assim uma maior capacidade de captura de CO₂. Mesmo com aumento de emissões gerado com o reforço estrutural em todos os tipos de telhados verdes estudados, comparado ao telhado convencional, existe ainda um saldo positivo na captura do CO₂.

Verifica-se que para a construção do telhado verde extensivo, não há diferenças entre a utilização do concreto A ou B. Porém, para os telhados verdes semi-intensivo e intensivo, o concreto A gera um saldo maior de CO₂ capturado. Observa-se também, que o telhado verde intensivo que utiliza o concreto A foi o que gerou o maior saldo, sendo o mais viável para a finalidade de captura de CO₂.

Diante a esses resultados, observa-se que os telhados verdes, mesmo com uma carga maior e exigindo uma estrutura mais reforçada, gerando um aumento no consumo de material, são viáveis quanto à finalidade de neutralizar parte do dióxido de carbono emitido pela fabricação dos materiais das edificações. Pode-se verificar também que a viabilidade na neutralização do carbono é maior em ajardinamentos de maior porte, como no caso do telhado verde intensivo.

4. CONCLUSÕES

O estudo realizado teve como objetivo a verificação da viabilidade do uso do telhado verde para como instrumento de redução de emissões de dióxido de carbono pela sua construção. Verifica-se que para suportar a sobrecarga gerada pela utilização de substrato e sua vegetação plantada é necessário reforçar sua estrutura, demandando um maior consumo de material e insumos. Desta maneira gera-se o questionamento da viabilidade da utilização do telhado verde sendo que o reforço estrutural pode emitir uma quantidade maior de CO₂.

Inicialmente levantaram-se os dados do telhado convencional, dos três tipos de telhado verde e dos materiais utilizados para a sua construção. Foram dimensionadas as estruturas de cada telhado de acordo com sua sobrecarga, verificando assim a quantidade de material utilizado. Considerou-se a utilização de dois tipos de concreto, tendo em vista a sua grande diversidade, com informações de duas tradicionais usinas de Curitiba. Foi levantado também a quantidade de carbono emitido pelo material e sua energia consumida, assim como a quantia capturada pela vegetação e solo instalados por metro quadrado de jardim. Através dessas informações calcularam-se as emissões dos telhados por metro quadrado, verificando o acréscimo comparando ao telhado convencional e descontando a captura em cada tipo de cobertura verde, resultando assim no saldo de CO₂ do telhado específico.

Como resultado, foi possível concluir que todas as coberturas verdes geram um saldo positivo de captura de carbono pela sua vegetação e solo, sendo possível neutralizar parte das emissões geradas pela obra. Em média, o telhado verde teve um saldo de 41,32 kg de CO₂ capturado por metro quadrado de vegetação. Verificou-se que o telhado intensivo que utilizou o concreto A foi o que gerou o maior saldo, capturando 46,1 kg/m² de CO₂.

Portanto, o estudo realizado permitiu concluir que a utilização do telhado verde é viável sob o aspecto de redução da emissão de carbono gerado pelo reforço necessário na construção da cobertura.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AREVALO, L. A., et al. **Metodologia para Estimar o Estoque de Carbono em Diferentes Sistemas de Uso da Terra**. Documentos 73. Embrapa, Colombo, PR, 2002.

BACOVIS, Tiago Martins. **Comparação entre o Desempenho Hidrológico de um Protótipo de Telhado Verde Extensivo e um Protótipo de Telhado Convencional**. 2010. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de graduação em Engenharia Ambiental do Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia – CCET da Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR. Curitiba, 2010. Disponível em: <http://pessoal.utfpr.edu.br/nagalli/arquivos/TCC_Tiago.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2015

ECOTELHADO. “Ecotelhado”. Disponível em: <<http://www.ecotelhado.com.br>> Acesso em: 23 jun. 2015.

FARIA, G. E., et al. **Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica do solo em diferentes distâncias do tronco de eucalipto**. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 265-277, dez. 2008.

FREITAS J. A. Jr.; PILOTTO, G. A; VALLE, T. R. **Comparativo de custos de sistemas construtivos, alvenaria estrutural e estrutura em concreto armado no caso do Empreendimento Piazza Maggiore**. Paraná, 2011.

HENEINE, Maria Cristina Almeida de Souza. **Cobertura Verde**. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Monografia%20Maria%20Cristina%20Almeida.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2015.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Sustentabilidade Ambiental no Brasil** (biodiversidade, economia e bem-estar humano) Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1766>. Acesso em: 09 jul. 2015.

Instituto para o Desenvolvimento de Habitação Ecológica (IDHEA), de São Paulo Disponível em: <http://www.idhea.com.br>. Acesso em: 21 jun. 2015.

International Green Roofs Association (IGRA). Disponível em: <http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php>. Acesso em: 09 jun. 2015.

KREBS, Lisandra Fachinello. **Coberturas Verdes Extensivas: Análise da Utilização em Projetos na Região Metropolitana de Porto Alegre e Serra Gaúcha**. 2005. Mestrado apresentado a Escola de Engenharia UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005. Disponível

em: < <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/10177>>. Acesso em: 26 jul. 2015 p. 37-39, 68.

M. SUMNERr; G. GIANETTI e H. BENINI; **A Indústria do Cimento e Seu Papel na Redução das Emissões de CO₂**, Grace Construction Products, Revista CONCRETO& Construções – n. 51, jul. ago. e set. /2008.

MARCOS, M. H. C. **Análise da emissão de CO₂ na fase pré-operacional da construção de habitações de interesse social através da utilização de uma ferramenta CAD-BIM**. Paraná, 2009.

McLEOD R. S. **Ordinary Portland Cement. With extraordinarily high CO₂ emissions What can be done to reduce then?** Green Building Press, 2005

MEHTA, P. K.; **Reducing the Environmental Impact of Concrete**, Concrete International, October/2001.

OLIVEIRA, Eric Watson Netto. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. 2009. P87. Dissertação (Mestrado Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental) apresentada ao Centro de Tecnologia e Ciências Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.eng.uerj.br/producao2/producao.php?id=205>>. Acesso em: 25 mai. 2015. p. 32 e 34.

Organização das Nações Unidas (ONU). **2014 Revision of World Population Prospects**. Disponível em:< <http://esa.un.org/unpd/wup/>>. Acesso em: 22 jul. 2015.

SANDBERG, H.; LAGNEBORG, R.; LINDBLAD, B.; AXELSSON, H.; BENTELL, L.; **CO₂ emissions of Swedish steel industry**, Scandinavian Journal of Metalurgy, 10/2001.

SCRENSKI, Adrian Jan; BIZ, Halisson David; SOUZA, Marcos Antônio; BROCHER, Rafael Ernani Cabral. **Construções Sustentáveis: Estudo de Viabilidade do Telhado Verde**. 114p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) – FAE – Centro Universitário. Curitiba, 2011.

SILVA, Neusiane da Costa. **Telhado Verde: Sistema Construtivo de Maior Eficiência e Menor Impacto Ambiental**. 2011. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) apresentada a Escola de Engenharia UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011. Disponível em: < <http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg2/73.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2015. p.25-26.

STRUBLE L., GODFREY J. **HOW SUSTAINABLE IS CONCRETE?** University of Illinois at Urbana-Champaign, USA, 2004.