

UNIVERSIDADE FUMEC
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA – FEA

Mestrado Profissional em Processos Construtivos

Marina Evangelista Alves

INTERVENÇÕES SUSTENTÁVEIS:
Propostas de *retrofit* para a Rodoviária de Belo Horizonte

Professor Orientador Dr. Eduardo Vieira Carneiro

Belo Horizonte

Abril / 2021

Marina Evangelista Alves

INTERVENÇÕES SUSTENTÁVEIS:

Propostas de *retrofit* para a Rodoviária de Belo Horizonte

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade Fumec, como requisito para a conclusão do Mestrado Profissional em Processos Construtivos.

Professor Orientador Dr. Eduardo Vieira Carneiro

Belo Horizonte

Abril / 2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A474i Alves, Marina Evangelista, 1989-
Intervenções sustentáveis: proposta de *retrofit* para a
Rodoviária de Belo Horizonte / Marina Evangelista Alves. -
Belo Horizonte, 2021.
77 f. : il.

Orientador: Eduardo Vieira Carneiro
Dissertação (Mestrado em Processos Construtivos),
Universidade FUMEC, Faculdade de Engenharia e Arquitetura,
2021.

1. Arquitetura. 2. Sustentabilidade. 3. Terminais
rodoviários. I. Título. II. Carneiro, Eduardo Vieira. III.
Universidade FUMEC, Faculdade de Engenharia e Arquitetura.

CDU: 72:574.2



Marina Evangelista Alves

Intervenções sustentáveis: proposta de retrofit para a Rodoviária de Belo Horizonte

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Processos Construtivos da Universidade Fumec, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Processos Construtivos.

Aprovado em: 28 de abril de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eduardo Vieira Carneiro – Universidade FUMEC
(Orientador)

Prof. Me. João Carlos de Castro Silva – Universidade FUMEC
(Examinador Interno)

Prof. Dr. José Cláudio Junqueira Ribeiro – Escola Superior Dom Helder Câmara
(Examinador Externo)

Eduardo Vieira Carneiro

João Carlos de Castro Silva

José Claudio Junqueira Ribeiro



TITLE **Assinatura de ata e contra-capas Universidade**
FILE NAME **b76e09b2-9892-4d77-9de4-9c5135c41126.pdf**
REQUEST ID **signature_request_9163d7f9-adec-493c-a2d0-**
REQUESTED BY **Karem Estefani Oliveira De Paula**
STATUS **● Completed**

Professor (eduvc@fumec.br)



SENDED

06/12/2021
15:27:08UTC±0



SIGNED

06/12/2021
15:27:57UTC±0
201.17.211.42

Professor (joca@fumec.br)



SENDED

10/02/2022
18:43:07UTC±0



SIGNED

10/02/2022
18:45:33UTC±0
177.182.210.2

Professor (jcjunqueira@yahoo.com)



SENDED

13/02/2022
15:34:23UTC±0



SIGNED

13/02/2022
15:34:56UTC±0
177.182.210.2



COMPLETED

13/02/2022
15:34:56 UTC±0
The document has been completed.

RESUMO

O presente trabalho propõe intervenções sustentáveis para a Rodoviária de Belo Horizonte, a fim de incluir melhorias em edificação construída em 1971, adaptando a mesma à realidade atual. A oportunidade de participação da reforma do prédio da Rodoviária como corpo técnico, abriu horizontes sobre intervenções necessárias em edificação tão importante no cenário Belo Horizontino, sendo possível propor alternativas de sustentabilidade anteriormente não sugeridas. A sustentabilidade assumiu uma importância crescente nos últimos anos, principalmente por ser alternativa para manutenção dos recursos naturais do planeta. A inclusão de alternativas sustentáveis à edificação garante benefícios tanto ao prédio quanto aos usuários. A revitalização da iluminação, a instalação de placas solares, a instalação de telhado verde e o reaproveitamento de água de chuva, são as principais intervenções sugeridas neste trabalho para a Rodoviária de Belo Horizonte.

Palavras-chave: Arquitetura. Sustentabilidade. Terminal Rodoviário.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVO.....	12
2.1. OBJETIVO GERAL	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. JUSTIFICATIVA	13
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
4.1. ILUMINAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES.....	14
4.1.1. <i>A iluminação natural e sua importância na arquitetura</i>	14
4.1.2. <i>Iluminação artificial e eficiência energética</i>	18
4.2. PLACAS SOLARES - PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	24
4.3. COBERTURA VERDE	29
4.3.1. <i>Etapas de execução</i>	32
4.3.2. <i>Climatização</i>	35
4.4. SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	36
4.4.1. <i>Legislação para o reaproveitamento de água pluvial - NBR 15527:2019</i>	36
4.4.2. <i>Política de reuso da água no Brasil</i>	38
4.4.3. <i>Exemplos práticos de reuso de águas pluviais no Brasil</i>	38
4.4.3.1. Eurobusiness Curitiba-PR	38
4.4.3.2. Edifício Jacarandá – São Paulo	39
4.4.3.3. Edifício Forluz – Belo Horizonte – MG.....	40
5. METODOLOGIA.....	42
6. DESENVOLVIMENTO.....	44
6.1. PROPOSTA DE REVITALIZAÇÃO LUMINOTÉCNICA	44
6.1.1. <i>Iluminação: objetivos, características e benefícios</i>	44
6.1.2. <i>Situação da iluminação na Rodoviária</i>	44
6.1.3. <i>Proposta de intervenção</i>	45
6.2. PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE PLACAS SOLARES	51
6.3. COBERTURA VERDE	56

6.3.1.	<i>O uso da cobertura verde nas edificações</i>	56
6.3.2.	<i>Proposta de implantação da cobertura verde no TERGIP</i>	56
6.4.	SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL	63
6.4.1.	<i>Definição do volume do reservatório - aspectos</i>	63
6.4.2.	<i>Área de contribuição</i>	64
6.4.3.	<i>Demanda de água pluvial</i>	65
6.4.4.	<i>Cálculo do volume do reservatório</i>	67
6.4.5.	<i>Projeto conceitual do sistema de armazenamento e tratamento de água pluvial</i>	69
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
8.	REFERÊNCIAS	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Formas de acesso luz natural	15
Figura 2 – Shad Hospital Sarah	16
Figura 3 – Claraboia.....	17
Figura 4 – Eficiência luminosa de diferentes fontes de luz.....	19
Figura 5 – Classificação das luminárias e curvas de distribuição da intensidade luminosa	21
Figura 6 – Evolução da eficiência energética das fontes de luz artificial	22
Figura 7 – IRC, eficiência luminosa e durabilidade	23
Figura 8 – Eficiência energética	23
Figura 9 – Fontes de geração de eletricidade no Mundo - 2009	24
Figura 10 – Fontes de geração de eletricidade no Brasil - 2009	25
Figura 11 – Usina Fotovoltaica.....	26
Figura 12 – Exemplo de Planta Solar	27
Figura 13 – Alterações do ciclo hidrológico de acordo com o nível de urbanização.....	29
Figura 14 – Camadas cobertura verde.....	33
Figura 15 – Corte cobertura verde	34
Figura 16 - Estruturas de gramíneas versus telhados sem cobertura verde	35
Figura 17 - Estruturas com subarbustos versus telhados sem cobertura verde	35
Figura 18 - Esquema de aproveitamento de água típico	36
Figura 19 – 3D edifício Eurobusiness.....	39
Figura 20 – 3D edifício Jacarandá.....	40
Figura 21 – Edifício Forluz.....	41
Figura 22 – Iluminação insuficiente	45
Figura 23 – Exemplo de Histórico de Energia	47
Figura 24 – Após implementação solução área interna	48
Figura 25 – Solução de iluminação área externa	48
Figura 26 – Solução de iluminação embarque e hall.....	49
Figura 27 – Esboço 3D cobertura do edifício	51
Figura 28 – Foto cobertura do edifício executada	52
Figura 29 – Média anual de insolação diária no Brasil (horas).....	52
Figura 30 – Projeto básico placas solares.....	55

Figura 31 – Bairro centro.....	57
Figura 32 – Localização TERGIP.....	58
Figura 33 – Projeto básico cobertura verde	58
Figura 34 – Seção do Telhado com suas respectivas camadas	59
Figura 35 – Sistema Modular	60
Figura 36 – Sistema Alveolar	61
Figura 37 – Sistema Laminar	62
Figura 38 – Cobertura TERGIP destacando a área de contribuição	64
Figura 39 – Áreas jardineiras e pisos TERGIP	65
Figura 40 – Coeficientes de escoamento superficial	68
Figura 41 - Fluxograma da linha de tratamento.....	69
Figura 42 – Layout simplificado do sistema.....	71
Figura 43 – Ampliação layout e representação 3D.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos componentes para a luz natural.....	16
Tabela 2 – Durabilidade	23
Tabela 3 – Comparação entre características ambientais do telhado verde e convencional baseadas na experiência de Portland-EUA.....	31
Tabela 4 - Parâmetros de qualidade da água para fins não potáveis	37
Tabela 5 - Frequência de manutenção e limpeza do sistema de coleta, armazenamento e tratamento de água pluvial	37
Tabela 6 – Comparativo Sistemas LED / Original	50
Tabela 7 – Especificações técnicas painel solar	53
Tabela 8 – Média histórica de consumo TERGIP.....	54
Tabela 9 – Áreas jardineiras e pisos TERGIP	65
Tabela 10 - Resultados obtidos do cálculo de demanda de água	66
Tabela 11 - Índices pluviométricos da cidade de Belo Horizonte	67
Tabela 12 - Modelo de planilha para aplicação do Método de Rippl	68
Tabela 13 - Cálculo do volume do reservatório	69

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
COT	Carbono Orgânico Total
ETA	Estação de Tratamento de Água
FEA	Faculdade de Engenharia e Arquitetura
Fumec	Fundação Mineira de Educação e Cultura
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MG	Minas Gerais
NBR	Norma Brasileira Registrada
TERGIP	Terminal Rodoviário Governador Israel Pinheiro

1. INTRODUÇÃO

A construção sustentável surgiu como metodologia de construir edificações de forma mais eficiente. Com recursos naturais escassos, saber como utilizar e reaproveitar os materiais disponíveis é fundamental na atualidade. Os modelos de construção comumente difundidos são caracterizados pelo alto consumo de recursos naturais e pela degradação ambiental. As limitações de quantidade desses recursos e a necessidade de proteção ambiental mostram que esse quadro é insustentável.

Apesar da preocupação crescente com o aumento da eficiência e a sustentabilidade nos edifícios novos, os antigos e tombados não recebem a mesma atenção. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é propor estratégias sustentáveis para a Rodoviária de Belo Horizonte, tombada pelo Patrimônio Histórico de Minas Gerais, localizada no centro da cidade de Belo Horizonte.

As propostas sugeridas reforçam a integração entre o meio construído e o meio natural, possibilitando a renovação do edifício de maneira a preservar o valor estético e histórico da edificação.

Com o intuito de demonstrar a importância do tema sustentabilidade na atualidade, propõe-se implementar soluções sustentáveis a edificações já existentes, as quais normalmente são maioria na realidade brasileira. A sugestão de inclusão das soluções sustentáveis é uma alternativa real para a preservação dos recursos naturais do planeta.

Edificações de grande importância no cenário mineiro, como a Rodoviária de Belo Horizonte, estavam inseridas em um contexto o qual não se dava importância ao tema sustentabilidade. Desta forma, as intervenções pontuais sugeridas neste trabalho, além de melhorarem a qualidade do edifício em si, contribuirão para a melhoria do entorno.

O foco do trabalho em questão inclui a implementação das seguintes intervenções pontuais: revitalização da iluminação, instalação de placas solares, instalação de telhado verde e reaproveitamento das águas pluviais, disseminando assim a importância da recuperação e restauração dos edifícios antigos, em contraponto à afirmação de que estas retardam a expansão da cidade, maximizando a vida útil dos edifícios.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

Propor soluções sustentáveis para o edifício da Rodoviária de Belo Horizonte.

2.2. Objetivos específicos

- Analisar as soluções sustentáveis que melhor se adequem à realidade do edifício;
- Verificar a viabilidade da sua implementação;
- Analisar os benefícios das soluções propostas de revitalização luminotécnica, implementação de placas solares, implementação de cobertura verde e reaproveitamento de água de chuva.

3. JUSTIFICATIVA

O tema proposto justifica-se visto a importância das soluções sustentáveis para a preservação do meio ambiente na atualidade, garantindo assim que as necessidades das gerações futuras não sejam prejudicadas pelo uso indiscriminado dos recursos naturais e pela poluição ambiental. Diante disso, se observa a indispensabilidade na adoção dessas soluções também em edificações já construídas, a exemplo do Terminal Rodoviário de Belo Horizonte. As mesmas trarão benefícios tanto à edificação quanto ao seu entorno, permitindo um melhor aproveitamento de recursos naturais tão escassos.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Iluminação das edificações

4.1.1. *A iluminação natural e sua importância na arquitetura*

A iluminação natural tem grande importância nas áreas construídas e deve ser tratada como parte integrante na concepção do projeto arquitetônico das edificações. Este por sua vez objetiva garantir um ambiente saudável e confortável, com qualidade de vida para usuário.

O uso do sistema de iluminação natural integrado com o sistema de iluminação artificial origina ambientes mais dinâmicos (FRANÇA, 2012).

Segundo Lamberts (2014), a importância de se projetar edificações capazes de melhor aproveitar a luz natural se sobrepõe à redução no consumo de energia. A iluminação natural é fator primordial para uma edificação sustentável. A orientação da edificação gera impacto na iluminação e eficiência energética do edifício. A posição da edificação em relação ao norte relaciona-se diretamente à zona bioclimática a qual o mesmo encontra-se inserido, influenciando na posição das aberturas e necessidade de dispositivos de sombreamento.

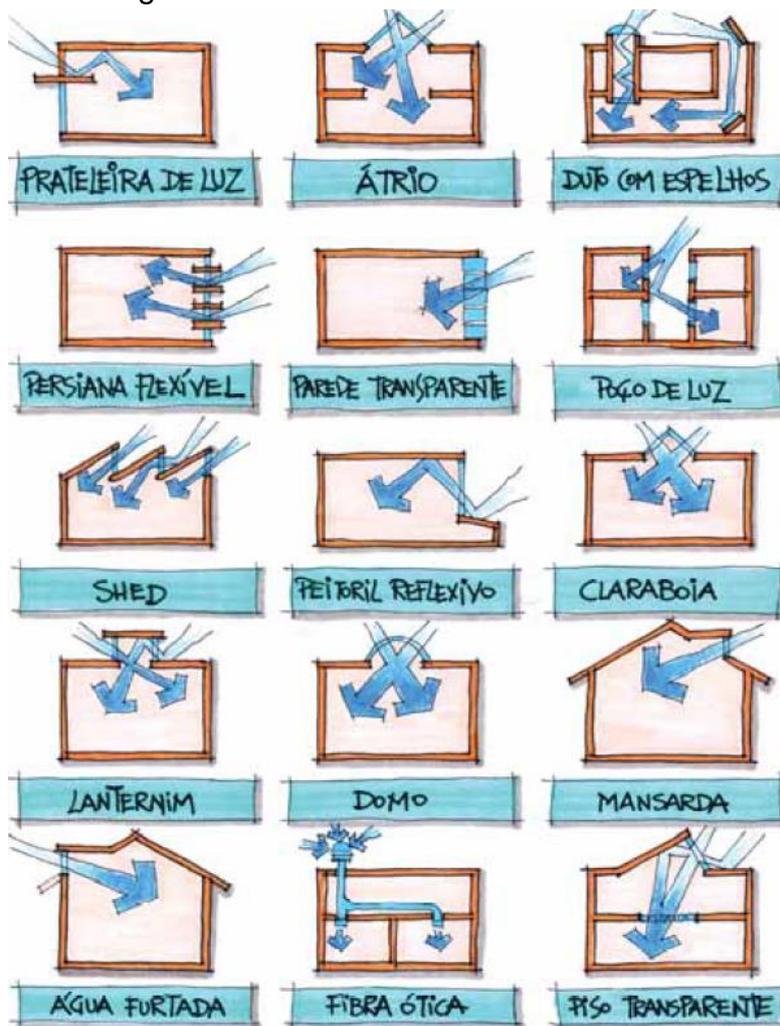
A dimensão e disposição dos ambientes na edificação também é fator importante para acesso da iluminação natural. Para o aproveitamento máximo da iluminação, deve-se considerar, desde o início do projeto, o clima da região, quantidade de luz, orientação do edifício entre outros dados.

A luz natural está relacionada a uma boa qualidade de vida e é importante observar os seguintes fatores:

- Compatibilização entre forma e orientação;
- Análise da localização, forma e dimensão das aberturas;
- Geometria e cores das áreas internas, distribuição homogênea da luz no interior;
- Projeto adequado dos elementos de entrada de luz;
- Análise da quantidade de iluminação;
- Análise das propriedades dos materiais especificados.

Existem várias formas de se projetar a entrada de luz natural em um ambiente, conforme Figura 1.

Figura 1 – Formas de acesso luz natural



Fonte: LAMBERTS (2014)

Segundo Garrocho (2004), existem diversos componentes e sistemas na arquitetura os quais podem ser utilizados para aproveitamento da luz natural. Alguns deles mais simples, como proteções solares fixas, prateleiras de luz e outros mais complexos, como *shedes* e claraboias. Em tais sistemas encontra-se implícita a função de controle das quantidades e qualidade da luz natural empregada e o papel que vão exercer na arquitetura projetada.

Baker *et al* (1993) apud Amorim (2002d), apresentam uma classificação dos componentes que podem ser utilizados para a luz natural, inseridos no projeto de arquitetura (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação dos componentes para a luz natural

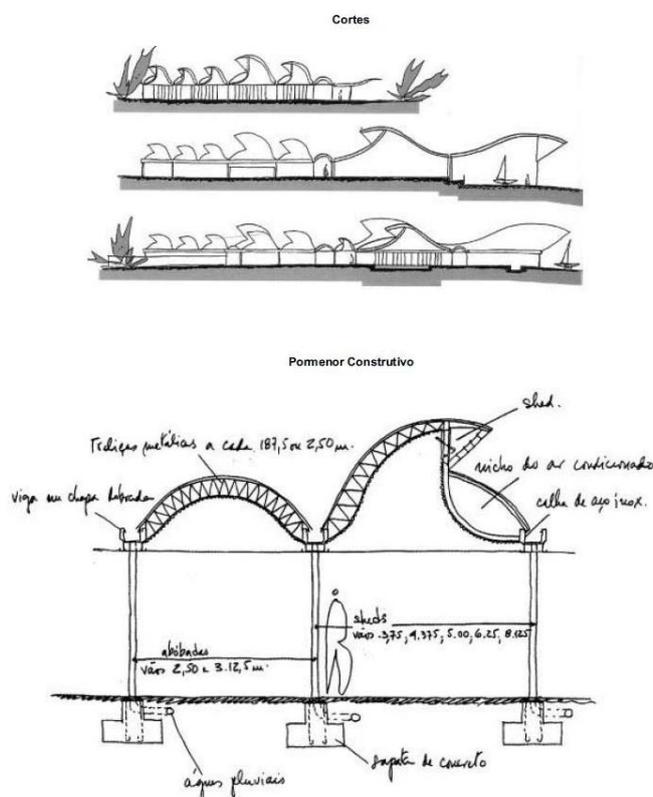
Componentes de Condução		Componentes de Passagem	
Grupo I – Espaços de luz intermediários	Estufas Galerias	Grupo I – Componentes de Passagem Lateral	Sacada / parede translúcida / pele de vidro (curtain wall)
Grupo II – Espaços de luz internos	Átrio Duto de luz Duto de sol	Grupo II – Componentes de Passagem Zenital	Clerestório / monitor/ shed p/ sul teto translúcido / lucernário/ domo / lanternim.
		Grupo III – Componentes de Passagem Global	Membrana

Fonte: Adaptado de BAKER *et al* (1993) apud AMORIM, 2002d

A existência da iluminação na edificação está intimamente ligada ao conceito de conforto ambiental. Segundo Ribeiro (2007), o conhecimento das exigências humanas de conforto térmico e do clima, associado ao das características térmicas dos materiais e das premissas genéricas, proporciona condições para se projetar edifícios cuja resposta térmica atenda às exigências de conforto.

Observa-se a implementação de partido arquitetônico que privilegia a iluminação natural em alguns importantes edifícios brasileiros, com os hospitais da Rede Sarah (Figura 2).

Figura 2 – Shad Hospital Sarah



Fonte: PERÉN (2006).

Segundo Perén (2006), entende-se por sistema de iluminação natural qualquer dispositivo, abertura ou recurso arquitetônico que permita a entrada de luz natural na edificação. Destacam-se algumas soluções como átrios, persianas flexíveis e claraboias (Figura 3). A maioria dos sistemas de iluminação natural, devido à intensidade de luz natural e sua incidência, não atendem os níveis considerados ideais de iluminação. Nestes casos sugere-se a implementação de iluminação artificial para complementação.

Os mecanismos de controle de radiação solar são primordiais no controle de ventilação no interior da edificação, principalmente em locais cujo clima é quente-úmido, os quais devem ser objeto de estudo apurado evitando consequências não agradáveis como o excesso de calor no ambiente.

Figura 3 – Claraboia



Fonte: **Vitruvius** (2020). Disponível em:
<https://www.vitruvius.com.br/media/images/magazines/grid_12/c80706aece0c_grenoblepark01.jpg> Acesso em: 01 junho de 2020.

4.1.2. Iluminação artificial e eficiência energética

Se os arquitetos e engenheiros tivessem mais conhecimentos sobre eficiência energética na arquitetura, ao nível de projeto ou da especificação de materiais e equipamentos, estes valores poderiam ser reduzidos. Além de evitar a necessidade de maior produção de eletricidade do país, isto retornaria em benefício dos usuários como economia nos custos da obra e no consumo de energia. (Lamberts, *et al*, 2014).

A questão de sustentabilidade em edificações está diretamente ligada à eficiência energética. O projeto luminotécnico tem ação direta sobre o impacto do uso da energia elétrica nas edificações (TOLEDO, 2008).

Lamberts *et al* (2014) afirma que a energia elétrica no Brasil é majoritariamente dispendida na iluminação e no sistema de climatização. Destaca que, em média, o consumo com iluminação é de 44%, ar condicionado 20% e outros equipamentos 36%. Diante disso, é importante o arquiteto ter conhecimento básico de todos os conceitos relativos ao desempenho térmico e lumínico da edificação.

Para melhorar a eficiência energética das edificações é importante a normatização do consumo de energia, embasando-se nas normas técnicas sobre o tema. Enfatiza-se a importância da consciência de cada profissional ao projetar a edificação.

A especificação da iluminação artificial é diretamente ligada ao consumo energético deste edifício. Segundo Castro *et al* (2006), a cognição e percepção visual são aspectos da atividade de trabalho que estão diretamente relacionados com a iluminação artificial. Esta influência, quando negativa, pode causar graves consequências à saúde do usuário, a depender do conteúdo do trabalho a ser realizado.

O projetista da edificação deve incorporar os princípios e fundamentos luminotécnicos em seu projeto, a fim de melhorar o conforto e ergonomia dos usuários inseridos no ambiente.

A luz é parte indissociável da arquitetura, podendo advir de fontes naturais ou artificiais. Segundo Cypriano (2013), a iluminação artificial pode reforçar, evidenciar ou revelar elementos da arquitetura modelados pela iluminação natural. A iluminação artificial representa opção essencial para melhor

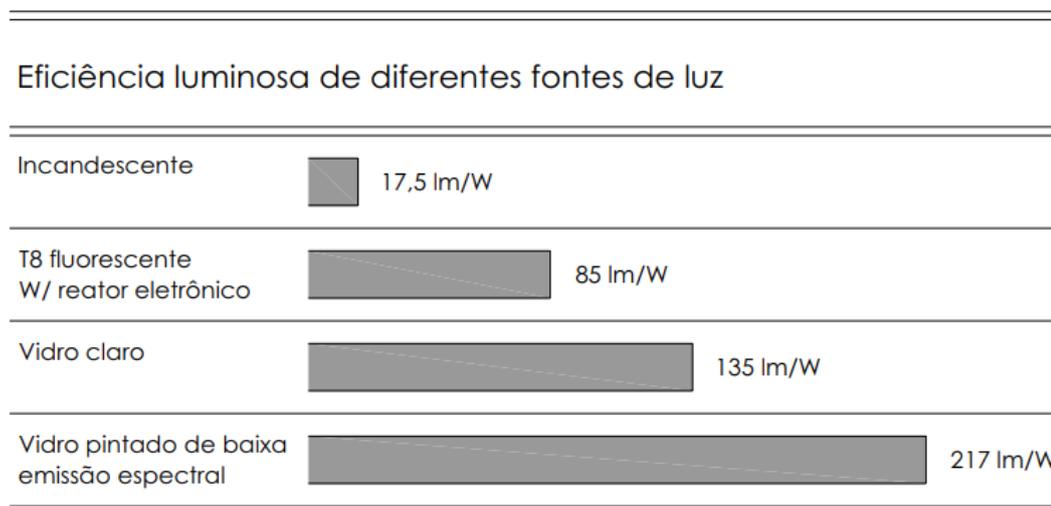
entendimento dos espaços, sendo este recurso de grande valia para relevar elementos arquitetônicos despercebidos ao olhar cotidiano.

A quantidade de luz associa-se à realização de tarefas, entretanto quantidade e qualidade da luz devem ser associadas no momento de elaboração do projeto.

Durante muito tempo, a iluminação artificial foi vista como elemento que possibilitava a luminosidade de espaços interiores, diante da ausência ou insuficiência de luzes naturais exteriores. Essa definição tende a mudar na atualidade, passando essa luz ser utilizada como elemento definidor do ambiente arquitetônico.

O aumento da carga térmica no interior dos ambientes deve ser considerado em projetos luminotécnicos, visto que esta se encontra intimamente ligada às fontes luminosas especificadas. Observa-se, segundo Toledo (2008), que o ganho de calor no interior do ambiente oriundo do sistema de iluminação artificial é considerável, correspondendo a quase o dobro do calor gerado por sistema natural, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Eficiência luminosa de diferentes fontes de luz



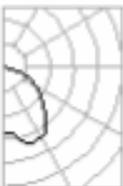
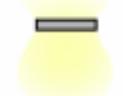
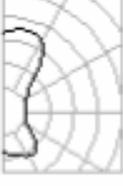
Fonte: Toledo (2008)

O sistema de iluminação artificial integrado ao projeto arquitetônico deverá suplementar as oscilações no nível de iluminação natural, permitindo que o nível de iluminância mantenha-se constante prescrito para cada ambiente. Existem classificações para os tipos de iluminação as quais se relacionam à forma que o fluxo luminoso é irradiado, sendo as principais:

- Direta: quando o sistema ótico direciona 90% a 100% do fluxo luminoso para baixo;
- Semi-direta: fluxo luminoso é emitido predominantemente para baixo, 60% a 90%;
- Uniforme ou difusa: quando as proporções ascendente e descendente se equivalem, representando cada uma delas entre 40% e 60%;
- Semi-indireta: caracteriza-se pela distribuição inversa ao sistema semi-direto, onde o fluxo luminoso é direcionado para cima, 60% a 90%;
- Indireta: aqueles cujo fluxo luminoso é predominantemente ascendente (90% a 100%) iluminando o teto.

A Figura 5 exemplifica a classificação das luminárias e as curvas de distribuição da intensidade luminosa.

Figura 5 – Classificação das luminárias e curvas de distribuição da intensidade luminosa

CLASSIFICAÇÃO DIN 5040 e CIE	MUITO DIRIGIDA	INTENSIVA	EXTENSIVA	DIFUSA
DIRETA 0 - 10%  90 - 100%				
SEMI-DIRETA 10 - 40%  60 - 90%				
UNIFORME 40 - 60%  40 - 60%				
SEMI-INDIRETA 0 - 10%  90 - 100%				
INDIRETA 90 - 100%  0 - 10%				

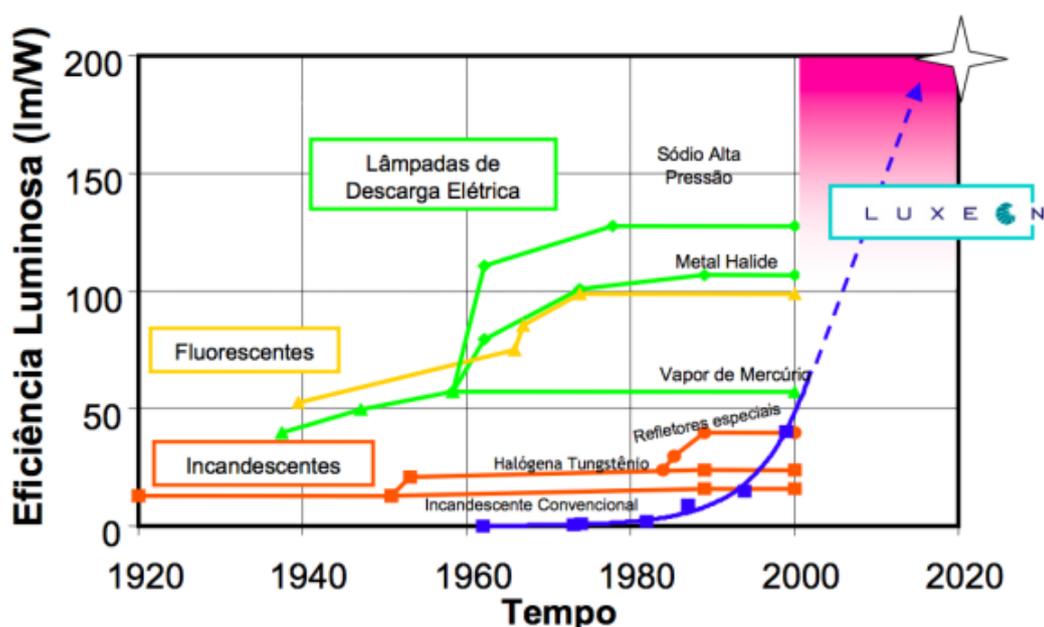
Fonte: Toledo (2008)

Segundo Toledo (2008), a economia de energia elétrica nos projetos luminotécnicos depende diretamente do aproveitamento de luz natural do ambiente e escolha do sistema de iluminação artificial.

Na atualidade, o sistema LED vem substituindo as lâmpadas convencionais, sendo importante a conscientização da população quanto a utilização dessa tecnologia, visto suas vantagens frente à durabilidade e baixo impacto ambiental.

Segundo Bley (2012), LED é a sigla de *Light Emitting Diode* que em português significa diodo emissor de luz. São componentes eletrônicos que emitem luz através de eletroluminescência, transformando energia elétrica em radiação visível. A tecnologia LED, criada em 1962, era utilizada principalmente para fins de sinalização, devido ao seu baixo fluxo luminoso. Em meados de 1990, pesquisas possibilitaram o uso do LED como fonte de iluminação. Desde então se observa crescente utilização e melhoria na tecnologia, como dissipação de calor, eficiência energética, índice de reprodução de cor e fluxo luminoso (Figura 6).

Figura 6 – Evolução da eficiência energética das fontes de luz artificial



Fonte: Bley (2012)

As características dos LEDs comparativamente às tecnologias convencionais das lâmpadas incandescentes, halógenas e fluorescentes pode ser observada através do comparativo abaixo. As principais características analisadas a seguir foram: índice de reprodução de cor (IRC) (Figura 7), eficiência energética (lm/W) (Figura 8) e durabilidade (Tabela 2).

Figura 7 – IRC, eficiência luminosa e durabilidade

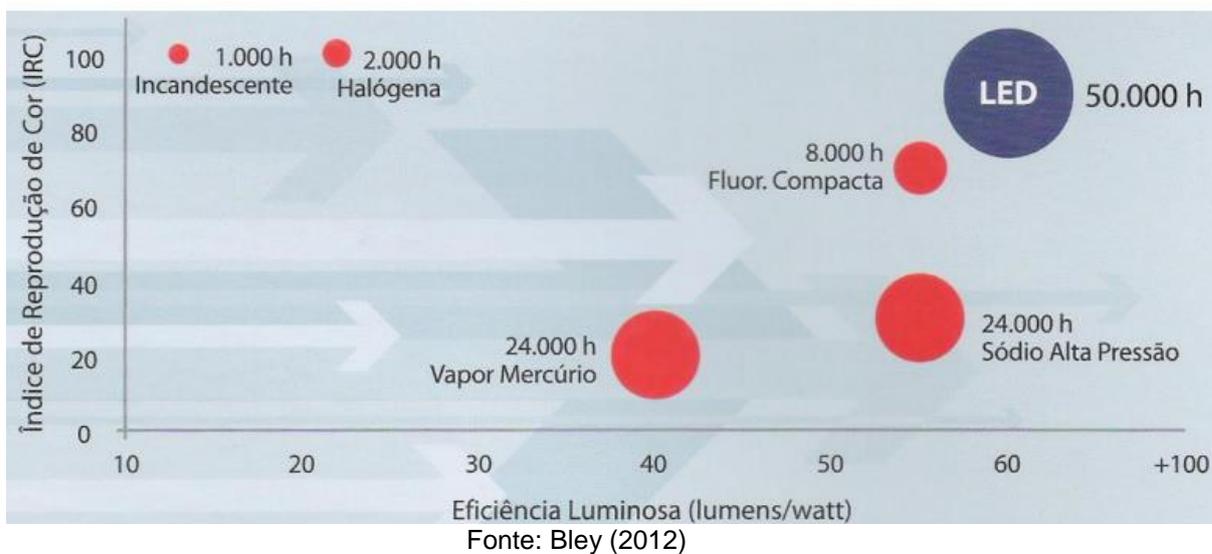


Figura 8 – Eficiência energética

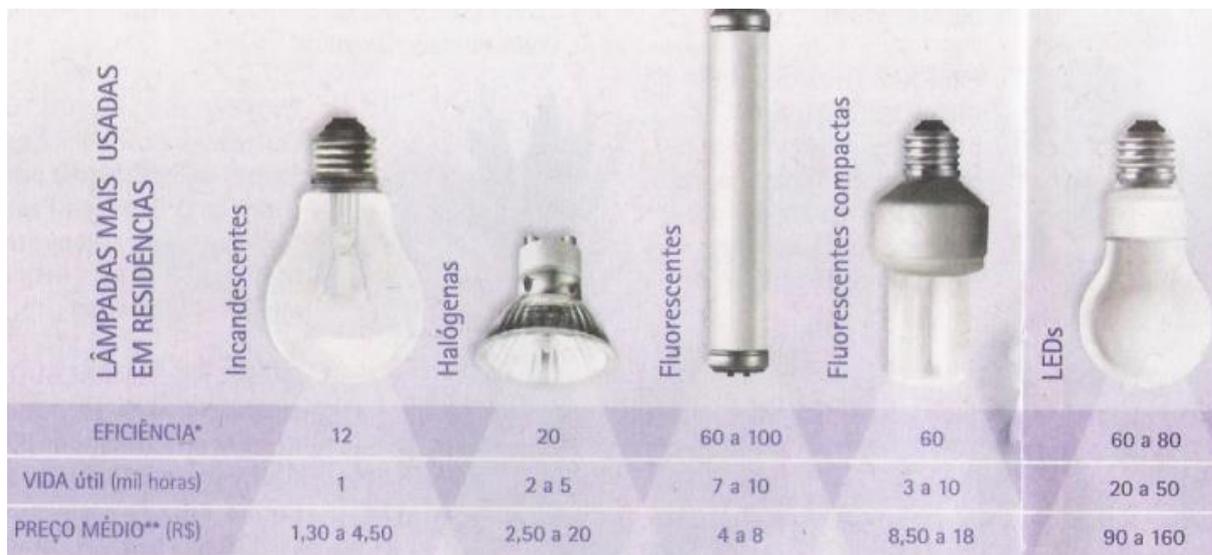


Tabela 2 – Durabilidade

Lâmpadas	Durabilidade
Incandescentes comuns	750 a 1.000 horas
Halógenas	2.000 a 5.000 horas
Descargas fluorescentes	7.500 a 18.000 horas
Fluorescentes de indução magnética	60.000 horas
Descarga de alta pressão	10.000 a 32.000 horas
LEDs	Até mais de 50.000 horas

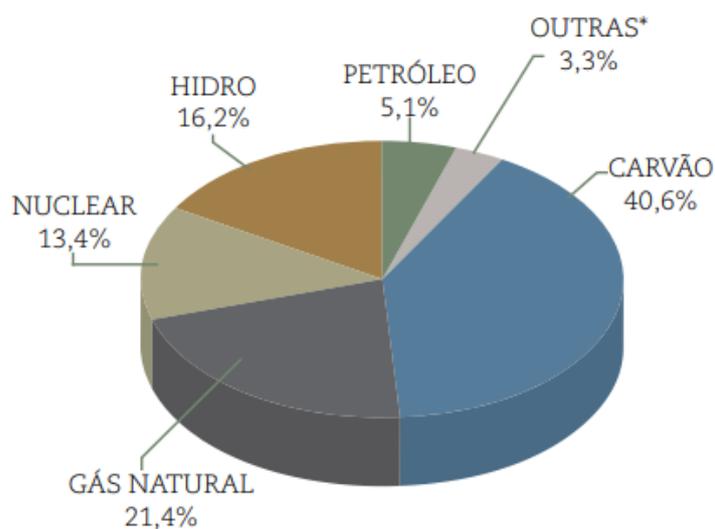
Fonte: Adaptado de Bley (2012)

4.2. Placas Solares - Produção de energia elétrica

Segundo Marinovski, Salamoni, Rütther (2004), atualmente observa-se utilização de fontes de energia não renováveis em grande escala, embora o esgotamento de tais fontes seja uma perspectiva óbvia e prognóstica em algumas décadas. Sendo assim, a busca por fontes alternativas para geração de energia tem ganhado espaço.

Na atualidade, a humanidade vive extrema dependência em relação aos combustíveis fósseis para a geração de energia. Conforme dados da Agência Internacional de Energia (International Energy Agency – IEA) (2011), para uma produção total de energia elétrica no mundo, da ordem de 20.055 TWh (ou 20,055 trilhões de kWh), 80,5% deste total teve como origem os combustíveis fósseis (incluindo a energia nuclear obtida a partir do urânio). Já as energias renováveis, como a hidrogeração, respondem a 19,5% da energia gerada no mundo, sendo que as fontes geotérmicas, solar, eólicas não passam de 3,3% do total, conforme indicado na Figura 9.

Figura 9 – Fontes de geração de eletricidade no Mundo - 2009

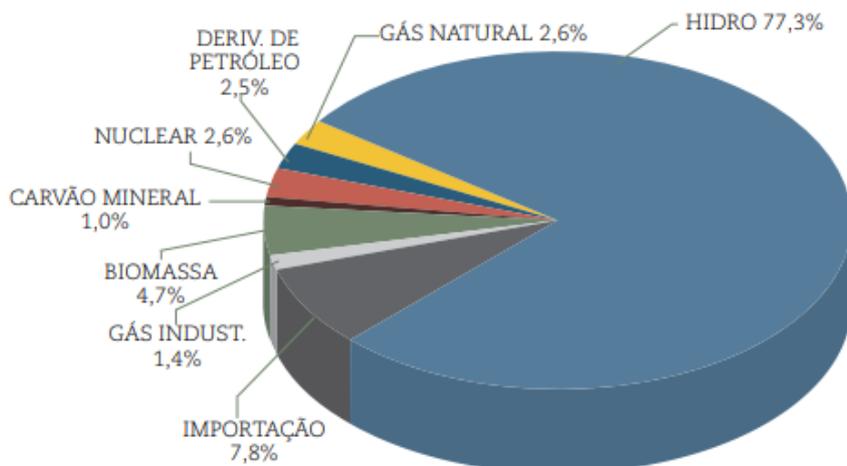


* Outras fontes inclui geotérmica, solar, eólica, biocombustíveis e resíduos.

Fonte: Moreira e Millikan (2012)

O quadro de oferta para energia elétrica no Brasil, observado na Figura 10, demonstra o engajamento do país com as fontes renováveis de energia, sendo 75% desta proveniente das hidroelétricas. Ainda é primária, porém, a utilização de fontes eólicas e solares, não atingem 1% de aproveitamento, segundo Moreira e Millikan (2012).

Figura 10 – Fontes de geração de eletricidade no Brasil - 2009



Fonte: Moreira e Millikan (2012)

Segundo Shayani, Oliveira, Camargo (2006) as fontes de energia podem ser classificadas em: (1) fósseis - petróleo, carvão e gás natural; (2) nucleares e (3) solares – raios solares e a energia advinda dos mesmos.

Uma das tecnologias recentemente utilizadas nos países desenvolvidos é a energia solar fotovoltaica. Esta tecnologia é vista na atualidade como opção ideal para a geração de energia através de uma fonte inesgotável e não poluente. Deve-se atentar apenas ao ciclo de vida do equipamento, considerando a sua posterior destinação. É um método de produção de energia sustentável que traz benefícios tanto ambientais quanto energéticos.

Observa-se que:

Os setores eólico e solar têm experimentado acentuadas quedas de preço de equipamentos, o que, aliado à redução de taxas de retorno, resultou na instalação de 43 mil MW em eólicas e 39.700 MW em sistemas solares no mundo em 2011. (MOREIRA E MILLIKAN, 2012).

Para a produção de energia elétrica são usados dois sistemas, o heliotérmico, em que a irradiação é convertida primeiramente em energia térmica e posteriormente em elétrica; e o fotovoltaico, cuja irradiação solar é convertida diretamente em energia elétrica (CEPEL, 2014).

As células fotovoltaicas ou células de energia solar são feitas a partir de materiais semicondutores, como o silício. Quando a célula é exposta à luz, parte dos

elétrons do material iluminado absorve fótons, ou seja, partículas de energia presentes na luz solar.

Os elétrons livres são transportados pelo semicondutor até serem puxados por um campo elétrico. Esse campo elétrico é formado na área de junção dos materiais, por uma diferença de potencial elétrico existente entre esses materiais semicondutores. Os elétrons livres são levados para fora das células de energia solar e ficam disponíveis para serem usados na forma de energia elétrica.

Ao contrário do sistema heliotérmico, o sistema fotovoltaico não requer alta irradiação solar para funcionar. Contudo, a quantidade de energia gerada depende da densidade das nuvens, de forma que um número baixo de nuvens pode resultar em uma menor produção de eletricidade em comparação a dias de céu completamente aberto.

A eficiência da conversão é medida pela proporção de radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Normalmente, as células mais eficientes proporcionam 25% de eficiência.

Almeida *et al* (2017) afirmam que as usinas solares fotovoltaicas comumente são planejadas para produzir e vender energia elétrica. A produção de energia provém dos painéis fotovoltaicos que convertem a energia solar em energia elétrica na forma contínua, que precisa ser convertida para a forma alternada através do uso de inversores (Figura 11).

Figura 11 – Usina Fotovoltaica



Fonte: Portal Solar (2016)

Segundo os dados do Atlas Solarimétrico do Brasil (2004), o país tem média anual de radiação entre 1.642 e 2.300 KWh/m²/ano. O aproveitamento da energia solar captada em menos de 3% da área urbanizada do Brasil geraria energia para atender a demanda de 10% do gasto de energia atual do país.

Moreira e Millikan (2012) afirmam que o mercado de painéis fotovoltaicos apresentou crescimento anual entre 30 e 40%. O valor agregado das células fotovoltaicas registra queda, cerca de 10% ao ano. Se observados os dados da Europa, o custo da geração solar se equipará ao gás até 2015.

Observa-se que o aproveitamento na energia solar se dá por diferentes tecnologias, sendo as tradicionais de silício, mono e poli cristalinos, e outras, como filmes finos, a base de silício amorfo microcristalino, telureto de cádmio e Cobre-Índio-Gálio-Selênio (CIGS). Este aproveitamento dos painéis pode ser majorado com sistemas móveis, os quais permitem o acompanhamento da posição do sol.

Ainda segundo Moreira e Millikan (2012), a geração solar destaca-se pela pequena emissão de gases geradores do efeito estufa, inferior a 30 g de CO₂ equivalente/kWh produzido.

É importante salientar que a área ocupada por plantas solares é menor do que a demandada por sistemas termossolares, sendo 1,2 km² para cada 100 MW instalados, enquanto uma planta de CSP de 100 MW utiliza entre 3,8 e 4,7 km² (Figura 12).

Figura 12 – Exemplo de Planta Solar



Fonte: Moreira e Millikan (2012)

Observa-se que o maior impedimento quanto ao aproveitamento e expansão do sistema da energia solar no país segue sendo a falta de incentivos e políticas públicas, as quais possibilitem a consolidação do mercado.

Observa-se aprovação de resolução da Aneel que regulamenta a microgeração de energias renováveis. Esse é o avanço mais significativo para fontes dessa escala nos últimos anos e deverá abrir o mercado de energia solar fotovoltaica no Brasil (Resolução 482 de 17 de abril de 2012). Tal normativo permite que o consumidor possa aderir ao sistema de compensação de energia elétrica.

Os investimentos em energia renovável no Brasil têm se tornado cada dia mais significativos, sendo da ordem de US\$947 milhões de dólares em pequenas usinas hidrelétricas, US\$939 milhões de dólares em biocombustíveis e US\$450 milhões de dólares em biomassa e resíduos para produção de energia. O investimento em energia solar foi menor em relação aos demais, na casa dos US\$30 milhões de dólares. (MOREIRA E MILLIKAN, 2012).

O investimento em energia renovável tem-se tornado cada dia mais vantajoso devido à queda dos custos de tecnologia e produção. No mundo todo, apesar da queda do custo dos equipamentos para produção de energia eólica e solar, a solar teve queda significativa.

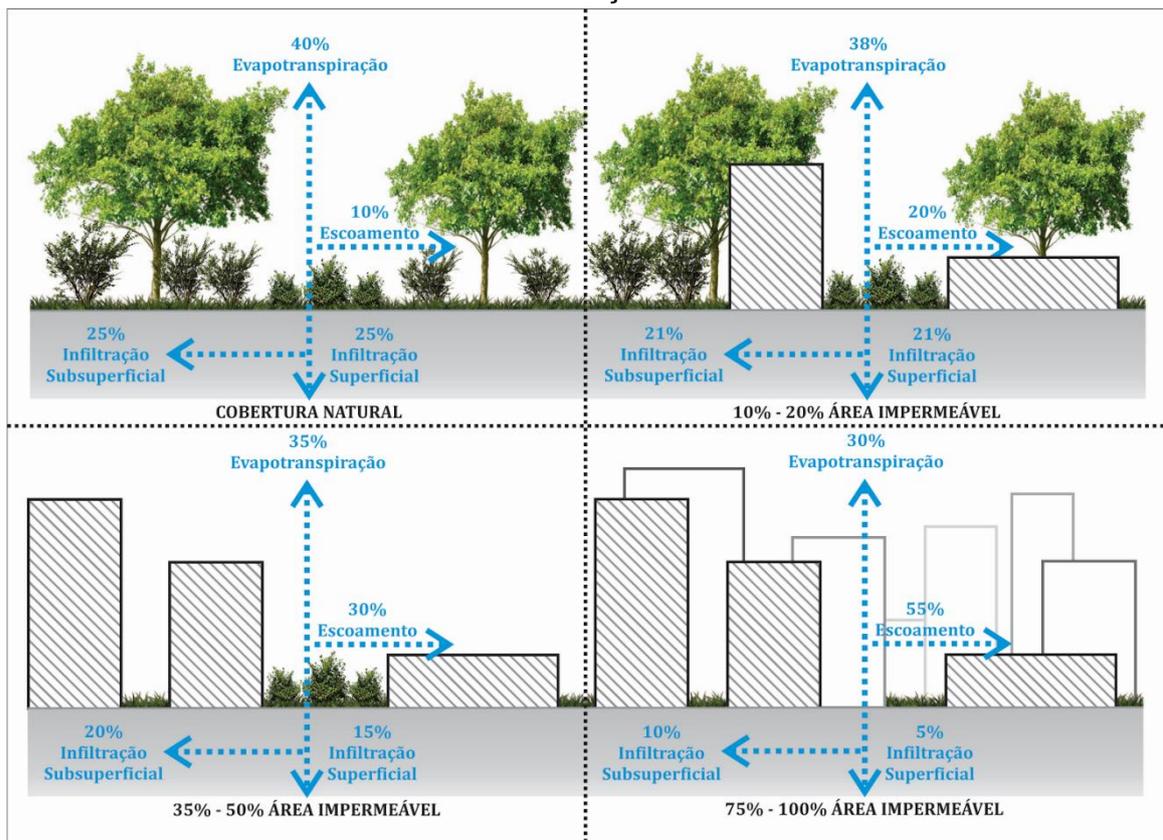
Segundo Moreira e Millikan (2012), os preços das turbinas eólicas em terra firme diminuíram entre 5% e 10% em 2011, enquanto os preços dos módulos fotovoltaicos caíram cerca de 50%. Até o final de 2011, os módulos fotovoltaicos estavam sendo vendidos nos mercados mundiais entre US\$1 e US\$1,20 por *watt*, cerca de 76% abaixo de seus preços comparados há três anos e meio, no verão de 2008.

4.3. Cobertura verde

Na contemporaneidade, metade da população mundial reside em centros urbanos e, de acordo com as informações do IBGE (2010), já se verifica no Brasil um contingente maior que 85% da população residindo nas áreas urbanas.

A urbanização, cada vez mais crescente gera excesso de impermeabilização do solo e conduz a uma série de impactos no ciclo hidrológico (Figura 13).

Figura 13 – Alterações do ciclo hidrológico de acordo com o nível de urbanização



Fonte: BY CITY 4US. **Afinal, o que é Infraestrutura Verde?** 2019. Disponível em: <<https://city4us.com.br/2019/04/23/afinal-o-que-e-infraestrutura-verde/>> Acesso em: 02 junho 2020

Verifica-se a crescente necessidade de se implantar novas tecnologias sustentáveis, e entre elas tem-se destacado os sistemas identificados como cobertura verde.

São inúmeros os benefícios trazidos pelo telhado verde para a edificação, estando relacionada à melhora da integração com o meio ambiente, contribuindo para a formação de um miniecosistema. A cobertura vegetal dissipa ou consome a energia pela evapotranspiração e pela fotossíntese, reduzindo significativamente a amplitude térmica do interior do prédio.

É uma ótima solução para a redução das ilhas de calor nos centros urbanos, diminuindo o consumo do ar condicionado e auxiliando no conforto térmico do micro e macro ambiente externo.

Alguns dos principais benefícios da cobertura verde são:

- Armazenagem de água de chuva;
- Possibilidade de reciclagem de água cinza através de sistema semi-hidropônico;
- Formação de cisterna de captação de água de chuva;
- Utilização da água retida sob a vegetação para fins não potáveis;
- Uso de hidroponia para irrigação subsuperficial da planta;
- Criação de processos biofílicos de tratamento de águas pluviais e resíduos orgânicos;
- Redução na poluição do ar do entorno pelo sequestro do carbono.
- Garante proteção térmica e acústica.

A implementação da solução possibilita também a captação de água de chuva em sistemas de aproveitamento com fins não potáveis.

Nas regiões densamente habitadas observa-se que a inexistência de áreas verdes e drenagem insuficiente das precipitações influenciam diretamente nas condições microclimáticas locais. Tais fatores originam os transbordamentos e áreas de alagamento, levando a uma reduzida renovação das águas subterrâneas (KOLB, 2003).

As técnicas atuais de execução dos telhados convencionais não utilizam a água das precipitações, sendo esta uma excelente fonte de água para consumo não potável.

Algumas características ambientais importantes podem ser observadas através do estudo de Liptan e Strecker (2003). Na Tabela 3 estão relacionadas as vantagens ambientais dos telhados verdes em comparação com os telhados convencionais, como retenção de volume de água de chuva, mitigação da vazão de pico, melhoria da qualidade da água dentre outros.

Tabela 3 – Comparação entre características ambientais do telhado verde e convencional baseadas na experiência de Portland-EUA.

Assunto	Telhado Verde	Telhado Convencional
Retenção de volume	10-35% durante época chuvosa, 65-100% durante a época seca	Nenhuma
Mitigação da vazão de pico	Redução de picos de escoamento de chuvas intensas	Nenhuma
Mitigação de temperatura	Todas as chuvas	Nenhuma
Qualidade do ar	Filtra o ar, previne o aumento da temperatura, armazena carbono	Nenhuma
Conservação de energia	Isolamento das construções, redução dos impactos das Ilhas de Calor	Nenhuma
Vegetação	Permite evapotranspiração sazonal, promove fotossíntese, balanço carbono hídrico	Nenhuma
Espaço verde	Realoca espaços verdes perdidos com as edificações	Nenhuma
Bônus no Zoneamento	3 ft ² (0,3m ²) de coeficiente de área de pavimento adicional para cada ft ² (0,09m ²) de telhado ecológico quando a construção cobrir mais de 60%	Nenhuma
Redução das taxas de drenagem urbanas	Pode chegar a 45%	Nenhuma
Aprovado como medida de gestão da água de chuva	Para todas as necessidades atuais das cidades	Não
Habitabilidade	Amortece ruídos, elimina luzes ofuscantes, oferece recreação passiva	Nenhuma
Custos	Altamente variável entre 54-130 US\$/m ² para novas construções e 75-215 US\$/m ² para reforma	Altamente variável entre 22-107 US\$/m ² para novas construções e 43-161 US\$/m ² para reformas
Custos compensáveis	Redução dos equipamentos de água de chuva, economia de energia, aumento do valor do aluguel e da propriedade, redução da necessidade do uso de materiais isolantes	Nenhum
Durabilidade	Membrana impermeável protegida da ação da temperatura e da exposição solar dura mais de 36 anos	Pouca proteção, exposição aos elementos, dura menos de 20 anos

Fonte: Adaptado de Liptan e Strecker (2003)

Os pesos dos telhados verdes variam de 60 – 250 kg/m² (já saturado de água), dependendo do sistema. Testes realizados comparando telhados verdes com telhados comuns mostraram uma diminuição de até 15°C dentro da edificação no verão. No inverno, o sistema conserva o calor dentro da edificação, aumentando a eficiência de aquecedores ou lareiras.

É sabido, segundo Teramatsu (2019), que o telhado verde gera um sobrepeso à estrutura. As massas específicas dos materiais especificados e suas espessuras são embasamento para quantificar a carga. Tais parâmetros comparados com os dados da norma brasileira NBR 6118 / 2014, a qual trata das estruturas de concreto e seus limites, permite verificar se a edificação comporta tal solução ou se há necessidade de reforço estrutural.

Já os cálculos para verificação dos níveis de desempenho da edificação podem ser observados nas normas brasileiras NBR 10.152/2007 e NBR 15.575/2013, as quais tratam respectivamente, dos níveis de desempenho acústico e conforto, e desempenho de edificações habitacionais.

Teramatsu (2009) relata que os benefícios oriundos do uso do telhado verde são inúmeros, mesmo que observados em longo prazo. O telhado verde dispõe de vantagens sobre o telhado convencional, tais como: retenção de volume de água, qualidade do ar, conservação de energia, redução das taxas de drenagem urbanas, vida útil, manutenções e outras.

4.3.1. Etapas de execução

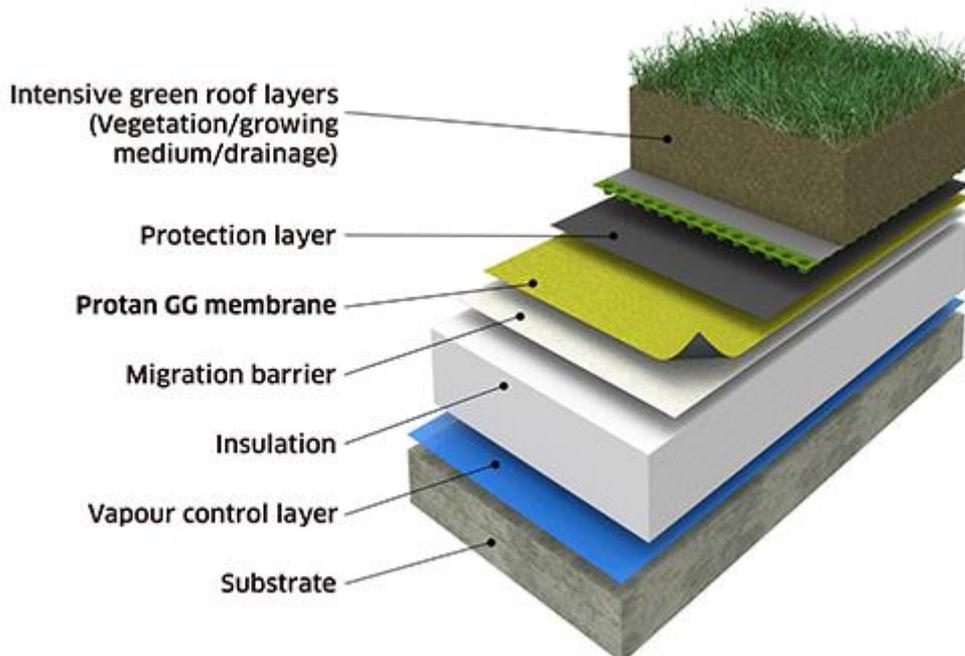
Para execução da cobertura verde devem ser observadas importantes etapas, como preparação da laje ou estrutura e impermeabilização correta. Em casos de adaptações em prédios já executados, sem o correto planejamento das cargas para receber o telhado, deverá ser feito um estudo para analisar se é possível a adaptação do mesmo ou executar um reforço estrutural.

Vale ressaltar que a seleção de espécies a serem plantadas deve ser feita de forma cautelosa, tendo em vista que o crescimento das raízes é parte importante a ser considerada nesse tipo de projeto onde devem ser evitados espécimes de grande porte. As camadas integrantes do sistema de cobertura verde indicadas na Figura 14 e Figura 15, podem ser descritas como:

- Laje: elemento estrutural onde devem ser consideradas as cargas permanentes e as cargas acidentais, sendo o principal elemento de sustentação da cobertura verde.
- Camada impermeabilizante: protege o elemento estrutural de infiltrações.
- Isolante térmico: utilizado de acordo com a incidência de energia solar que a cobertura absorve.

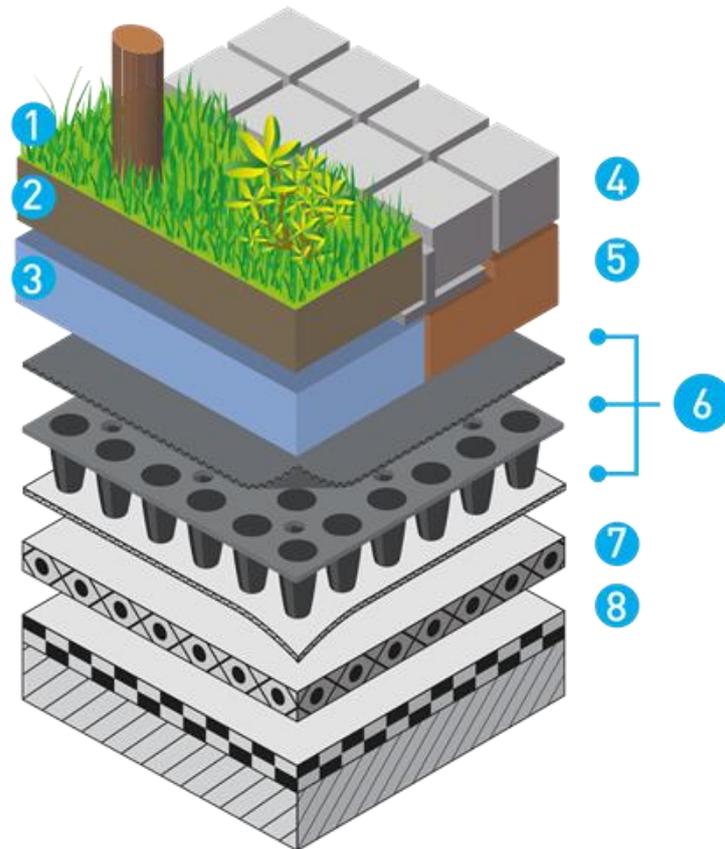
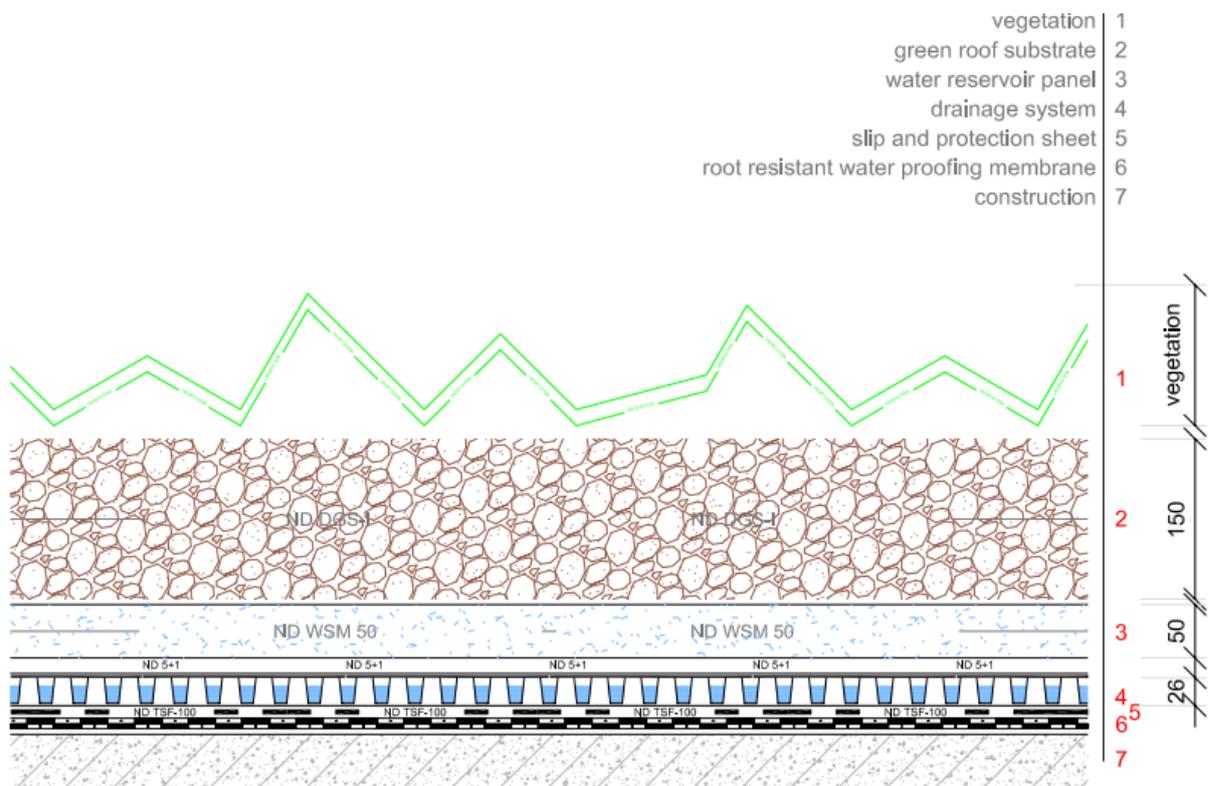
- Camada drenante: tem como função dar vazão ao excesso de água no solo, pode ser constituído de argila expandida, brita ou seixos de diâmetros semelhantes. Sua espessura pode variar de 7 a 10 cm.
- Camada filtrante: evita que a água das chuvas e das regas arraste as partículas de solo do telhado verde. Utiliza-se normalmente uma manta geotêxtil.
- Solo: substrato orgânico que deve possuir boa drenagem, de preferência um solo não argiloso que apresente uma boa composição mineral de nutrientes para o sucesso das plantas. A espessura varia de acordo com o tamanho das plantas.
- Vegetação: para a sua escolha é necessário o conhecimento do clima local, o tipo de substrato a ser utilizado, tipo de manutenção que será adotada no telhado verde.

Figura 14 – Camadas cobertura verde



Fonte: **Protan Intensive Green Roofs**. Disponível em: < <https://www.protan.com/roofing-and-membranes/applicationsarea/membranes-and-protected-roofing-systems/protan-intensive-green-roofing-systems/> > Acesso em: 02 junho 2020

Figura 15 – Corte cobertura verde



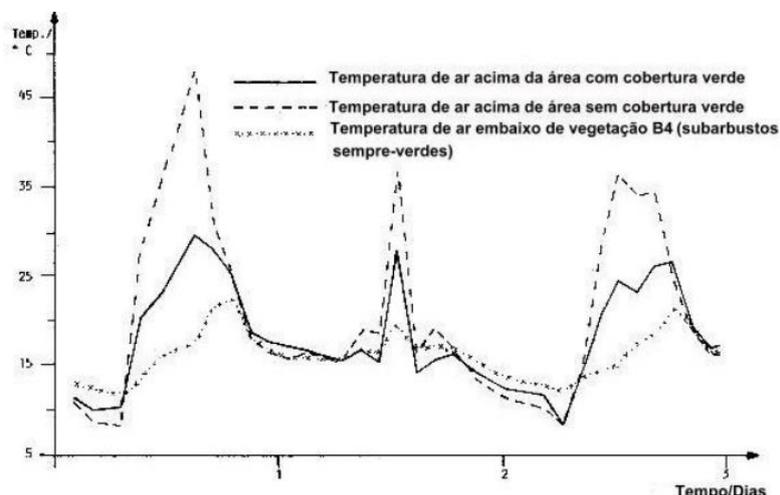
Fonte: **Nophadrain** . <<https://www.nophadrain.com/media/170756/detail-42a-intensive-green-roof.pdf>> Acesso em: 02 junho 2020

4.3.2. Climatização

Em estudo realizado por Kolb (2003), destaca-se a capacidade do telhado verde em manter refrigerado o interior das edificações. Foram realizadas medições em telhados com temperaturas de até 30°C, com cobertura verde intensiva. Observou-se que a vegetação sobre a laje, em função da densidade e altura das plantas, pode influir diretamente nos diversos graus das temperaturas de pico. Os telhados formados por gramíneas e ervas, reduziram consideravelmente a amplitude das temperaturas, em comparação com telhados sem cobertura verde (Figura 16). Os subarbustos também têm grande capacidade de amortecer as amplitudes de temperatura, conforme

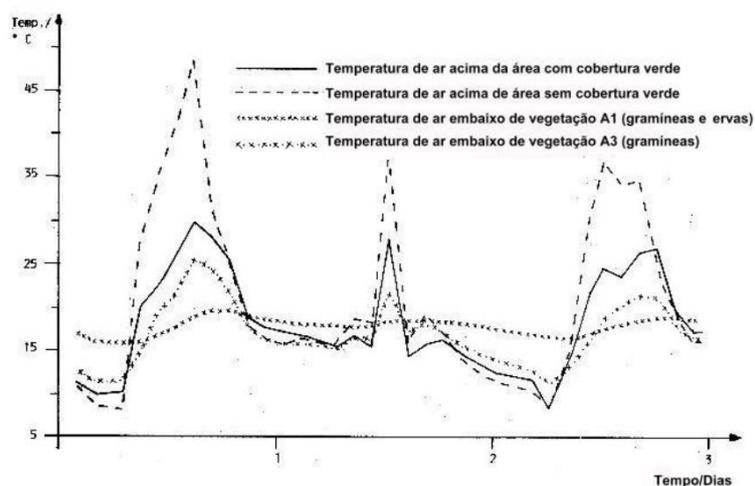
Figura 17.

Figura 16 - Estruturas de gramíneas versus telhados sem cobertura verde



Fonte: Kolb (2003)

Figura 17 - Estruturas com subarbustos versus telhados sem cobertura verde



Fonte: Kolb (2003)

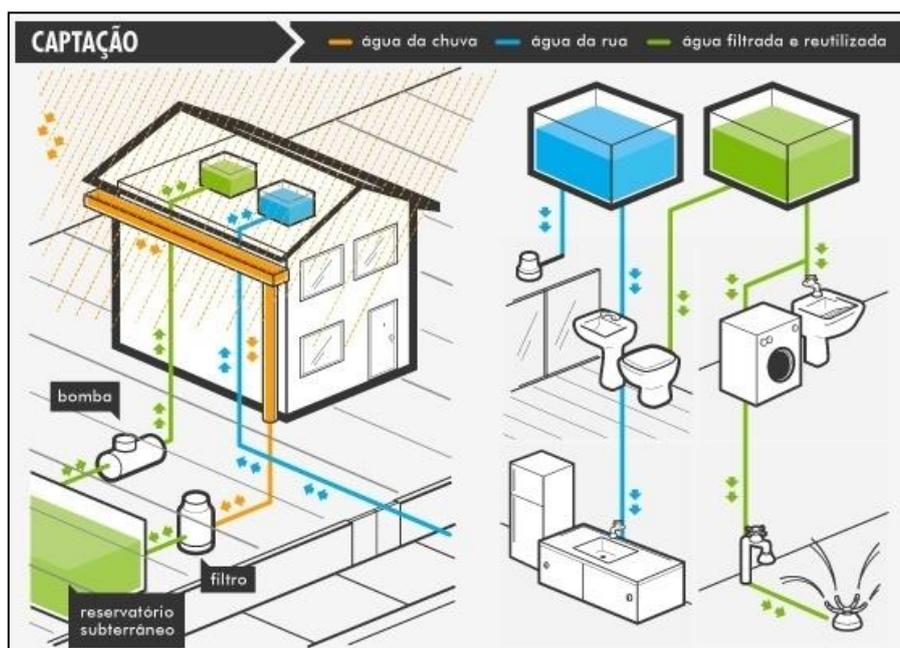
4.4. Sistema de aproveitamento de águas pluviais

O aproveitamento de águas pluviais é tema recorrente na contemporaneidade, devido a sua importância para o meio ambiente. Sendo a água um recurso natural imprescindível à vida, a conservação dos recursos hídricos vem sendo destacada com veemência.

Segundo May (2004), a implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis é justificada pela diminuição da demanda de água fornecida pelas companhias de saneamento, tendo como vantagem a redução das enchentes e gastos com água potável.

Pode-se observar por meio da Figura 18, o esquema típico de aproveitamento de águas pluviais em uma residência. A água é recolhida pelas calhas e é conduzida para tratamento por filtração, podendo ser utilizada, principalmente, nas bacias sanitárias e na irrigação dos jardins. A água da pia e dos chuveiros é advinda da concessionária, sendo armazenada em um diferente reservatório.

Figura 18 - Esquema de aproveitamento de água típico



Fonte: Terra Ambiental (2015).

4.4.1. Legislação para o reaproveitamento de água pluvial - NBR 15527:2019

A NBR 15.527:2019 fornece os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Algumas

alternativas de reuso da água de chuva, propostas pela norma, são: (1) sistemas de resfriamento a água; (2) descarga de vasos sanitários; (3) lavagem de veículos; (4) lavagem de pisos; (5) reserva técnica de incêndio; (6) uso ornamental; e (7) irrigação para fins paisagísticos.

A água de chuva é coletada em telhados e ou locais onde não haja trânsito de pessoas. Tais áreas são denominadas áreas de captação, segundo a NBR 15.527:2019.

As condições gerais e concepção do sistema de aproveitamento de água de chuva são abordadas na NBR 15.527:2019, que estabelece os critérios e os parâmetros de projeto para calhas e condutores, reservatórios, instalações prediais, qualidade da água (Tabela 4), bombeamento e frequência de manutenção do sistema (Tabela 5).

Tabela 4 - Parâmetros de qualidade da água para fins não potáveis

PARÂMETROS	ANÁLISE	VALOR
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L (a)
Turbidez	Mensal	<2,0 uT, para usos menos restritivos <5,0 Ut (b)
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 uH (c)
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 rio caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado

a) No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção.

b) uT é a unidade de turbidez.

c) uH é a unidade Hazen.

Fonte: adaptado NBR 15.527:2019

Tabela 5 - Frequência de manutenção e limpeza do sistema de coleta, armazenamento e tratamento de água pluvial

COMPONENTE	FREQUÊNCIA
Dispositivo de descarte de detritos	Limpeza trimestral
Dispositivo de descarte do escoamento inicial	Limpeza mensal
Calhas, condutores verticais e horizontais	Limpeza semestral
Dispositivos de desinfecção	Limpeza mensal
Bombas	Limpeza mensal
Reservatório	Limpeza e desinfecção anual

Fonte: adaptado NBR 15.527:2019

4.4.2. Política de reuso da água no Brasil

Através do estudo de Martins e Rufino (2016) observa-se que a capacidade natural de reposição dos mananciais de água tem se mostrado insuficiente para atender à crescente demanda por água da sociedade. Fato este é evidenciado pela escassez de água enfrentada no país.

Nos centros urbanos os custos e as cobranças relativas ao tratamento de água para abastecimento público tendem a crescer, devido à qualidade cada vez pior da água desses mananciais, consequência do grande volume de esgotos sanitários e efluentes industriais lançados sem qualquer tipo de tratamento. Diante disso exigem-se maiores investimentos no setor, no sentido de tornar o tratamento mais efetivo elevando assim o custo da água para a população.

O aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis é uma alternativa interessante e viável para redução da demanda por água potável e economia dos gastos da população com o custo da água.

Observa-se que o Brasil ainda é incipiente na disponibilidade de normas que regulamentem o aproveitamento das águas pluviais e na adoção de políticas públicas que deem ênfase ao assunto.

A norma NBR 15527 (2019) embasa a aplicação dos conceitos de conservação e substituição de fontes de água em edificações, mas não aplica tais conceitos nos sistemas públicos em geral. O aproveitamento das águas pluviais em um âmbito mais geral reduziria o desperdício.

4.4.3. Exemplos práticos de reuso de águas pluviais no Brasil

4.4.3.1. Eurobusiness Curitiba-PR

O edifício em Curitiba recebeu em 2019 a certificação LEED *Zero Water* e foi reconhecido pelo *US Green Building Council* (USGBC) como o 1º do mundo a se tornar autossuficiente na geração da água que consome. Para obter independência do abastecimento fornecido pela concessionária pública, o prédio utiliza várias fontes alternativas de água, que incluem aproveitamento de água da chuva, água proveniente da condensação do ar-condicionado, poço artesiano e tratamento de águas cinzas e negras (Figura 19).

Algumas outras tecnologias sustentáveis que o edifício possui são:

- Fachada de alto desempenho – assegura conforto térmico, visual e redução de consumo de energia pelo sistema de ar-condicionado;

- Sistema de iluminação foi projetado para consumir 30% a menos;
- Captação de água da chuva e tratamento e reuso de águas cinzas para descarga de vasos e mictórios, limpeza externa, e irrigação;
- Utilização de plantas nativas para o paisagismo.

Figura 19 – 3D edifício Eurobusiness



Edifício Eurobusiness. **Construtora Engemática**. Disponível em: <<http://www.meunovoestilodevida.com.br/engematica/CONSTRUTORA-ENGEMATICA---EDIFICIO-EUROBUSINESS---ECOVILLE>> Acesso em: Setembro/2020.

4.4.3.2. Edifício Jacarandá – São Paulo

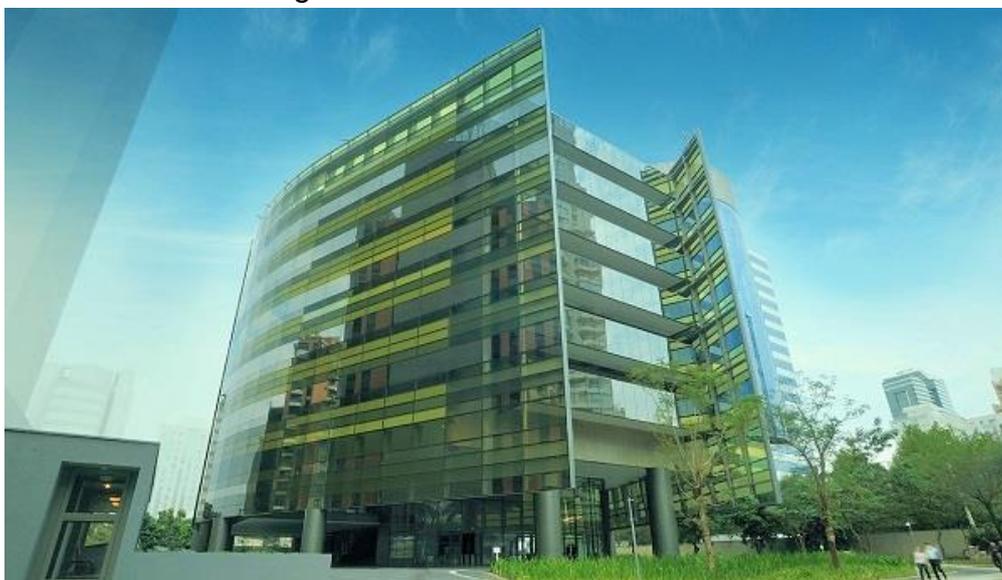
O empreendimento localizado na capital paulista tem certificação LEED *Core/and Shell Platinum v3* e foi projetado pelo arquiteto Carlos Bratke. O prédio possui fácil acesso a vários tipos de transporte coletivo e incentivando o uso de trens e ônibus e contribuindo para a redução do número de veículos nas ruas.

As propostas adotadas no edifício tendem a minimização das ilhas de calor, através da redução das áreas pavimentadas, adoção de coberturas verdes e utilização de materiais com alto índice de refletância solar. O projeto conta ainda com bicicletário com 36 vagas e os estacionamentos instalados nos subsolos (Figura 20).

O empreendimento possui 1.925 m² de áreas verdes que promovem a biodiversidade local, além de ter um Plano de Gerenciamento de Águas Pluviais que reduz as coberturas impermeáveis e promove a infiltração, coleta e

tratamento da água de escoamento correspondente a 90% da média anual de chuva. Além de todos os sistemas sustentáveis conta com tratamento e aproveitamento de água cinza e água proveniente do dreno do sistema de ar condicionado para usos não potáveis.

Figura 20 – 3D edifício Jacarandá



Edifício Jacarandá. **10 novos edifícios sustentáveis no Brasil.** Disponível em: <<https://sustentarqui.com.br/edificios-sustentaveis-no-brasil/>> Acesso em: Setembro/2020.

4.4.3.3. Edifício Forluz – Belo Horizonte – MG

Projetado pelo escritório Gustavo Penna Arquitetos e Associados, abriga a sede da CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais e empresas coligadas. Projeto do ano de 2008, conclusão da obra em 2014 e área construída de 50.000m² (Figura 21).

O edifício conta com utilização de sistemas especiais para as esquadrias, vidros e brises; ar condicionado, ventilação, instalações, materiais de construção de baixo custo energético, uso da água de chuva e do lençol freático para procedimentos de serviço e limpeza e emprego de células fotovoltaicas.

Adotaram-se técnicas e produtos que reduzem em 19% o consumo de energia e em 40% o volume de água potável utilizado. Recebeu a certificação LEED CS *Gold* em 2015.

A solução construtiva caracteriza-se por adotar vãos modulares e econômicos, plantas flexíveis para facilitar múltiplos arranjos funcionais, facilidade de manutenção e monitoramento, mobilidade e acessibilidade, presença constante

do verde e das visadas para a cidade. Edifício de 23 pavimentos que irá abrigar em seus andares tipo, com layout em andar corrido, os escritórios e usos correlatos. A flexibilidade das instalações é um princípio fundamental do projeto, considerando as dinâmicas organizacionais que poderão ser aplicadas.

Figura 21 – Edifício Forluz



Edifício Forluz. **10 novos edifícios sustentáveis no Brasil.** Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/edificios-sustentaveis-no-brasil/> Acesso em: Setembro/2020.

5. METODOLOGIA

O método utilizado para desenvolvimento do trabalho baseou-se no desenvolvimento de propostas de intervenções sustentáveis para a edificação do Terminal Rodoviário de Belo Horizonte, priorizando as alternativas de menor impacto ao meio ambiente e em conformidade com as diretrizes do Patrimônio Histórico de Minas Gerais.

O procedimento norteou-se através da pesquisa de alternativas com menor impacto visual e maior aproveitamento de espaço, visto que a edificação encontra-se implantada em área construída no centro da cidade sem possibilidade de expansão.

As principais alternativas propostas visaram principalmente os seguintes benefícios:

- Economia de energia, através do estudo de revitalização luminotécnica;
- Produção de energia própria, através do estudo de implementação de placas solares;
- Conforto térmico, através do estudo de implementação do telhado verde;
- Economia de água, através estudo de implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial.

A metodologia para o estudo de revitalização luminotécnica permeou a análise das características gerais e benefícios desse tipo de solução, observando a situação atual da iluminação do edifício e considerando os cálculos para a correta proposta de intervenção na iluminação, substituindo a mesma por LED.

Quanto ao estudo de implementação de placas solares, considerou-se a grande área de telhado existente, em consonância com a necessidade de mitigação dos gastos do edifício com energia elétrica. A proposta consistiu-se no cálculo de produção de energia através das placas solares, considerando todas as características técnicas relevantes e a área útil disponível.

Já a metodologia utilizada no estudo de implementação do telhado verde desenvolveu-se através da análise do local de implantação da solução, escolha do tipo de sistema adotado em detrimento da cobertura existente, observância do tipo de vegetação escolhida e a não possibilidade de grande sobrepeso estrutural.

Para a execução do estudo de implantação do sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis foram desenvolvidas as seguintes etapas: descrição do objeto de estudo a partir de pesquisas bibliográficas embasadas em Normas Técnicas da ABNT; determinação da área de captação de águas pluviais; pesquisa de dados pluviométricos da região; levantamento do consumo de água para os usos que serão propostos; dimensionamento dos reservatórios de armazenamento da água pluvial bruta e tratada; e concepção do sistema de tratamento e direcionamento da água potável aos locais de consumo.

6. DESENVOLVIMENTO

6.1. Proposta de revitalização luminotécnica

6.1.1. Iluminação: objetivos, características e benefícios

O primeiro objetivo da iluminação é a obtenção de boas condições de visão associadas à visibilidade, segurança e orientação dentro de um determinado ambiente. Este objetivo está intimamente associado às atividades laborativas e produtivas (escritórios, escolas, bibliotecas, bancos, indústrias, etc.).

O segundo objetivo da iluminação é a utilização da luz como principal instrumento de ambientação do espaço - na criação de efeitos especiais com a própria luz - ou no destaque de objetos e superfícies ou do próprio espaço. Este objetivo está intimamente associado às atividades não laborativas e não produtivas (restaurantes, museus e galerias, residências, etc.).

As lâmpadas de LED proporcionam diversas vantagens, a principal delas é a economia. Estima-se que o desperdício de energia no Brasil é de aproximadamente 18%. Por meio da implementação de novas tecnologias e mudança de hábitos é possível combater o desperdício na produção, distribuição e utilização de energia.

Existem diversas ações de conscientização do uso da energia com o objetivo de combater o desperdício e divulgar a eficiência energética. São elas: uso de equipamentos eficientes, projetos adequados, conscientização comportamental, mudança de hábitos e consciência ambiental.

6.1.2. Situação da iluminação na Rodoviária

A principal utilização da iluminação, no caso do edifício da Rodoviária de Belo Horizonte é a obtenção de boas condições de visibilidade e segurança no ambiente, proporcionando aos usuários conforto nos ambientes de espera e embarque. O sucateamento desta iluminação gerou ambientes mal iluminados, com gasto energético elevado e aparência inadequada, vide Figura 22.

Figura 22 – Iluminação insuficiente



Fonte: O autor (2019).

6.1.3. Proposta de intervenção

A proposta de intervenção na iluminação do Terminal Rodoviário de Belo Horizonte, implantada em 2019, consistiu na redução do consumo de energia por meio da substituição dos sistemas de iluminação atuais por outros mais eficientes.

Justifica-se a implementação da proposta alguns fatores como:

- Proibição de aquisição de lâmpadas comuns;
- Melhoria na eficiência luminosa;
- Participação no programa eficiência energética Cemig;
- Redução de custos com energia.

Os benefícios ao adotar a solução proposta de revitalização luminotécnica são inúmeros e podem ser citados:

- Possibilitar a otimização do suprimento de energia para atender necessidades atuais e futuras;
- Aumento da iluminância com o mesmo consumo de energia;
- Motivação e participação dos colaboradores na redução do consumo de energia, diante da melhoria do ambiente e da adequação das instalações.

O projeto proposto engloba a modernização do sistema de iluminação, com substituição das atuais lâmpadas fluorescentes tubulares e compactas de 40W, 250W e 400W, que serão substituídas por lâmpadas LED. O projeto engloba o fornecimento, substituição e descarte de todas as lâmpadas contempladas. O descarte correto deverá ser realizado em coletores especiais, em pontos de coleta credenciados ou a devolução deve ser feita ao fabricante.

A Ação de Eficiência Energética – AEE – deve propiciar a redução do consumo de energia elétrica na instalação em questão, bem como a redução de demanda no horário de ponta da distribuidora.

Alguns fatores foram desconsiderados devido a sua irrisoriedade e mensuração especialmente complexa, como desprendimento de calor pelas lâmpadas e reatores e sua influência no condicionamento do ar do ambiente.

Segundo relatório elaborado pela CEMIG (2019) foram aferidos os seguintes parâmetros para determinação das economias reais:

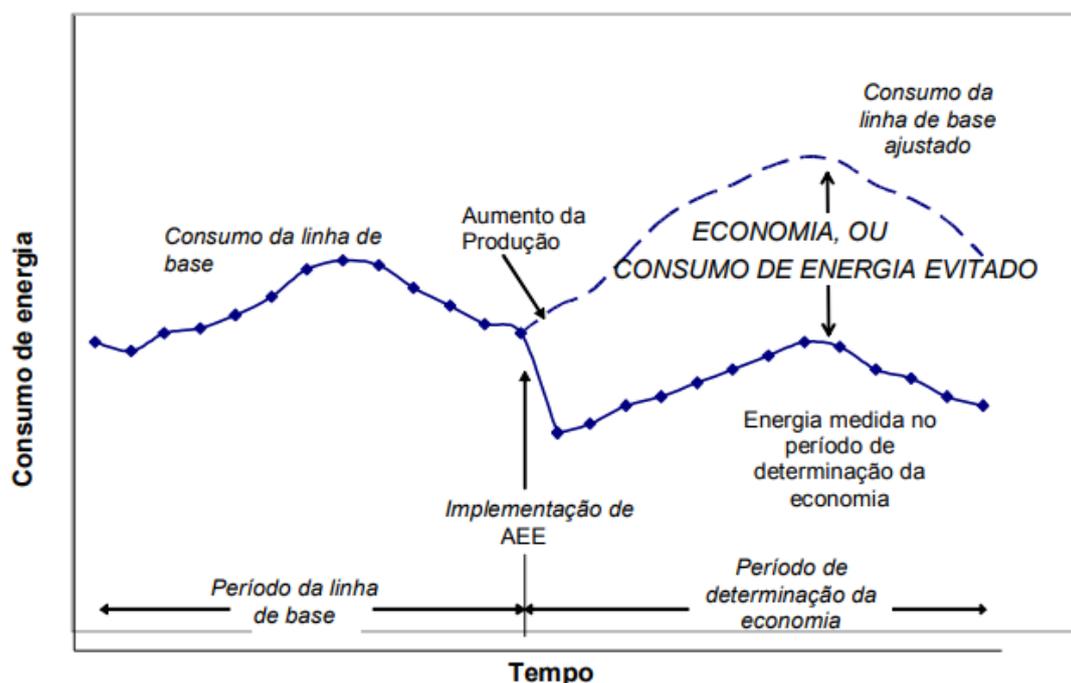
- Potência – medida por um wattímetro alicate, ou medidor determinado para este fim até a leitura estabilizar, em uma amostra das lâmpadas substituídas.
- Tempo – estimado por uma medição do acendimento das luminárias, em todos os horários e no horário de ponta.
- Energia – obtida pela multiplicação da potência medida pelo tempo de funcionamento estimado, em ambos os períodos de medição.
- Demanda na ponta – obtida pela multiplicação da potência pela parcela de tempo de funcionamento na ponta.

Segundo a *Efficiency Valuation Organization* (2012), a economia de energia, água ou da demanda não pode ser medida diretamente, visto que essa é representada pela ausência do consumo ou da demanda.

Essa economia é determinada comparando-se os dados de consumo antes e depois da implementação de um programa de eficiência energética, realizando os ajustes adequados às alterações nas condições de uso.

Observa-se através da Figura 23 que a energia medida no período posterior a implementação das ações individuais de eficiência energética (AEE) é menor se comparado ao consumo da linha de base indicado no gráfico.

Figura 23 – Exemplo de Histórico de Energia



Fonte: EVO 10000. **Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance.** Janeiro de 2012. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/wp-content/uploads/2015/07/PIMVP_2012-PTBR.pdf> Acesso em: 2019.

Através da implantação de ações individuais de eficiência energética no edifício do Terminal Rodoviário de Belo Horizonte, objetiva-se alcançar a maior eficiência de iluminação, mais segurança nas instalações e economia no consumo de energia. A maior iluminância proferida influi diretamente na claridade do interior, possibilitando aos usuários segurança nos ambientes internos (Figura 24).

A necessidade da contratação da obra de modernização luminotécnica se justifica por tratar-se de uma intervenção que influi diretamente no conforto dos usuários, conforme indicado na

Figura 25. Realizou-se verificação em todas as instalações elétricas existentes e posterior substituição das mesmas, além da troca das lâmpadas antigas por lâmpadas em LED (Figura 26). Isto posto houve adequação do edifício às normas vigentes, trazendo uma maior confiabilidade ao sistema diminuindo as intervenções corretivas das manutenções das instalações.

Apesar do alto investimento na aquisição das lâmpadas LED, a diminuição do consumo energético e a vida útil das lâmpadas viabilizam o investimento em longo prazo.

Figura 24 – Após implementação solução área interna



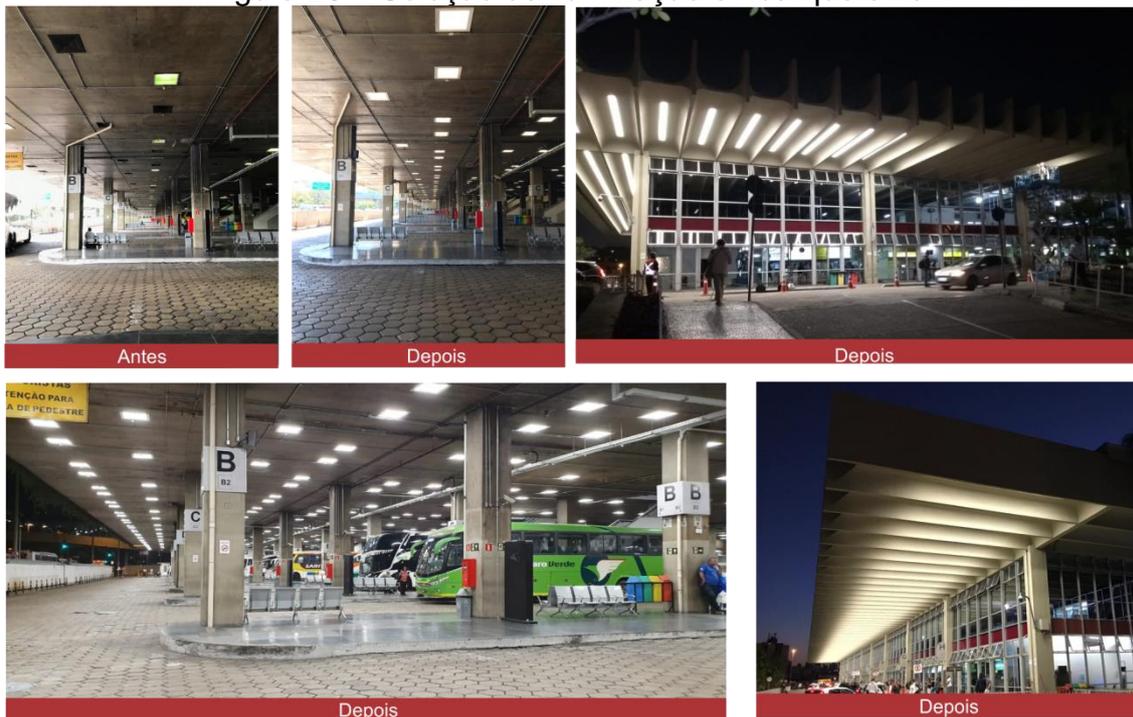
Fonte: Fotografia Sanderson Pereira (2019).

Figura 25 – Solução de iluminação área externa



Fonte: O autor (2019).

Figura 26 – Solução de iluminação embarque e hall



Fonte: O autor (2019).

Foram realizadas medições no conjunto de circuitos alimentadores das luminárias e aferições nos equipamentos individuais. Observou-se a medição de potência e consumos para determinação dos resultados, conforme dados compilados na Tabela 6.

Observa-se, também na Tabela 6, comparativo entre o sistema de iluminação original do Terminal Rodoviário e o implementado com adoção das lâmpadas LED. O mesmo propiciou economia considerável em detrimento da Redução de Demanda (kW) e da Energia Economizada.

Tabela 6 – Comparativo Sistemas LED / Original

SISTEMA ORIGINAL											
		Meza.	Meza.	Meza.	Hall	Embar.	Área Externa	Estacion.	Estacion.	TOTAL	
1	Lâmpada	T10	T10	T10	Mista	Mista	Compacta	Mista	Vapor de Sódio		
2	Potência (w)	44	44	44	250	250	40,5	440	440		
3	Quantidade	79	833	2.262	186	1.208	40	20	16	4.644	
4	Potência Instalada (kW)	3,48	36,65	99,53	46,50	302,00	1,62	8,80	7,04	506	
5	Funcionamento (h/ano)	8.760	8.760	8.760	8.760	8.760	4.380	4.380	4.380		
6	Energia Cons. (MWh/ano)	30	321	872	407	2.646	7	39	31	4.353	
7	Demanda média ponta (kW)	3,5	36,7	99,5	46,5	302,0	1,1	5,9	4,7	500	
SISTEMA PROPOSTO											
		Meza.	Meza.	Meza.	Hall	Embar.	Área Externa	Estacion.	Estacion.	TOTAL	
8	Lâmpada	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED		
9	Potência (w)	6	12	24	59	59	59	113	59		
10	Quantidade	79	1.659	2.262	186	1.208	26	32	30	5.482	
11	Potência Instalada (kW)		36,65	99,53	46,50	302,00	1,62	8,80	7,04	506	
12	Funcionamento (h/ano)	8.760	8.760	8.760	8.760	8.760	4.380	4.380	4.380		
13	Energia Cons. (MWh/ano)	4	174	476	96	624	7	16	8	1.405	
14	Demanda média ponta (kW)	0,5	19,9	54,3	11,0	71,3	1,0	2,4	1,2	162	
RESULTADO ESPERADO											
		Meza.	Meza.	Meza.	Hall	Embar.	Área Externa	Estacion.	Estacion.	TOTAL	
15	Redução de Demanda (kW)	3,00	16,7	45,2	36	231	0	3	4	338,3	R\$ 410.440,10
16	Redução de Demanda (%)	86%	46%	45%	76%	76%	5%	59%	75%	68%	
17	Energia Econo. (MWh/ano)	26	147	396	311	2.021	0	23	23	2.947,8	R\$ 1.428.578,68
18	Energia Econo. (%)	86%	46%	45%	76%	76%	5%	59%	75%	68%	
											R\$ 1.839.018,78

Fonte: O autor (2019).

Legenda:

Fórmula L15: L7 – L14

Fórmula L16: L5 / L7

Fórmula L17: L6 – L13

Fórmula L18: L17 / L6

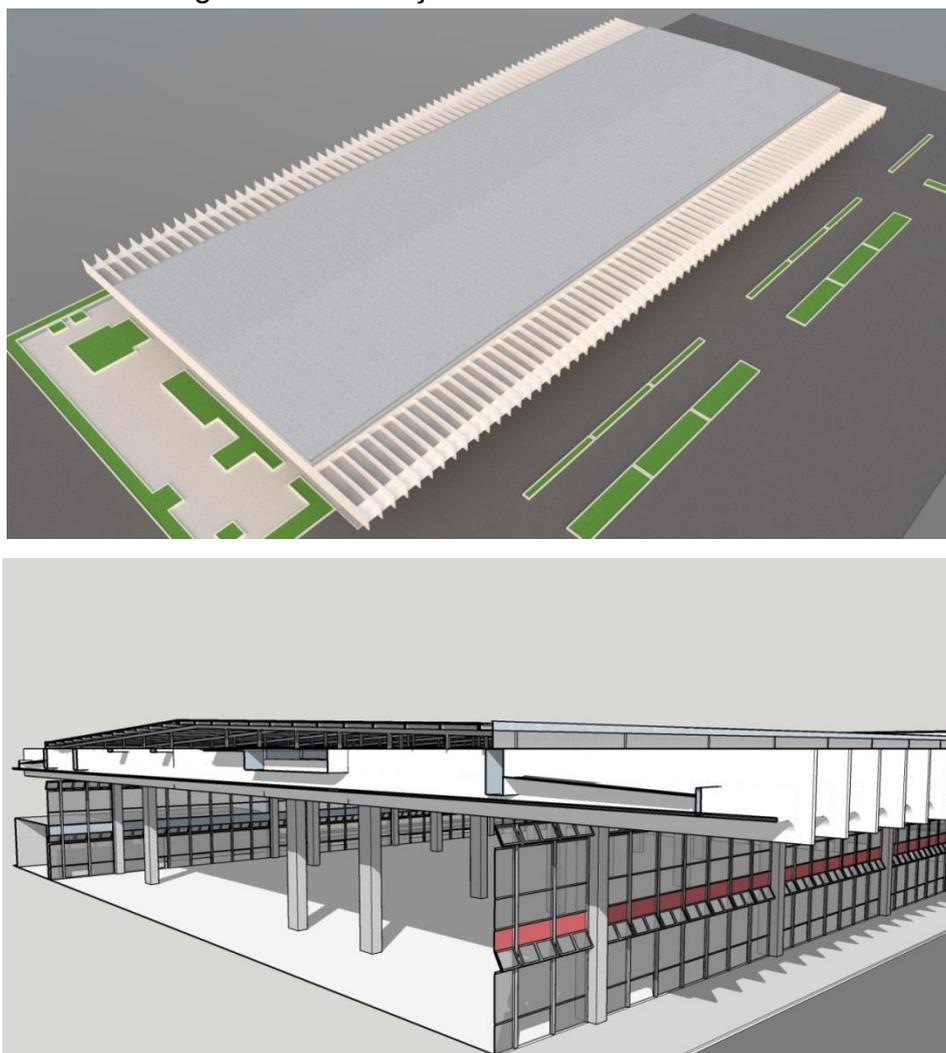
6.2. Proposta de implantação de placas solares

Justifica-se adotar a proposta sugerida devido aos grandes gastos do edifício com energia elétrica, o que pode ser mitigado com a produção de energia elétrica para uso próprio através das placas solares.

A proposta consiste no cálculo de produção de energia através das placas solares, a serem instaladas na cobertura do edifício, considerando um tipo específico de módulo solar fotovoltaico.

A cobertura do prédio apresenta uma área total de aproximadamente 7.000m², sendo composta em duas águas e setenta vãos nas extremidades norte e sul. As telhas são do tipo zincadas, com estrutura metálica de sustentação. A inclinação das águas da cobertura é pequena, aproximadamente 5%. A Figura 27 apresenta um esboço 3D da cobertura do edifício. Já a Figura 28 refere-se à fotografia *in loco* do Terminal.

Figura 27 – Esboço 3D cobertura do edifício



Fonte: O autor (2018).

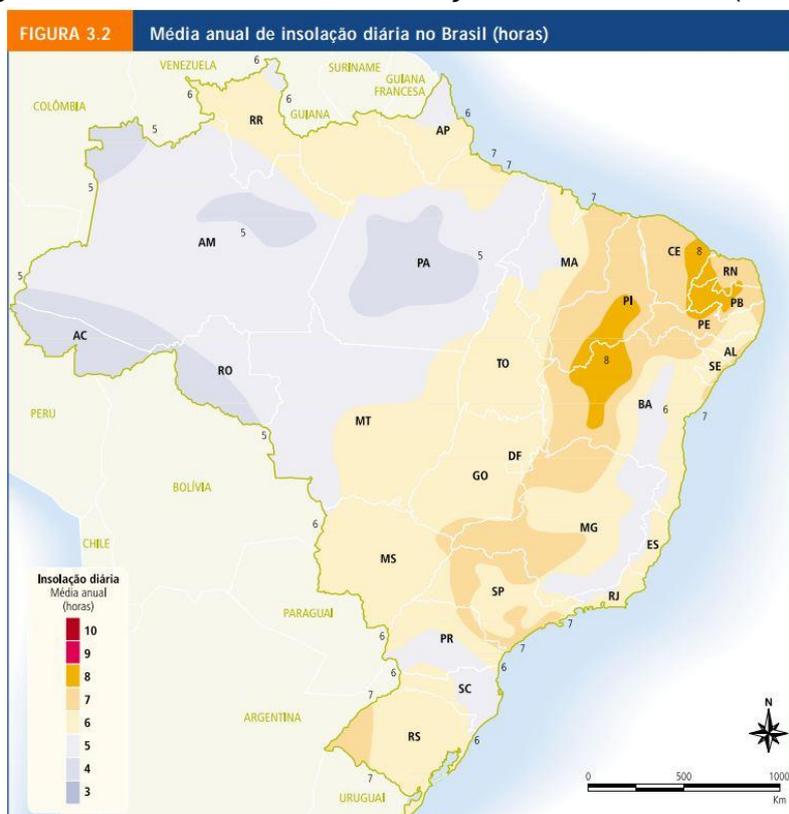
Figura 28 – Foto cobertura do edifício executada



Fonte: O autor

Conforme pode ser observado na Figura 29, a média anual de insolação diária em Belo Horizonte - Minas Gerais gira em torno de 5 horas.

Figura 29 – Média anual de insolação diária no Brasil (horas)



Fonte: **ATLAS Solarimétrico do Brasil**. Recife : Editora Universitária da UFPE, 2000. (adaptado pela ANEEL)

Para esse estudo, tomou-se como exemplo um módulo solar fotovoltaico de 270 W de potência, voltado para o Norte, inclinado a 20° e considerando as perdas totais do sistema fotovoltaico, por aquecimento e sujeira, em 20% da potência nominal. Tais características técnicas representam a instalação do módulo de forma eficiente.

O módulo fotovoltaico de 270 W utilizado como referência para os cálculos é da marca Canadian, conforme especificações técnicas descritas abaixo:

Tabela 7 – Especificações técnicas painel solar

PARÂMETROS	VALORES
Máxima Potência (Pm)	270 Watts
Tolerância	0 ~ + 5 Watts
Voltagem de Máxima Potência (Vm)	30,8 Volts
Corrente de Máxima Potência (Im)	8,75 Amps
Voltagem de Circuito Aberto (Voc)	37,9 Volts
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	9,32 Amps
Voltagem Máxima do Sistema	1000 Volts
Eficiência do Painel	16,50%

Fonte: **Especificação técnica Canadian**. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-270wp-canadian-csi-cs6k-270wp.html> Acesso em: 2019

Considerando os parâmetros citados anteriormente, nessa situação, um módulo fotovoltaico de 270 W utilizado como referência, gera no Estado de Minas Gerais, 1,034 kWh/dia e 31,02 kWh/mês, conforme a equação abaixo (BLUE SOL, 2019):

$$\text{Energia} = \text{potência (W)} \times \text{tempo de insolação diária MG (h)} \times \text{rendimento (\%)}$$

$$\text{Energia} = 270 \text{ W} \times 4,79 \text{ h} \times (1-0,2) = 1.034,64\text{Wh/dia} = 1,034 \text{ kWh/dia}$$

$$\text{Energia} = 1,034 \times 30 = 31,02 \text{ kWh/mês}$$

O consumo do edifício do Terminal Rodoviário, comumente observado diante das médias históricas, é de aproximadamente 230.000 kWh/mês, conforme Tabela 8.

Tabela 8 – Média histórica de consumo TERGIP

Mês/ano	Energia (kWh)	
	HP	HFP
set/19	26.002	227.408
ago/19	25.473	219.837
jul/19	25.845	211.298
jun/19	21.610	210.627
mai/19	28.518	245.299
abr/19	50.384	437.004
mar/19	20.000	180.800
fev/19	11.200	88.400
jan/19	20.000	188.600
dez/18	20.000	188.600
nov/18	14.400	146.400
out/18	21.600	190.400
set/18	20.000	200.800
somatório	305.032	2.735.473
média	23.464	210.421
TOTAL	233.885	

Fonte: O autor (adaptado fatura Cemig)

Para suprir a necessidade energética do Terminal Rodoviário de Belo Horizonte seria necessária implementação do quantitativo abaixo dimensionado de placas fotovoltaicas:

$$1 \text{ módulo} \rightarrow 31,02 \text{ kWh}$$

$$x \text{ módulos} \rightarrow 230.000 \text{ kWh}$$

$$31,02 * x = 230.000 * 1$$

$$x = 230.000/31,02$$

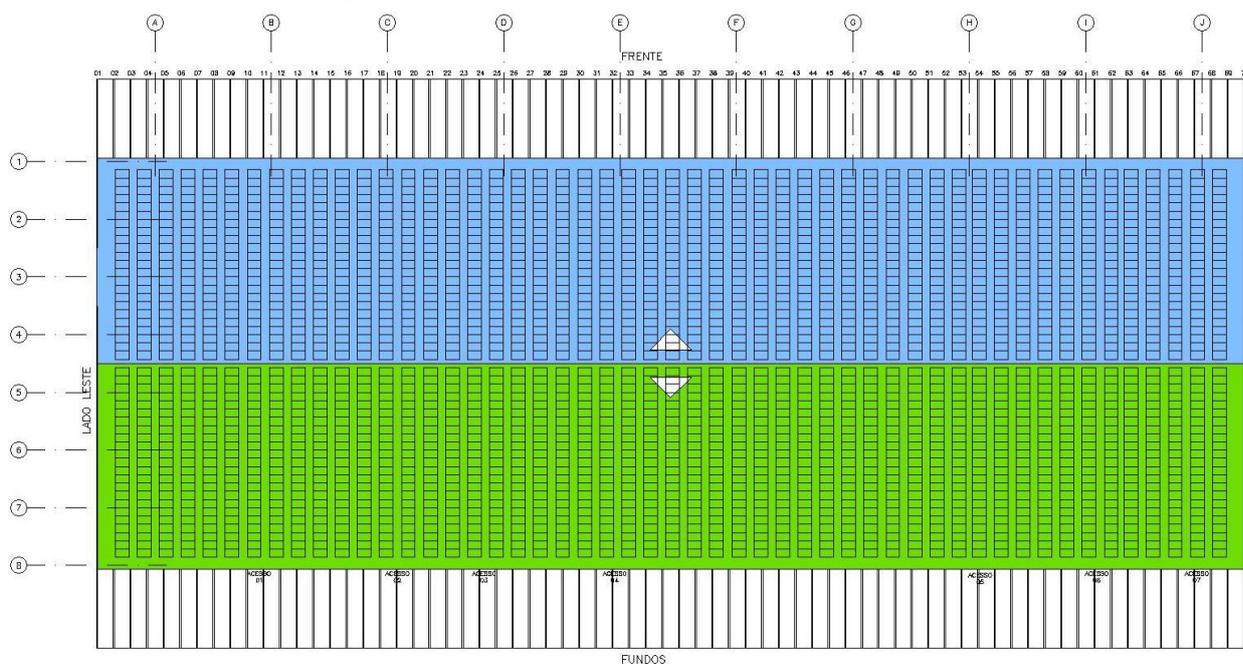
$$x = 7.415 \text{ unidades}$$

Entende-se que devido à área útil disponível e espaçamento necessário entre placas evitando o sombreamento e permitindo manutenção dos equipamentos, a área que melhor se adequa é de aproximadamente 7.000m², conforme hachuras verde e azul, indicadas na Figura 30. A porção hachurada em verde encontra-se direcionada para o norte, já a azul para o sul, demandando inclinação diferente na implantação das placas solares.

Dada à magnitude do projeto e a área disponível de implantação, seria possível implantar 2.400 unidades de placas solares, dimensão 1,60 x 1,00m, conforme sugestão de layout indicada na Figura 30.

O quantitativo indicado supriria a necessidade de aproximadamente 30% do gasto energético do edifício, cuja ordem de grandeza é em torno de 75.000 kW. O espaçamento projetado entre as placas é necessário para permitir a passagem para futuras manutenções e limpeza.

Figura 30 – Projeto básico placas solares



Fonte: O autor

6.3. Cobertura verde

6.3.1. O uso da cobertura verde nas edificações

Segundo Righi *et al* (2016), a ideia da implantação de telhados verdes nos grandes centros é transformar os mesmos em pequenos pulmões das cidades, possibilitando corredores de circulação atmosférica, melhorando o clima e mitigando o consumo de energia, devido o decréscimo no uso de ar condicionado.

Nas regiões muito edificadas e onde a chuva é intensa, as áreas naturais possibilitam a retenção de águas pluviais de 15% a 70%, prevenindo a ocorrência de enchentes. Estudos demonstram que para uma cobertura verde leve de 100m², cerca de 1400 litros de água de chuva deixam de ser enviados para a rede pública. Os telhados verdes também mitigam os efeitos danosos dos raios ultravioleta, os extremos de temperatura, vez que nesses telhados a temperatura não passa de 25° C contra 60° C dos telhados convencionais e os efeitos do vento.

Na atualidade, observam-se os benefícios da implementação de soluções sustentáveis nas edificações e suas vantagens ao meio ambiente e habitantes. Um exemplo é o uso das coberturas verdes, as quais se caracterizam por utilização de vegetação como cobertura de estruturas de qualquer porte, mesmo aquelas já construídas.

6.3.2. Proposta de implantação da cobertura verde no TERGIP

A sugestão de implementação da cobertura verde para o TERGIP justifica-se devido à possibilidade de redução da temperatura ambiente interna, proteção acústica do edifício e produção de itens de horta os quais poderão ser cultivados e utilizados em restaurantes populares do entorno. A solução proporciona o combate às ilhas de calor urbano, absorvendo gases do efeito estufa emitidos por veículos e melhorando a qualidade do ar nos centros urbanos.

A cobertura verde possibilita também a retenção de parte da água de chuva minimizando o escoamento superficial e, conseqüentemente, contribuindo para reduzir os alagamentos do centro de Belo Horizonte.

A edificação do Terminal Rodoviário localiza-se no centro e Belo Horizonte, área amplamente urbanizada e com escassez de elementos verdes. A proposta de

telhado verde dá ênfase às soluções sustentáveis, buscando suprir a ausência das áreas permeáveis no local.

A região central de Belo Horizonte foi projetada pelo engenheiro Aarão Reis (Figura 31), chefe da Comissão de Construção da Nova Capital. Apesar da grande concentração de edificações, ela conta com a Primeira área de lazer e contemplação da cidade, inaugurada em 1897, que é o Parque Municipal.

Outros pontos focais da região central são as edificações:

- Palácio das Artes, complexo cultural de Minas Gerais;
- Prefeitura Municipal construída em estilo Art Déco na década de 1940;
- Feira de Arte e Artesanato da Avenida Afonso Pena;
- Mercado Central, espaço de venda e convívio social;
- Minascentro, centro de convenções em estilo neoclássico.
- Igreja São José;
- Praça Sete;
- Praça da Estação.

Figura 31 – Bairro centro



Fonte: **Adaptado de Google maps**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>
Acesso em: 2020

Conforme indicado na Figura 32, o TERGIP localiza-se em área extremamente urbanizada e degradada, praticamente sem vegetação, a qual um equipamento

com implementação de soluções sustentáveis, como o telhado verde, traria melhoria e permeabilidade ao local.

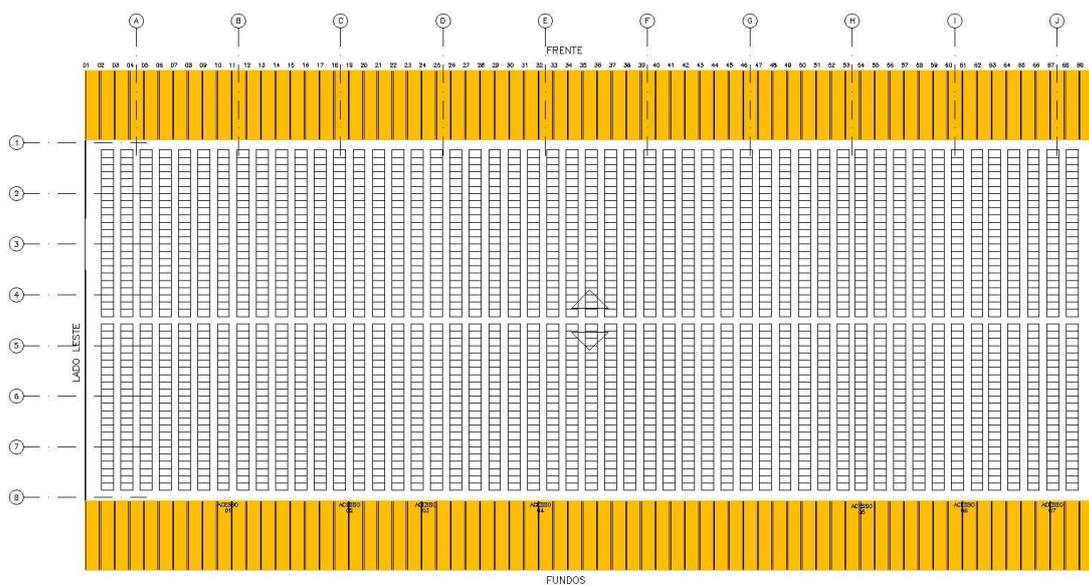
Figura 32 – Localização TERGIP



Fonte: Adaptado de Google maps. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>
Acesso em: 2020

A cobertura existente no edifício do Terminal Rodoviário dispõe de 70 vigas no sentido transversal do prédio, identificadas sob a hachura amarela na Figura 33. A área hachurada indicaria os possíveis locais para a implantação da cobertura verde, contabilizando 3.000 m² de dimensão, nos lados norte e sul do prédio.

Figura 33 – Projeto básico cobertura verde



Fonte: O autor

O sobrepeso na estrutura de concreto existente não foi objeto desse estudo, mas deve ser analisado posteriormente, sendo o mesmo mitigado com a implementação de camadas menos espessas para compor o telhado verde.

Segundo Righi *et al* (2016) um dos maiores benefícios da cobertura verde é a estabilização do clima no entorno do edifício, sendo um isolante térmico da cobertura, trazendo benefícios ao interior do prédio e aos usuários, como a economia de energia e redução dos efeitos das ilhas de calor.

Para a execução da cobertura verde, o processo de impermeabilização da área é primordial. Caracteriza-se pela aplicação de uma manta sobre o sub-telhado. Deve-se instalar geomembranas as quais se caracterizam por serem mantas laminadas flexíveis de polietileno de alta densidade desenvolvidas para assegurar alta resistência química e física à ruptura por tração. Estas oferecem alto grau de impermeabilização, sendo suas junções soldadas através de termofusão.

Segundo Righi *et al* (2016), objetivando a melhor adaptação da cobertura verde aos diferentes tipos de telhados e espécimes, a empresa Ecotelhado de Porto Alegre/RS desenvolveu três sistemas para utilização da cobertura. São eles os sistemas modular, alveolar e laminado. Todos os sistemas citados devem ser previamente impermeabilizados com a aplicação de manta anti-raízes e membrana de retenção de nutrientes. Após essa camada impermeabilizante são instalados os módulos com o substrato e as plantas conforme a Figura 34.

Figura 34 – Seção do Telhado com suas respectivas camadas



Fonte: Righi *et al* (2016).

Segundo Righi *et al* (2016), o sistema modular (Figura 35) é recorrentemente o mais utilizado, composto por módulos já vegetados instalados lado a lado sobre a membrana anti-raízes. Tal sistema possibilita a aplicação sobre qualquer telhado existente ou laje, inclinados ou não, pensando cerca de 50 kg/m².

Figura 35 – Sistema Modular



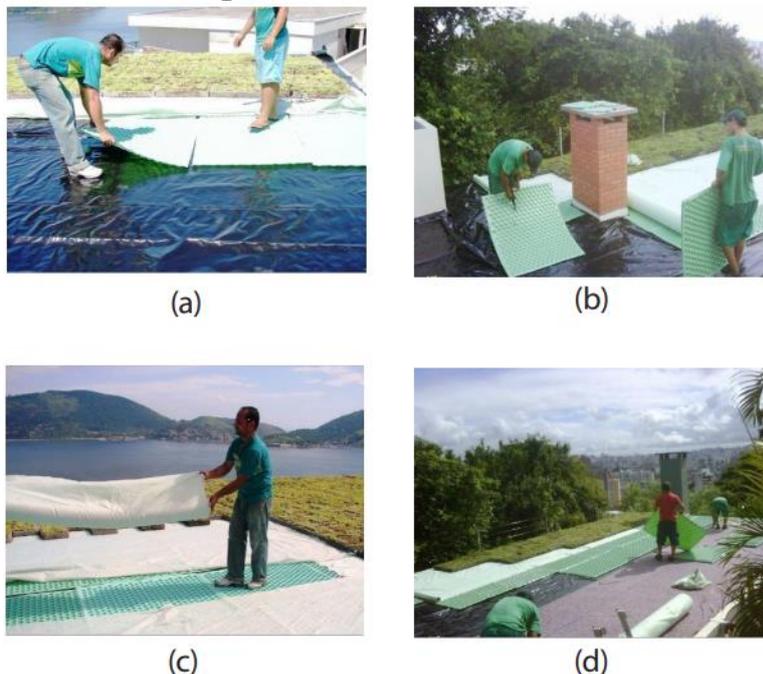
Fonte: Righi *et al* (2016).

Legenda:

(a) colocação da membrana anti-raízes; (b) colocação da membrana de retenção de nutrientes e módulos; (c) detalhe do dreno; (d) acabamentos finais.

O sistema alveolar é semelhante ao modular, sendo a principal diferença a membrana alveolar que se caracteriza por placa retangular flexível cujo material é garrafa pet reciclada, de dimensões 1,20 x 0,95m, com 2cm de espessura. Sobre esta membrana alveolar instala-se uma membrana de alta permeabilidade de proteção contra resíduos (Figura 36). O peso saturado deste sistema varia entre 60 a 80 kg/m² e cada 10 litros/m² corresponde a 1 cm de altura da lâmina d'água (RIGHI *et al*, 2016).

Figura 36 – Sistema Alveolar



Fonte: Righi *et al* (2016).

Legenda:

(a) colocação da membrana alveolar; (b) arremate da membrana alveolar; (c) colocação da membrana filtrante; (d) vista geral da instalação.

Por fim o sistema laminar que mantém lâmina d'água regulada por extravasor de água, sobre piso elevado feito de módulos de sustentação. Tal sistema só pode ser instalado sobre lajes planas sem declividade para ser possível à formação da lâmina d'água (Figura 37).

A lâmina d'água, de aproximadamente 4cm, de altura traz os benefícios da retenção pluvial e conforto térmico, permitindo a variedade de especificações de forrações. O peso total do sistema é de 120 kg/m² já saturado, podendo ser alterado de acordo com a dimensão da vegetação.

Figura 37 – Sistema Laminar



Fonte: Righi *et al* (2016).

Legenda:

(a) colocação do substrato leve fibroso; (b) colocação de leivas de grama; (c) detalhe do dreno lateral 4 cm; (d) diferença entre o sistema laminar e o lote experimental após 30 dias de seca.

Sugere-se a implementação do tipo modular para o edifício do TERGIP, visto ser o sistema que melhor se adapta em coberturas existentes com menor peso saturado.

6.4. Sistema de aproveitamento de água pluvial

Justifica-se a implementação de um sistema de aproveitamento de água pluvial no TERGIP visto o alto consumo de água para rega de jardins e lavação de áreas externas.

Para a execução do estudo de implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis foram desenvolvidas as seguintes etapas: descrição do objeto de estudo a partir de pesquisas bibliográficas embasadas em Normas Técnicas da ABNT e legislações; determinação da área de captação de águas pluviais; pesquisa de dados pluviométricos da região; levantamento do consumo de água para os usos que serão propostos; dimensionamento do reservatório de aproveitamento; análise dos tipos de tratamento e direcionamento aos locais de consumo.

Para que fossem possíveis os cálculos de demanda de água para lavagem de edificações e irrigação de áreas verdes, foi necessário determinar os equipamentos que seriam usados e suas características, e em seguida estimar um consumo médio de água para cada caso.

A partir dos dados compilados, calculou-se a captação e o armazenamento na área de estudo, que a seguir, comprovaram a viabilidade técnica de implantação do sistema de aproveitamento de água pluvial e a contribuição com racionamento de água potável.

O estudo de implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais na edificação do TERGIP foi elaborado partindo do pressuposto que a área delimitada tem drenagem eficiente, através do telhado e tubulação de descida cujo diâmetro é 100 mm. Dessa forma, foram dimensionados dois reservatórios de armazenamento da água captada, ambos confinados, onde será feita a filtragem e o tratamento necessário para o aproveitamento da água em irrigação e lavação de pisos.

6.4.1. Definição do volume do reservatório - aspectos

A definição do volume do reservatório para o armazenamento da água pluvial é de fundamental importância. Cohin *et. al* (2008) afirmam que na maioria dos casos o reservatório é o item mais oneroso do sistema. Seu custo varia de acordo com a região estudada, com o uso da água e principalmente em função dos índices pluviométricos.

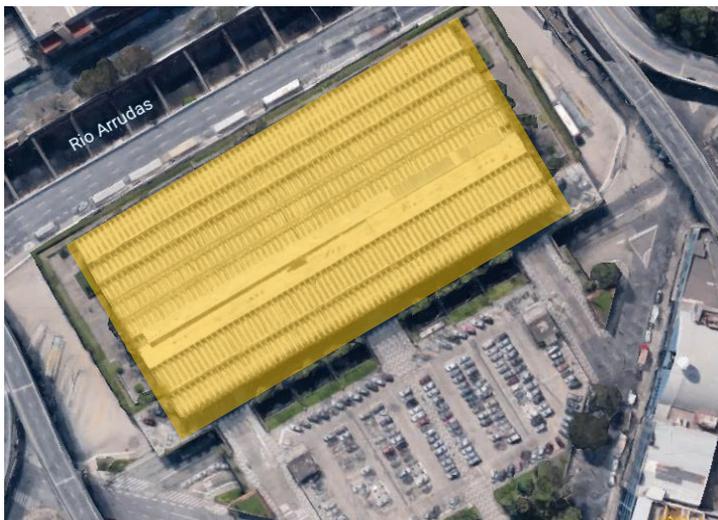
Para o correto dimensionamento do reservatório é necessário conhecer a área de captação, o coeficiente de aproveitamento da água pluvial, o uso a ser feito dessa água e a demanda a ser utilizada. A demanda de água pode ser estimada através dos pontos de consumo após a implantação do sistema de captação e aproveitamento da água pluvial. Essa estimativa é realizada através das médias de frequência, tempo de utilização da água e das vazões de cada aparelho.

6.4.2. Área de contribuição

A área de contribuição é de fundamental importância para o dimensionamento do volume de água pluvial captada, visto que através dela se determina a quantidade de água a ser reservada. Quanto maior ela for, maior será o volume de água de chuva captado e, conseqüentemente, maior o reservatório.

Para o dimensionamento dessa área de contribuição foi considerada toda a cobertura do edifício TERGIP, levantada através dos projetos arquitetônicos. A área estimada é de 10.000m² conforme apresentado na Figura 38.

Figura 38 – Cobertura TERGIP destacando a área de contribuição



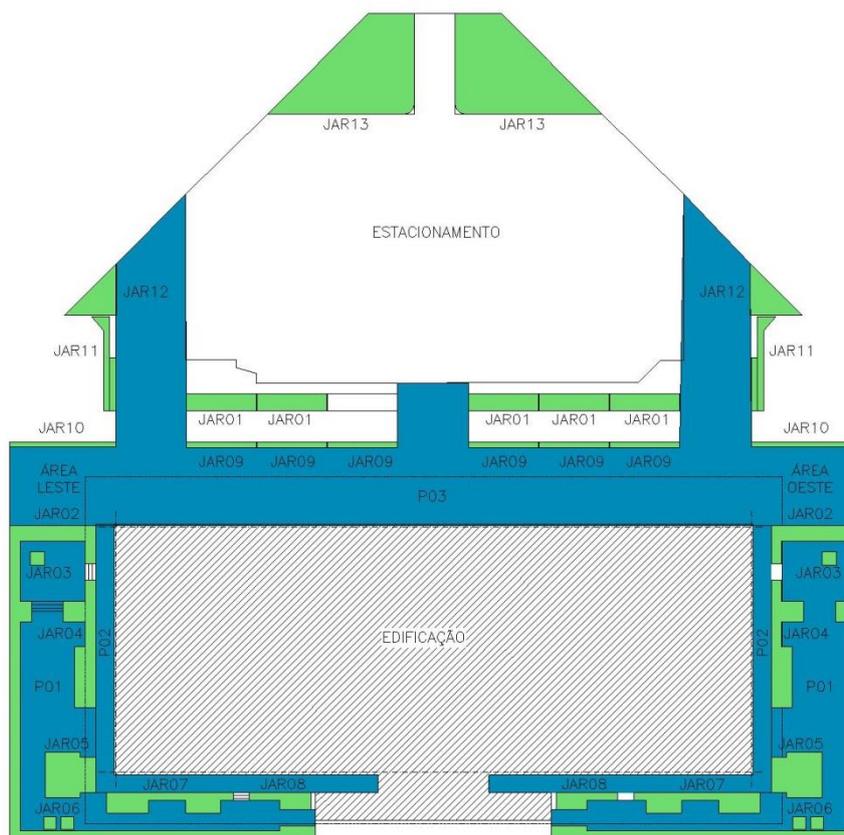
Fonte: adaptado de Google Earth. Acesso em: 2019.

A cobertura do edifício será utilizada para atender às três soluções sustentáveis: instalação de placas solares, instalação de cobertura verde e recolhimento de águas pluviais para reaproveitamento para fins não potáveis, sendo essa última o objeto de estudo desse capítulo. As duas primeiras são facilmente compatibilizadas com a terceira, não interferindo na área de contribuição.

6.4.3. Demanda de água pluvial

Para o levantamento da demanda de água pluvial considerou-se a sua utilização para fins não potáveis, na irrigação de jardins e na lavação da área externa ao edifício do TERGIP. As áreas foram estimadas em 2.591,16 m² e 6.522,00 m² respectivamente, conforme se observa na Tabela 9. Na Figura 39 as áreas ajardinadas estão indicadas em verde e áreas de piso indicadas em azul.

Figura 39 – Áreas jardineiras e pisos TERGIP



Fonte: O autor (2020).

Tabela 9 – Áreas jardineiras e pisos TERGIP

LEVANTAMENTO JARDINEIRAS E PISOS						
CÓD.	Local	Dimensões			Quant (unid.)	Área por tipo (m ²)
		A	B	ÁREA (m ²)		
JAR01	Frente	3,4	13,8	46,92	5	234,6
JAR02	Leste/Oeste	-	-	326,3	2	652,6
JAR03	Leste/Oeste	2,8	2,8	7,84	2	15,68
JAR04	Leste/Oeste	-	-	94,83	2	189,66
JAR05	Leste/Oeste	-	-	84	2	168
JAR06	Leste/Oeste	2,5	2,5	6,25	4	25
JAR07	Leste/Oeste	-	-	78,83	2	157,66

JAR08	Leste/Oeste	-	-	30,5	2	61
JAR09	Leste/Oeste	13,8	1,15	15,87	6	95,22
JAR10	Leste/Oeste	21	1	21	2	42
JAR11	Leste/Oeste	-	-	38,8	2	77,6
JAR12	Leste/Oeste	-	-	53,22	2	106,44
JAR13	Frente	-	-	382,85	2	765,7
TOTAL JARDINS						2.591,16
P01	Leste/Oeste	-	-	870	2	1740
P02	Leste/Oeste	-	-	380	2	760
P03	Leste/Oeste	-	-	4022	1	4022
TOTAL PISOS						6.522,00

Fonte: O autor (2020).

Os cálculos de demanda de água foram realizados utilizando uma planilha em Excel e levando em consideração uma frequência média de utilização de água nas atividades acima citadas, em função das respectivas áreas.

Considerou-se a irrigação diária dos jardins e a lavagem semanal da área externa do edifício. Após o levantamento dos dados de utilização de cada serviço e o cálculo das áreas foi obtida a demanda total por mês, multiplicando por 4 L/m² as áreas de jardins e 0,1 L/m² as áreas de pisos, obtido a partir do consumo em função da área, totalizando 313,55m³ de água por mês. Observa-se na Tabela 10 os resultados obtidos do cálculo de demanda.

Tabela 10 - Resultados obtidos do cálculo de demanda de água

CÁLCULO DE DEMANDA - JARDINS					
LOCAL	Área de contribuição (m²)	Uso por mês (dias)	Consumo por dia (litros)	Demanda mensal (litros)	Demanda total (m³)
Jardins	2591,16	30,00	10364,64	310939,20	310,94

CÁLCULO DE DEMANDA - PISOS					
LOCAL	Área de contribuição (m²)	Uso por mês (dias)	Consumo por dia (litros)	Demanda mensal (litros)	Demanda total (m³)
Pisos externos	6522,00	4,00	652,20	2608,80	2,61

Volume total

313,55

Parâmetros utilizados

Irrigação (mangueira) - 4 L/m²

Lavagem (jateadora) - 0,1 L/m²

Fonte: O autor (2020).

6.4.4. Cálculo do volume do reservatório

Para o cálculo do volume do reservatório foi utilizado o método de Rippl (Analítico) utilizando uma simulação das vazões de água pluvial e das demandas mensais de água, de acordo com a área de captação e com o índice pluviométrico da cidade de Belo Horizonte.

Para a definição das vazões de água pluvial foram utilizados os índices pluviométricos da cidade de Belo Horizonte, obtidos a partir dos dados apresentados pelo ClimaTempo com as médias de precipitação durante um ano (Tabela 11).

Tabela 11 - Índices pluviométricos da cidade de Belo Horizonte

Mês	Precipitação (mm³/mês)
Janeiro	274
Fevereiro	206
Março	143
Abril	56
Maio	29
Junho	12
Julho	15
Agosto	15
Setembro	39
Outubro	142
Novembro	242
Dezembro	292

Fonte: ClimaTempo (2020).

Utilizando a planilha modelo (Tabela 12) apresentada por Tomaz (2003) para o método de Rippl, pôde-se calcular o volume do reservatório em função da capacidade do reservatório e da demanda de água, utilizando os dados mensais segundo as equações (1), (2) e (3).

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)} \quad (1)$$

$$Q_{(t)} = (C \times \text{precipitação da chuva}_{(t)} \times \text{área de captação}) / 1000 \quad (2)$$

$$V = \sum S_{(t)}, \text{ somente para valores } S_{(t)} > 0 \quad (3)$$

Sendo que: $\sum D_{(t)} < \sum Q_{(t)}$

Onde:

$S_{(t)}$ é o volume de água no reservatório no tempo t ;

$Q_{(t)}$ é o volume de chuva aproveitável no tempo t ;

$D_{(t)}$ é a demanda ou consumo no tempo t ;

V é o volume do reservatório, em metros cúbicos;

C é o coeficiente de escoamento superficial.

Tabela 12 - Modelo de planilha para aplicação do Método de Rippl

Mês	Precipitação (mm ³ /mês)	Área de captação (m ²)	Coeficiente escoamento superficial	Volume de chuva mensal (m ³)	Volume de demanda mensal (m ³)	Diferença entre demanda e chuva (m ³)	Diferença acumulada (m ³)
		A	C	Q	D	(D - Q)	V
JAN							
...							
DEZ							

Fonte: adaptado de Tomaz (2003).

A utilização desse método deu-se com a entrada de dados mensais de pluviometria e do coeficiente de escoamento superficial, para telhados, estimado em 0,85 (Figura 40), juntamente com a demanda mensal dos locais abastecidos.

Figura 40 – Coeficientes de escoamento superficial

Ruas	
-Pavimentação asfáltica	0,70 a 0,95
-Pavimentação de concreto	0,80 a 0,95
-Blocos	0,70 a 0,85
Passeios	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
Terrenos relvados (solos arenosos)	
-Pequena declividade (2%)	0,05 a 0,10
-Declividade média (2% a 7%)	0,10 a 0,15
-Forte declividade (>7%)	0,15 a 0,20
Terrenos relvados (Solos Argilosos)	
-Pequena declividade (2%)	0,15 a 0,20
-Declividade média (2% a 7%)	0,20 a 0,25
-Forte declividade (>7%)	0,25 a 0,30

Fonte: **Hidro mundo**. Disponível em: <<http://www.hidromundo.com.br/metodo-razional/>>
Acesso em: janeiro 2020.

Da aplicação dos cálculos sugeridos por Tomaz (2003), determinou-se o volume do reservatório (Tabela 13).

Tabela 13 - Cálculo do volume do reservatório

VOLUME DO RESERVATÓRIO MÉTODO RIPPL							
Mês	Precipitação (mm³/mês)	Área de captação (m²)	Coefficiente escoamento superficial	Volume de chuva mensal (m³)	Volume de demanda mensal (m³)	Diferença entre demanda e chuva (m³)	Diferença acumulada (m³)
		A	C	Q	D	(D - Q)	V
Jan	274	10000	0,85	2329	313,55	-2015,45	
Fev	206	10000	0,85	1751	313,55	-1437,45	
Mar	143	10000	0,85	1215,5	313,55	-901,95	
Abr	56	10000	0,85	476	313,55	-162,45	
Mai	29	10000	0,85	246,5	313,55	67,05	67,05
Jun	12	10000	0,85	102	313,55	211,55	278,60
Jul	15	10000	0,85	127,5	313,55	186,05	464,65
Ago	15	10000	0,85	127,5	313,55	186,05	650,70
Set	39	10000	0,85	331,5	313,55	-17,95	
Out	142	10000	0,85	1207	313,55	-893,45	
Nov	242	10000	0,85	2057	313,55	-1743,45	
Dez	292	10000	0,85	2482	313,55	-2168,45	
				12.452,50	3.762,60		

Fonte: O autor (2020).

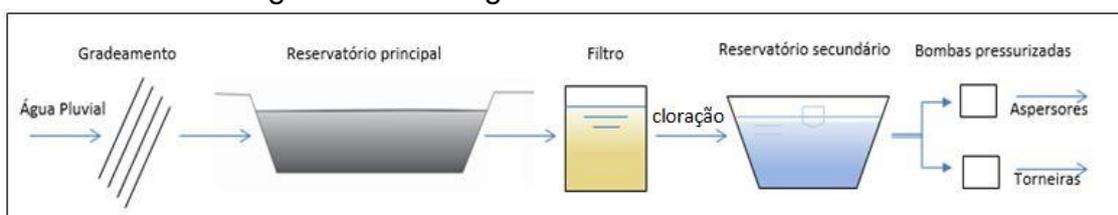
O maior valor obtido na coluna “Diferença Acumulada”, considerando apenas o somatório dos valores positivos, representa o volume necessário para o reservatório, ou seja, 650,70m³.

6.4.5. Projeto conceitual do sistema de armazenamento e tratamento de água pluvial

A proposta de reaproveitamento de água pluvial para o edifício do TERGIP consiste na utilização de dois reservatórios subterrâneos e das unidades para tratamento da água, que serão instalados sob o nível do embarque na porção oeste do edifício.

O fluxograma da linha de tratamento proposta é apresentado na Figura 41.

Figura 41 - Fluxograma da linha de tratamento



Fonte: O autor (2020).

Primeiramente, a água pluvial será encaminhada para o gradeamento, que terá a função de retenção de sólidos grosseiros. Após o gradeamento, a água segue por gravidade para o reservatório principal, que tem a finalidade de armazenar a água bruta e possibilitar a sedimentação dos sólidos suspensos presentes.

Do reservatório principal a água é conduzida para as etapas de filtração e cloração. Em seguida é direcionada para o reservatório secundário e, a partir daí, enviada para uso na irrigação e lavagem de pisos, através de duas bombas de pressurização. O reservatório secundário, além da função de armazenamento da água tratada, funcionará, também, como tanque de contato de cloro.

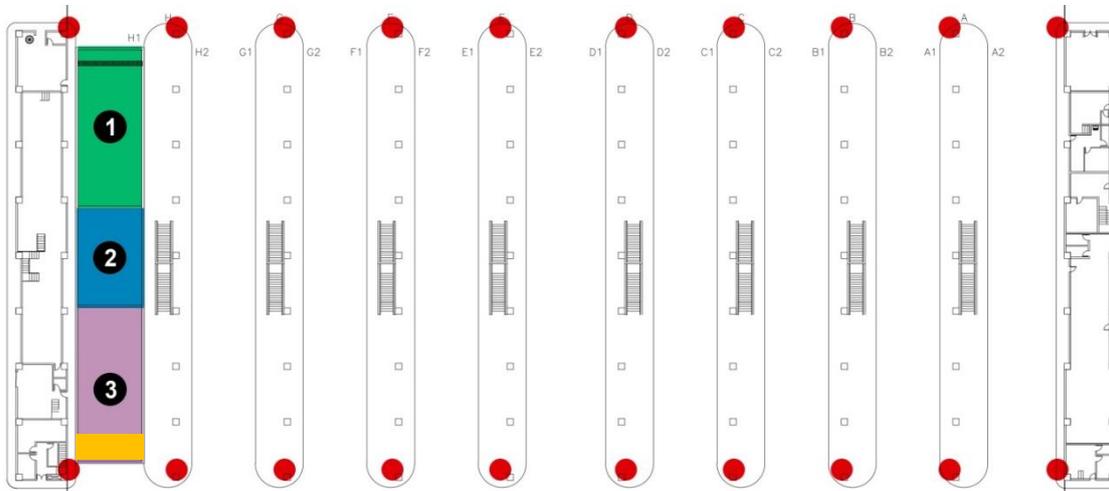
A escolha da área sugerida para a implantação do sistema de armazenamento e tratamento da água pluvial é vantajosa pela proximidade com a casa de bombas geral do edifício, possibilitando assim a concentração desses equipamentos em um único local. Situa-se em um ponto baixo em relação à área de captação das águas pluviais, o que é favorável para seu encaminhamento, por gravidade. O local é de fácil acesso, o que favorece as atividades de operação e manutenção do sistema.

As características básicas do sistema de armazenamento e tratamento da água pluvial proposto são as seguintes:

- 20 unidades de descidas de água pluvial, indicadas em vermelho;
- Grade fina de barras paralelas;
- Reservatório principal de água bruta (número 1, em verde) – capacidade 450 m³, com dimensões de L (largura) 8,00 x C (comprimento) 20 m x P (profundidade) 3,00 m;
- Área necessária para tratamento da água (número 2, em azul) – área de 100 m², com dimensões de L (largura) 8,00 x C (comprimento) 12,5 m.
 - Filtro de pressão, de camada simples de areia. Duas unidades;
- Reservatório secundário de água tratada (número 3, em lilás) – capacidade 450 m³, com dimensões de L (largura) 8,00 x C (comprimento) 20 m x P (profundidade) 3,00 m. Funcionará, também, como tanque de contato de cloro;
 - Cloração: será feita através do uso de pastilhas de cloro;

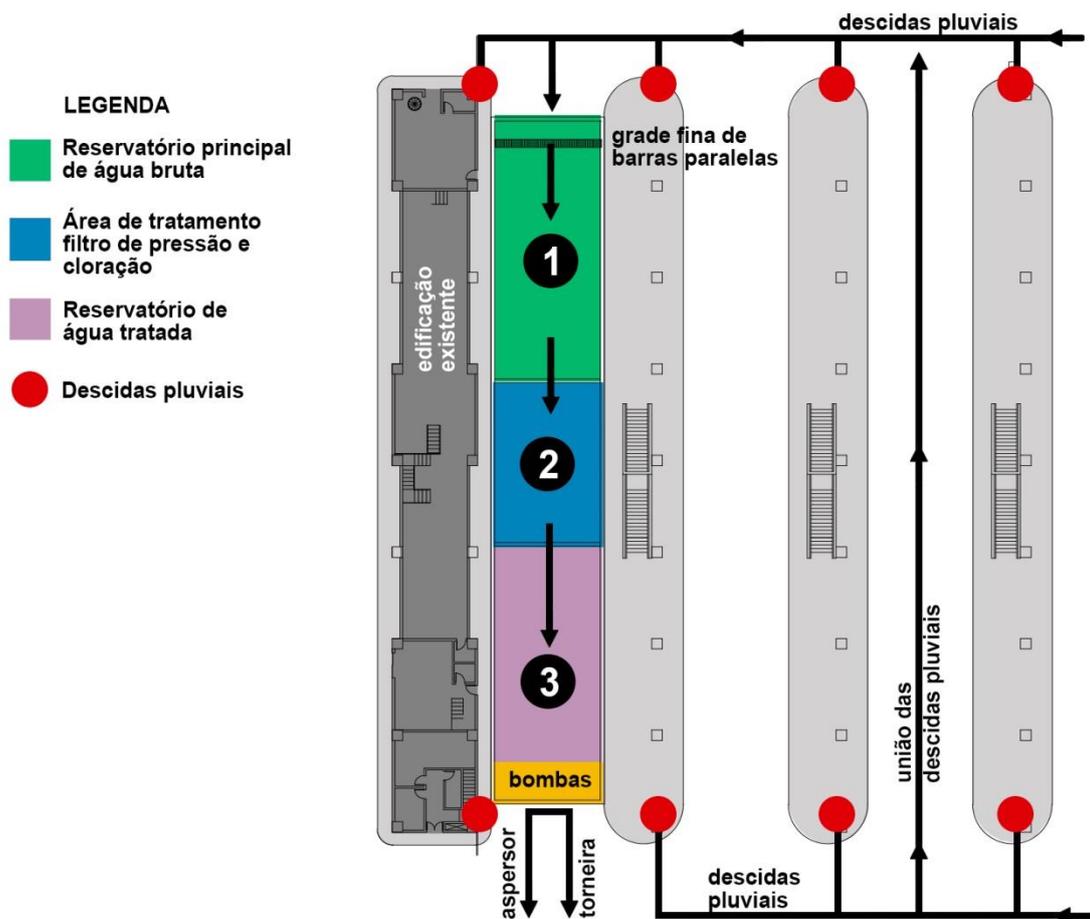
- Bombas: principal e reserva para cada conjunto (irrigação e torneiras as quais fornecem água para lavação dos pisos). A saída da água pode ser controlada através de acionamento manual ou temporizado.

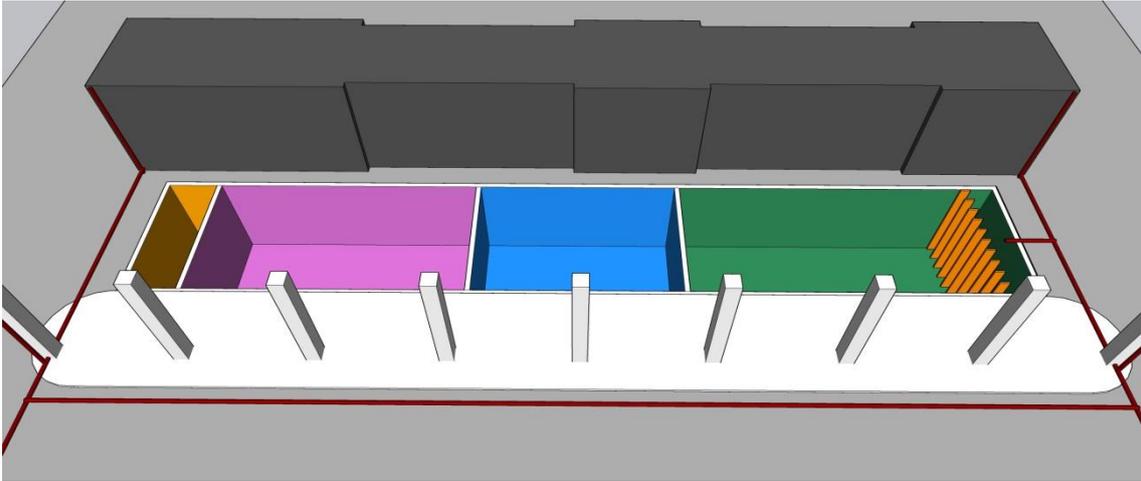
Figura 42 – Layout simplificado do sistema



Fonte: O autor

Figura 43 – Ampliação layout e representação 3D





Fonte: O autor

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção civil apresenta elevado impacto nas três dimensões do Desenvolvimento Sustentável: ambiente, sociedade e economia. É papel do arquiteto sugerir a implementação das soluções sustentáveis em todas as edificações, mitigando os impactos negativos da construção na sociedade atual e originando uma mudança de paradigma no modo como se desenvolve, se utiliza e se mantém o ambiente construído.

No Brasil, apesar da pouca divulgação e do pouco conhecimento dos métodos de construções sustentáveis, as soluções tem se tornado cada vez mais rotineiras. A sugestão de implementação de soluções técnicas sustentáveis em edifícios construídos muitas vezes é considerada não factível, mas deve-se observar a possibilidade de adoção destes métodos, incluindo estas edificações no meio sustentável.

A implantação das soluções sustentáveis apresentadas para o Terminal Rodoviário de Belo Horizonte trará diversos benefícios, tanto à edificação quanto ao seu entorno.

Através da revitalização luminotécnica pretende-se obter boas condições de visibilidade e segurança aos usuários, além de economia de energia. Com a proposta de implementação de placas solares, pretende-se gerar energia própria através de fonte alternativa limpa e renovável, conseqüentemente gerará economia de energia, além da grande durabilidade do sistema.

A cobertura verde é vantajosa e benéfica, pois melhora o microclima da região, possibilita melhor isolamento térmico e acústico na edificação. Além disso, possibilita maior retenção da água das chuvas e melhoria na qualidade do ar. Uma das suas principais vantagens é a diminuição do consumo de energia diante da redução da temperatura interna do ambiente, diminuindo a necessidade de climatização interna.

Soluções como coberturas verdes fazem parte da arquitetura vernacular há séculos como solução para regulação térmica das edificações, retardando a transferência de calor para o ambiente interno e, no inverno, retardando as perdas de calor dos ambientes internos para o exterior da edificação.

A água tem uma influência decisiva na qualidade de vida das populações e é um recurso indispensável à grande maioria das atividades econômicas, como

aquelas ligadas à agricultura e à indústria. Por esse motivo a execução de sistemas de aproveitamento das águas é de suma importância, possibilitando economia e mitigando sua escassez em tempos de crise hídrica.

É uma solução ecologicamente responsável, pois contribui para reduzir o consumo de água potável e ajuda a conter enchentes ao armazenar parte da água pluvial que, caso contrário, iria para rios e lagos.

A sustentabilidade na construção civil de maneira geral depende de mudança profunda na forma como os recursos são utilizados. O objetivo da construção sustentável permeia o equilíbrio dinâmico entre fatores ambientais como qualidade de vida, fatores sociais e fatores econômicos.

Objetiva-se desenvolver soluções para todos os ambientes, principalmente os já construídos, possibilitando a minimização do consumo de energia, proteção e preservação dos recursos de água.

As soluções sustentáveis para o Terminal não se findam através das propostas apresentadas. Melhorias adicionais podem ser adotadas no futuro em busca de uma maior sustentabilidade do edifício, como aproveitamento de águas cinzas, instalação de estações de tratamento de efluentes, o manejo adequado de resíduos, dentre outras.

8. REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.527 – Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 10.152 – Acústica: Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 15.575 - Desempenho de edificações habitacionais**. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 6118 – Estruturas de concreto armado – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ALMEIDA, Renata Ribeiro Guedes de; BRITO, Núbia Silva Dantas; MEDEIROS, Marcus Vinícius Bezerra; SIMÕES, Melyna Candice Silva; OLIVEIRA, Selma Alves de. **Proposição de uma metodologia para análise de viabilidade econômica de uma usina fotovoltaica**. Revista Principia. João Pessoa, Maio 2017.

AMORIM, C. N. D. **Classificação dos componentes para a luz natural**. Notas de aula. FAU/UnB. Brasília, 2002d.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. **Daylighting in Architecture. A European Reference Book**. James and James Editors, London, 1993.

BLEY, Francis Bergmann. **LEDs versus Lâmpadas Convencionais Viabilizando a troca**. Revista Especialize, Maio/2012.

BLUE SOL. **Quantos Painéis Solares Preciso para uma Residência?** Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/quantos-paineis-solares-preciso-para-uma-residencia/>> Acesso em: janeiro 2019.

CASTRO, Iara Sousa; RHEINGANTZ, Paulo Afonso; GONÇALVES, Aldo Moura. **Cognição e percepção visual: a influência da iluminação artificial sobre uma atividade de trabalho realizada em ambiente informatizado confinado**. Abergó, 2006.

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL. **Guia para eficiência energética nas edificações públicas**. Rio de Janeiro: 2014. 229 p.; il.

CEMIG - Cemig Distribuição S. A. **Plano de medição e verificação de performance Terminal Rodoviário de Belo Horizonte**. Belo Horizonte: 2019.

COHIN, E.; G. A.; K. A.; **Captação e Aproveitamento de Água de Chuva: dimensionamento de reservatórios**. IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Bahia, 2008.

CYPRIANO, Altimar. **Iluminação artificial na percepção da arquitetura. Considerações sobre os aspectos quantitativos e qualitativos no processo de projeto.** São Paulo, 2013.

EFFICIENCY VALUATION ORGANIZATION. **Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance. Conceitos e Opções para a Determinação de Economias de Energia e de Água** - Volume 1, 2012.

FRANÇA, José Geraldo Ferreira. **A importância do uso da iluminação natural como diretriz nos projetos de arquitetura.** Pós Graduação em Iluminação e Design de interiores Instituto de Pós-Graduação e Graduação – IPOG Cuiabá/2012.

GARROCHO, Juliana Saiter; AMORIM, Cláudia Naves David. **Luz natural e projeto de arquitetura: estratégias para iluminação zenital em centros de compras.** ENTAC, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo de 2010.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 01 maio 2020.

KOLB, Walter. **Telhados de Cobertura Verde e Manejo de Águas Pluviais.** Simpósio Brasileiro de Captação e manejo de água de chuva. Petrolina, PE, 09 – 11 de julho de 2003.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. **Eficiência energética na arquitetura.** 3a edição. 2014.

LIPTAN, T.; STRECKER E. **Ecoroofs (Greenroofs) – A More Sustainable Infrastructure.** In: **national conference on urban storm water: enhancing programs at the local level**, 2003, Chicago. Proceedings...Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency. 2003. p. 198-214.

MARINOSKI, Deivis Luis; SALAMONI, Isabel Tourinho; RÜTHER, Ricardo. **Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do CREA-SC.** I Conferência latino-americana de construção sustentável X encontro nacional de tecnologia do ambiente construído 18-21 julho 2004, São Paulo. ISBN 85-89478-08-4.

MARTINS, Márcia Viana Lisboa; RUFINO, Raphael Reis. **Análise comparativa das normas brasileiras e americanas para sistemas de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis.** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.5, n.3, p.306-316, 2016.

MAY, Simone. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações** - São Paulo, 2004. 159 p.

MOREIRA, P. F.; MILLIKAN, B. (Org.). **O setor elétrico brasileiro e a sustentabilidade no século 21: oportunidades e desafios.** 2. ed. Brasília, DF: Instituto Socioambiental, 2012. 100 p. il.

PERÉN, Jorge Isaac Montero. **Ventilação e iluminação naturais na obra de João Filgueiras Lima, Lelé: estudo dos hospitais da rede Sarah Kubitschek.** Fortaleza e Rio de Janeiro. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

PORTAL SOLAR. **Tipos de painel solar fotovoltaico.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/>>. Acesso em: 02 de abril de 2019.

RIBEIRO, Gislene Passos. **Conforto Ambiental, Sustentabilidade, Tecnologia E Meio Ambiente: Estudo De Caso Hospital Sarah Kubitschek – Brasília.** III Fórum de Pesquisa FAU. Mackenzie, 2007.

RIGHI, Débora Pedrosa; KÖHLER, Lucas Guilherme; LIMA, Rogério Cattelan Antocheves de; NETO, Almir Barros da S. Santos; MOHAMAD, Gihad. **Cobertura Verde: um uso sustentável na construção civil.** MIX Sustentável. Edição 04, 2016.

SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de; CAMARGO, Ivan Marques de Toledo. **Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais.** Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Brasília – 2006.

TERAMATSU, Jamilly Carolini Lima; JUNIOR, Osvaldo Valarini; JÚNIOR, Acácio Pedro Da Silva, TSUKADA, Jackson; WERONKA, Fernando Marcos. **Influência do telhado verde no conforto ambiental e escoamento pluvial.** Journal of Exact Sciences – JES. Vol.22,n.1,pp.10-13 (Jul - Set 2019).

TOLEDO, Beatriz Guimarães. **Integração de iluminação natural e artificial: métodos e guia prático para projeto luminotécnico.** Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2008.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água da chuva para áreas urbanas e fins não potáveis.** 2. ed. São Paulo: Navegar, 2003.