



Anna Beatriz Pereira Duarte

Fernanda de Campos Tavares

**O uso de estratégias sustentáveis em ambientes
coletivos (Estudo de caso: PUC-Rio)**

Trabalho de Conclusão de Curso

Trabalho apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia Civil na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Orientador: Jaqueline Passamani Zubelli Guimarães

Rio de Janeiro
Dezembro de 2021



Agradecimentos

Aos nossos pais Mônica Duarte e Paulo Duarte; Cláudia Campos e em memória Wandyr de Souza, pelo investimento e incentivo ao longo de todos esses anos, sempre presentes fisicamente ou em pensamento.

Aos nossos familiares e amigos de infância que, longe ou perto, sempre nos deram suporte, amor e demonstraram orgulho por nossas escolhas de carreira, mostrando a definição de para sempre.

Aos nossos colegas de curso que, presencial ou remotamente, foram fonte de parceria e companheirismo ao longo desta jornada. Dentro e fora da faculdade, alguns se tornaram amigos para a vida inteira e tornaram a experiência de cursar Engenharia Civil uma vivência única e especial.

À nossa professora e orientadora Jaqueline pelo tempo, paciência, orientação, ensinamentos e dedicação ao longo deste período.

Aos demais professores que fizeram parte da nossa carreira, construindo nosso senso crítico, raciocínio lógico, conhecimento acadêmico e maturidade profissional.

Aos nossos gestores e colaboradores das empresas em que trabalhamos, que nos prepararam como profissionais e nos despertaram a curiosidade que instigaram a evolução deste estudo.

Por último, gostaríamos de agradecer a todos os profissionais que se prontificaram a nos ajudar ao longo desta iniciativa por via de trocas, dúvidas e consultas a eles questionadas: Professora Patrícia Rodrigues do departamento de Ensino Religioso, que



incentivou e inspirou o estudo de práticas sustentáveis no Campus da PUC-Rio; Professora Ruth Espinola do departamento de Empreendedorismo, que nos motivou a criar novas ideias e encaminhou os principais contatos do NIMA e da Reitoria; Professor Jorge Lucas do departamento de Topografia, que apoiou a ideia e nos enviou o projeto do Campus com todos os dados necessários para escolhas certas ao longo do estudo; ao Professor Flávio Silva de Materiais de Construção, que ensinou sobre Concreto Permeável, incentivou a ideia de aplicação do mesmo na PUC-Rio e dispôs do seu tempo para auxiliar e dar dicas de fontes e estratégias de estudo; ao Professor Tácio Campos, pelo retorno em relação aos questionamentos e interesse em dar continuidade ao projeto; ao responsável pela prefeitura do Campus da PUC, Antônio Fernandes Monteiro Dias, que nos forneceu os dados estimados de consumo de água e energia da universidade e aos outros profissionais que prestaram consultas e ajudaram tirando dúvidas ao longo do processo.

Anna Beatriz Pereira Duarte e Fernanda de Campos Tavares



Resumo

Devido à necessidade de minimizar os alagamentos decorrentes das intensas chuvas que ocorrem em curta duração, assim como a vontade de desvincular a dependência às fontes poluentes para um melhor consumo de energia, a instituição de ensino PUC-Rio foi utilizada como objeto do estudo de caso que visa a implementação de concreto permeável, reutilização de águas pluviais e criação de um sistema de energia solar para a aplicação de sustentabilidade no espaço coletivo. As análises de projeto, de investimento e de retorno foram levantadas para gerar uma provocação do potencial da iniciativa que busca fornecer um legado ambiental imensurável para a universidade.

Palavras-chave: sustentabilidade; universidade; concreto permeável; reutilização; energia solar; viabilidade.



Abstract

Due to the necessity of minimizing floods caused by heavy rains that occur in short duration, along with the desire to unbind the dependence on polluting sources for better energy consumption, the educational institution PUC-Rio was used as the focus of the case study which aims to implement pervious concrete, reuse rainwaters and create a solar energy system to apply sustainability in the collective space. Design, investment and payback analyses have been collected to call attention to the initiative's potential which seeks to provide an immeasurable environmental legacy to the university.

Keywords: sustainability; university; pervious concrete; reuse; solar energy; feasibility.



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Motivação.....	3
1.1.1	Mobilidade Urbana	3
1.1.2	Sustentabilidade na PUC-Rio	8
1.2	Objetivo.....	11
2	ESTUDO DOS DIFERENTES PROCESSOS SUSTENTÁVEIS	13
2.1	Concreto Permeável na Engenharia Civil	13
2.1.1	Histórico	13
2.1.2	Definição	15
2.1.3	Funcionamento	17
2.1.4	Propriedades do concreto permeável	21
2.1.5	Aplicações no Brasil e no mundo	23
2.1.6	Vantagens e desvantagens	26
2.2	Energias renováveis.....	28
2.2.1	Panorama geral	28
2.2.2	Energia solar fotovoltaica	32
2.2.3	Radiação Solar.....	33
2.2.4	Funcionamento	35
2.2.5	Módulos solares.....	37
2.2.6	Inversores.....	38
3	ESTUDO DE CASO	40
3.1	Aplicação de concreto permeável no campus.....	40
3.1.1	CrITÉRIOS de aplicação.....	40
3.1.2	Definição das áreas de aplicação	42
3.1.3	Retirada do pavimento anterior	49
3.1.4	Solução Hydromedia	50
3.1.5	Demais considerações para o projeto executivo	56
3.1.6	Solução com utilização de camada geodrenante	57
3.1.7	Armazenamento e reutilização das águas pluviais	60
3.2	Implantação de sistema solar como fonte de energia	62
3.2.1	Escolha da localização e das características do sistema	62
3.2.2	Dimensionamento do sistema solar fotovoltaico	68
4	RETORNO DO INVESTIMENTO.....	73
4.1	Custo e prazo do projeto	73
4.1.1	Repavimentação com concreto permeável	74
4.1.2	Sistema de armazenamento de água pluvial	76
4.1.3	Captação de energia solar.....	78
4.2	Retorno do investimento.....	81



4.2.1	Água	81
4.2.2	Energia	84
5	CONCLUSÃO	86
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
6	ANEXOS.....	97



ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Regulamentação da taxa de permeabilidade por área do terreno no Rio de Janeiro.....	15
Tabela 2.2 – Comparação entre o concreto convencional e o concreto poroso	17
Tabela 3.1 – Definição dos locais de aplicação do concreto permeável	49
Tabela 3.2 – Variação dos diferentes cenários de inclinação	66
Tabela 3.3 – Dados do consumo de energia da PUC-Rio em 2019	69
Tabela 4.1 – Tabela de custos de equipamentos e serviços do sistema de água	78
Tabela 4.2 – Tabela de custos de equipamentos e serviços do sistema solar	81
Tabela 4.3 – Tabela de consumo de água na universidade	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Rua Jardim Botânico após temporal no ano de 1966	4
Figura 1.2 – Dependências da PUC após temporal em fevereiro de 2019	5
Figura 1.3 – Bicicletário da PUC em enchente de abril de 2019	6
Figura 1.4 – Situação dos alunos e funcionários da PUC-Rio em abril de 2019.....	7
Figura 1.5 – Ambientes externos da Instituição PUC-Rio	8
Figura 1.6 – Imagem aérea PUC-Rio verde.	11
Figura 2.1 – Concreto permeável x Concreto convencional	16
Figura 2.2 – Pavimento com aplicação de concreto permeável com infiltração total no solo 18	
Figura 2.3 – Pavimento com aplicação de concreto permeável com infiltração parcial no solo	18
Figura 2.4 – Pavimento com aplicação de concreto permeável sem infiltração no solo	19
Figura 2.5 – Camadas pavimento permeável intertravado	20
Figura 2.6 – Pavimentação da BH-Tec utilizando o concreto permeável como alternativa	25
Figura 2.7 – Parque Yanweizhou com Concreto Permeável, em Jinhua, na China.....	26
Figura 2.8 – Matriz Elétrica Brasileira segundo BEN 2020	29
Figura 2.9 – Comparação entre a Irradiação Global Horizontal do Brasil e Alemanha	31
Figura 2.10 – Comparação entre incidência e irradiância entre diferentes superfícies	34
Figura 2.11 – Elementos principais de cada modalidade de geração.....	36
Figura 2.12 – Estruturas dos módulos fotovoltaicos	37
Figura 3.1 – Bicicletário da PUC-Rio.....	42
Figura 3.2 – Áreas de tráfego leve na PUC-Rio	43
Figura 3.3 – Calçada do Edifício Leme.....	44
Figura 3.4 – Restaurante Couve-Flor localizado na PUC-Rio	45
Figura 3.5 – Vista Satélite Bicicletário PUC-Rio.....	45
Figura 3.6 – Área do Bicicletário considerada para aplicação da solução	46
Figura 3.7 – Vista Satélite Calçada Edifício Cardeal Leme PUC-Rio	46



Figura 3.8 – Entrada principal do Edifício Cardeal Leme	47
Figura 3.9 – Extensão total em vermelho da aplicação do concreto permeável.....	47
Figura 3.10 – Área de entrada do restaurante Couve-Flor.....	48
Figura 3.11 – Área de lazer próximo à Igreja, anteriormente como Departamento de Artes e Design.....	49
Figura 3.12 – Aplicação Hydromedia Colorido.....	52
Figura 3.13 – Aplicação Hydromedia	52
Figura 3.14 – Redução de poças com a solução de concreto permeável	53
Figura 3.15 – Entrada de acesso de veículos pesados	54
Figura 3.16 – Mac Drain do tipo 2L fornecido pela Maccaferri	58
Figura 3.17 – Disposição de camadas com Mac Drain 2L	58
Figura 3.18 – Solução para condução da água drenada	59
Figura 3.19 – Esquema do trajeto da água através da solução	60
Figura 3.20 – Esquema de armazenamento e reutilização das águas pluviais.....	62
Figura 3.21 e 3.22 – Telhado Edifício Kennedy	64
Figura 3.23 – Área disponível para implantação dos módulos fotovoltaicos.....	65
Figura 3.24 – Localização do Edifício Kennedy	65
Figura 3.25 – Irradiação Solar de acordo com os diferentes ângulos propostos.....	67
Figura 3.26 – Áreas para a disposição dos módulos fotovoltaicos	70
Figura 4.1 – Perfil do pavimento asfáltico	75
Figura 4.2 – Brita para composição da camada de base.....	76
Figura 4.3 – Cisterna 3000l	77
Figura 4.4 – Modelo escolhido para os painéis solares	79
Figura 4.5 – Inversor escolhido para o sistema de energia solar.....	79
Figura 4.6 – Cabos solares fotovoltaicos de 6mm ²	80



1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil possui grande destaque pela capacidade de gerar maior qualidade de vida ao realizar mudanças no ambiente. No entanto, a intervenção acelerada trouxe impactos indesejados, principalmente em relação ao consumo excessivo de recursos naturais, emissão de gases poluentes e geração de resíduos.

Segundo o Conselho Internacional da Construção (CIB), as atividades da área são as que mais consomem matéria e utilizam energia de forma acentuada. Sabe-se que pelo menos um terço dos recursos naturais são consumidos no planeta pela construção civil (SIENGE, 2021).

No Brasil, a quantidade de entulhos gerados pelo setor diariamente equivale a aproximadamente 290,5 toneladas, considerando que apenas 21% destes são reciclados (Gazeta do Povo, 2019). Portanto, a contribuição na interferência desordenada ao meio ambiente é significativa. Outros países, como Estados Unidos, Reino Unido, Holanda e Dinamarca, já contam com uma taxa superior a 70% em relação à reciclagem dos resíduos da construção civil (Moraes; Lima; Lima, 2021).

Com base nisso, é fundamental que novas estratégias venham sendo pensadas com o objetivo de apresentar estruturas mais sustentáveis e eficientes. Existem diversos critérios que são positivos ecologicamente na construção, como por exemplo a escolha de materiais, a garantia de conforto térmico, acústico e visual e a consideração de mobilidade e de acessibilidade.

Por outro lado, esse conceito vale não só para novos empreendimentos, mas também para espaços que podem melhorar sua operacionalidade. A otimização do desempenho também é uma maneira de diminuir os impactos ambientais decorrentes do uso imprudente e da gestão ineficaz das edificações e do seu entorno.



Diante disso, a aplicação da expressão de desenvolvimento sustentável deve ser compartilhada em locais coletivos para um maior sentimento de pertencimento e bem-estar de todo o público envolvido.

Dentre os desafios encontrados no que tange tal aplicação, a água é um dos aspectos que apresenta um grande paradigma. De um lado, a recorrência de eventos de inundações constitui uma grande preocupação à sociedade, principalmente pelos prejuízos socioambientais ocasionados e pela falta de um sistema adequado de gestão dos recursos hídricos. Ao mesmo tempo, o esgotamento e desperdício da água é um outro fator que causa atenção e implica na necessidade de adaptar soluções que possibilitem a racionalização deste consumo.

Perante o exposto, a utilização de concreto permeável vem se mostrando uma técnica de grande potencial para sanar os pontos mencionados acima. A prática de utilização deste material em locais estratégicos é indicada para conter os problemas de alagamentos a partir da possibilidade de infiltração do escoamento de água para camadas inferiores e permitir o armazenamento do mesmo para reutilização em outra finalidade.

Da mesma forma, os altos padrões de consumo não estão apenas relacionados à água, mas também à energia. Esse comportamento carrega uma necessidade de se buscar por fontes alternativas, que não dependam de recursos não renováveis ou poluentes.

Nesse cenário, a energia solar fotovoltaica é uma grande atração devido às suas características de ser uma fonte limpa, renovável, abundante e com previsão de crescimento em quase 70% para 2021 (CNN, 2021), além de ser economicamente vantajosa.

Segundo o presidente da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, a geração solar tende a superar a fonte hidrelétrica em geração e consumo no país e o desejo



de implantação de sistemas de painéis solares vem crescendo fortemente entre os brasileiros (ABSOLAR, 2019). De acordo com o Portal Solar (2019), o Brasil atingiu a marca de 16º país no ranking mundial em 2019 de maior capacidade instalada de sistemas de energia fotovoltaica, contando com 285.366 conjuntos ligados à rede.

1.1 Motivação

1.1.1 Mobilidade Urbana

A cidade do Rio de Janeiro foi fundada por volta dos anos de 1500 em faixas estreitas de terra, com pântanos, mangues e lagoas apertados entre morros rochosos e o mar e, por esse motivo, apresenta uma geografia propícia a inundações. Além disso, a ocupação desordenada da população nos morros e aterros, as vias mal planejadas, o esgotamento precário e a falta de conservação do poder público fazem com que, em dias de tempestade, as ruas fiquem completamente inundadas e inacessíveis, impedindo a circulação de automóveis e de pessoas e gerando, ainda, a possibilidade de acidentes e mortes, impactando diretamente no meio social e urbano.

Entre 1711 e 2011, os cariocas já passaram por, pelo menos, 16 grandes eventos de inundações de acordo com o histórico do Corpo de Bombeiros (Agência UVA, 2019). Segundo Andrea Maia, professora de História da UFRJ, a expansão acelerada da cidade e o clima úmido proporcionado pela sua localização influenciam a ocorrência desta vulnerabilidade.

A enchente ocorrida em 1966 foi um exemplo, como mostrada na Figura 1.1 abaixo, que apresentou consequências desastrosas para os moradores cariocas, com um total de 250 mortes e cerca de 50 mil pessoas desabrigadas.



Figura 1.1 – Rua Jardim Botânico após temporal no ano de 1966

Fonte: Agência UVA, 2019.

Na época, o Jardim Botânico foi um dos bairros mais atingidos pela chuva, pois as tubulações responsáveis por drenar as águas do rio dos Macacos foram arrebentadas e várias casas foram destruídas. Em 1988, uma enchente que alagou bairros inteiros como Jardim Botânico, Tijuca e Jacarepaguá e causou caos na capital deixou mais de 300 mortos em duas semanas. No ano de 1996, tempestades causaram deslizamentos e alagamentos que mataram 200 pessoas e terminaram em mais de 30 mil desabrigados. Já em 2010, uma chuva provocou quase 100 mortes no Rio. Logo em seguida, em 2011, deslizamentos e alagamentos mataram 918 pessoas e deixaram 30 mil desalojados, além de centenas de desaparecidos nos municípios de Friburgo, Teresópolis, Petrópolis e Sumidouro (G1 Rio, 2019).

Tais notícias e relatos só reforçam o impacto negativo e destrutivo que as tempestades podem ter para a sociedade. Estes casos se alastram por toda a cidade, mas, principalmente, na região da Zona Sul como Jardim Botânico e Gávea, por conta do formato estreito das ruas e ladeiras.

Além disso, nesta região é comum que os rios e canais existentes deságuem no oceano. No entanto, a influência das marés altas e a grande quantidade de resíduos não possibilitam o escoamento adequado da água, gerando, assim, mais inundações.

As chuvas que paralisam toda a região metropolitana do Rio de Janeiro também atingem a PUC-Rio. A faculdade alaga em toda ocorrência de chuva, dificultando e, às vezes, até mesmo impedindo a circulação de alunos.

Em fevereiro de 2019, diversas áreas da Zona Sul e Oeste do Rio de Janeiro ficaram em alerta devido às fortes chuvas apresentadas. Na Rocinha, a quantidade de chuva indicada no radar meteorológico daquele dia era semelhante ao valor esperado para o mês inteiro de fevereiro (UOL, 2019).

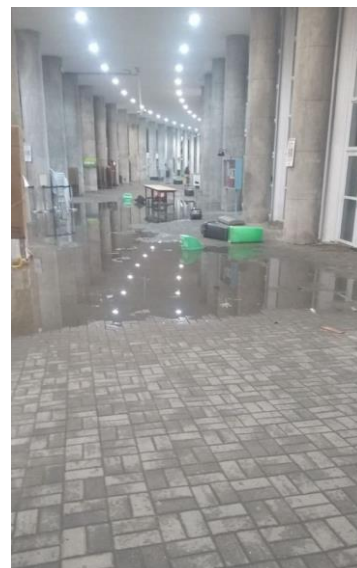
Dentro da PUC-Rio, diversas instalações sofreram com o ocorrido, conforme mostrado na Figura 1.2 abaixo. As áreas externas e internas da faculdade ficaram alagadas, acumulando lama e sujeira para o interior do ambiente universitário.



(a) Entrada da universidade



(b) Área externa



(c) Pilotis do Ed. Cardeal Leme

Figura 1.2 – Dependências da PUC após temporal em fevereiro de 2019

Fonte: Autoria própria, 2019

Novamente, em abril de 2019, a cidade do Rio de Janeiro entrou em estado de crise após episódios de tempestades que deixaram sérios prejuízos. De acordo com a G1 Rio, TV Globo e GloboNews essa foi a maior chuva em 22 anos no Rio de Janeiro.

A tempestade causou sete mortes na Zona Sul, entre elas a avó e neta que foram soterradas em Botafogo (história que prendeu atenção e comoveu grande parte dos cariocas durante alguns dias). Outras três mortes foram identificadas na Zona Oeste, totalizando 10 mortes causadas pelo alagamento e soterramento na cidade, que continuou em estágio de crise por uma semana.

Após o início da chuva, o deslocamento ficou bloqueado e os indivíduos ficaram impedidos de ir para o trabalho ou para a escola. O cenário dentro da instituição da PUC-Rio não foi diferente. Alguns alunos ficaram ilhados dentro da universidade e as aulas tiveram que ser suspensas até que a situação se restabelecesse, incluindo o reparo dos danos internos causados à faculdade (Figura 1.3).



Figura 1.3 – Bicicletário da PUC em enchente de abril de 2019

Fonte: Autoria própria, 2019

De acordo com o Prof. Antonio Roberto Martins Barboza de Oliveira, professor de Hidrologia da PUC-Rio durante anos, o episódio que alagou a universidade em abril de 2019 gerou 320 mm em 24 horas, sendo considerado uma situação com tempo de

recorrência de 42 anos, ou seja, um episódio como este tem potencial para se repetir em 2061. Outro dado interessante passado pelo professor é a PUC-Rio ter um registro anual pluviométrico de 1800 mm, ou seja, apenas em um episódio foi registrado aproximadamente 20% do que é, em média, esperado anualmente.

De acordo com a nota exposta no Núcleo de Memória da PUC-Rio, a destruição material e os prejuízos no campus causados pela chuva de 06/02/2019 foram maiores, já que a mesma ocorreu de maneira intensa entre o final do dia e durante a madrugada, horário no qual a universidade já estava vazia.

Já a chuva da noite de segunda-feira, 08/04/2019, foi pior em termos de locomoção, pois havia muitos alunos, professores e funcionários no campus, que ficaram impossibilitados de sair, como demonstrado na Figura 1.4. Com isso, a Universidade disponibilizou espaços para as pessoas aguardarem em segurança e passarem a noite.



a) Área externa durante o temporal; b) Interdição da locomoção dos indivíduos

Figura 1.4 – Situação dos alunos e funcionários da PUC-Rio em abril de 2019

Fonte: Núcleo de Memória PUC-Rio, 2019

1.1.2 Sustentabilidade na PUC-Rio

A propagação da sustentabilidade no ambiente universitário é uma forma de compartilhar com os alunos, professores e funcionários o zelo que existe nesse espaço. Além disso, é uma forma de fomentar que os diversos cursos da universidade tenham um olhar diferencial para esta causa e que continuem compactuando com a mesma ao longo dos seus projetos.

A PUC-Rio é uma universidade extremamente reconhecida pela sua competência e pelo seu legado. Além de ser uma referência acadêmica, a preocupação em se tornar um espaço ecologicamente favorável sempre esteve presente dentro do campus. Este aspecto é prontamente declarado pelo ambiente verde e visivelmente agradável que existe ao longo de sua estrutura, comprovado pelas Figura 1.5.



a) Área externa do Ed. Kennedy



b) Bosque da PUC-Rio

Figura 1.5 – Ambientes externos da Instituição PUC-Rio

Fonte: Assessoria de Imprensa PUC-Rio, 2017

Na prática, os registros de tentativas sustentáveis começaram em 1999, quando o reitor da PUC-Rio, Pe. Josafá Carlos de Siqueira SJ, decidiu fundar o Núcleo Interdisciplinar de Meio Ambiente – NIMA, com o intuito de ser o ponto de debates sobre as questões socioambientais e tendo até hoje como missão deixar a marca da PUC-Rio em meio ambiente na esfera nacional e internacional, contribuindo através da ciência e



da educação para o desenvolvimento sustentável, visando estreitar a relação entre a Universidade, o meio, a natureza e a sociedade (NIMA PUC Rio, 2021).

Desde a sua fundação, a organização vem realizando projetos em parceria com instituições nacionais e internacionais. De acordo com o NIMA (2021), entre as propostas estão: a troca de asfalto das ruas do estacionamento para facilitar a drenagem natural de água; uma tecnologia de filtragem que permite a reutilização dos recursos hídricos; a implantação de programas que integrem as fontes naturais de energia às alternativas como eólica e solar; o monitoramento detalhado dos gases produzidos nos laboratórios da Universidade; e a criação de um centro de reciclagem.

Depois do NIMA, segundo publicação da PUC-Rio (2010), a segunda atitude relevante ocorreu em fevereiro de 2010, quando a PUC-Rio publicou uma agenda ambiental, na qual deixou explícito o objetivo e preocupação da universidade com o meio ambiente frente às crises ambientais.

De acordo com o exposto pelo reitor Pe. Josafá Carlos de Siqueira SJ, a criação da agenda é uma expressão representativa de um esforço coletivo da instituição em buscar opções sustentáveis em curto, médio e longo prazos. A Agenda Ambiental da PUC-Rio é vista de forma que todos os temas compõem uma estratégia comum para a implantação de um sistema sustentável no meio ambiental e solidário no campo social (PUC-Rio, 2010)

Ainda de acordo com a PUC-Rio (2010), seguindo os princípios da agenda, as diretrizes e objetivos para materiais, resíduos, água, ar, energia, biodiversidade e educação ambiental devem estar em harmonia para a construção de uma cultura que contemple tanto os valores ideais de um consumo mínimo, quanto ao empenho de



reaproveitamento dos recursos renováveis e não renováveis presentes no Campus da universidade.

Dessa forma, a proposta de uma Agenda Ambiental reforça o interesse da universidade em manter os compromissos sociais e ambientais, tanto no âmbito local como também na esfera global.

No âmbito da energia, a PUC-Rio já tinha estipulado como metas: incentivar campanhas de conscientização do uso racional e sustentável de energia no Campus; estimular o uso de sistemas de captação de energia solar e produzir um mapeamento do consumo de energia, dos equipamentos utilizados e da energia solar incidente no Campus.

Já no âmbito da água, as metas consistiam em: facilitar a drenagem natural do Campus através de uso de pisos aerados, evitando o escoamento superficial de água causado pelo asfaltamento; utilização de tecnologias de filtragem visando à reutilização dos recursos hídricos e criando um sistema hierarquizado de utilização do recurso; utilização de tecnologias que permitam captação, armazenamento e uso das águas provenientes de precipitação, considerando os possíveis eventos climáticos extremos resultantes das mudanças climáticas (PUC-Rio, 2010).

Até hoje a universidade mantém as expectativas em aberto para o alcance das metas estabelecidas, sendo claro o interesse da PUC-Rio em implementar medidas que auxiliem nesses objetivos, na tentativa de tornar o meio universitário ainda mais sustentável.

Além do NIMA e da Agenda Ambiental, a PUC-Rio disponibiliza diversas atividades para os alunos na intenção de estimular a conscientização perante o meio ambiente.

Nas plataformas de comunicação da universidade (ECO A PUC-Rio, Comunicar etc.) é disponibilizado uma aba para falar somente dos assuntos voltados para o Meio Ambiente. A Figura 1.6 mostra o ambiente universitário verde retirado diretamente do

site Comunicar. Também vale destacar que todo ano, durante a semana do Meio Ambiente, são realizadas diversas palestras envolvendo os alunos.



a) Ponto de vista 1



b) Ponto de vista 2

Figura 1.6 – Imagem aérea PUC-Rio verde.
Fonte: COMUNICAR, 2021

1.2 Objetivo

Diante às motivações apresentadas, tem-se como objetivo a elaboração de um estudo que atenda aos dois âmbitos, solucionando os problemas ocasionados pela dificuldade de mobilidade urbana quando da ocorrência de fortes chuvas e alagamentos e, ao mesmo tempo, atendendo algumas demandas propostas na agenda ambiental da PUC-Rio, saciando a tentativa de fazer do meio universitário um ambiente ainda mais sustentável.

A aplicação de estratégias sustentáveis na PUC-Rio começa com a utilização de concreto permeável (*pervious concrete*) em áreas estratégicas do Campus, ou seja, áreas em que o escoamento de água será mais abundante e, consequentemente, com esta proposta irá gerar menos acúmulo de água na superfície e uma retenção maior subterrânea. Será estudado, também, a implementação de um sistema de captação de água subterrâneo para que, a partir do acúmulo das águas de chuva, seja possível realizar um processo de reaproveitamento e reuso no próprio ambiente universitário.



Paralelo a isso, será apresentado também um estudo de fontes de energia renováveis, para que seja aplicado no Campus um sistema solar fotovoltaico, aproveitando o recurso do local e tornando-o ainda mais positivo ambientalmente.

Dessa forma, atendendo à água e à energia, este estudo se mostra como uma opção harmônica no âmbito social, melhorando significativamente a mobilidade urbana, além de poder proporcionar redução de custo para a universidade.

Por fim, será avaliada a viabilidade do espaço coletivo considerando todas as aplicações feitas e impulsionando, assim, a criação de um projeto específico através do estudo apresentado, ressaltando a marca ambiental que ele fornecerá à universidade.



2 ESTUDO DOS DIFERENTES PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

Neste capítulo serão estudados e aprofundados os principais temas que protagonizam o Estudo de Caso.

Primeiro, será contextualizado o concreto permeável, abordando o histórico de quando se tornou um material de referência, particularidades, definição, características técnicas, malefícios e benefícios e suas principais aplicações.

Em segundo lugar, serão abordados os conceitos de energia e toda a revisão de literatura que envolve o crescimento e a aplicabilidade da fonte solar, mostrando seus diferentes tipos, princípios e equipamentos envolvidos, fornecendo subsídios de como esse sistema pode contribuir para o meio ambiente.

2.1 Concreto Permeável na Engenharia Civil

2.1.1 Histórico

Após a Segunda Guerra Mundial, muitos danos às unidades habitacionais foram deixados em toda a Europa. Nesse sentido, novos métodos de construção ou aqueles que não eram tão usuais foram incentivados como possíveis estratégias para a reconstrução das cidades.

Dentre as possibilidades, o uso do concreto permeável começou a ter seus primeiros passos de aceitação, principalmente pela escassez na oferta de tijolos e outros materiais de construções e grande disponibilidade de agregados graúdos, no processo de atender a demanda do público para reconstrução das residências (AlShareedah and Nassiri, 2021).

Na década de 70, países como Estados Unidos, França, Suécia e Japão passaram por um grande aumento populacional no período pós-guerra e à medida que a população crescia, o número de construções e a disponibilidade de áreas permeáveis diminuía.



Tendo em vista essa problemática, o concreto permeável surgiu como uma solução. Pela primeira vez, foi recebido com bastante interesse pelos consumidores desses países, justamente pela necessidade de ter uma opção mais segura e confiável de pavimento para os tempos chuvosos, além de contribuir para um aumento das áreas permeáveis dentro de grandes cidades (Tecnosil, 2019).

No final dos anos 70, agora com o nome genérico de concreto permeável (*pervious concrete*) ou concreto poroso (*porous concrete*), sua capacidade de infiltração se tornou foco de estudos. Atualmente EUA, França e Japão são os países onde essa tecnologia é mais disseminada, pois a solução já vem sendo desenvolvida há mais de 70 anos nesses locais.

Conhecendo os benefícios que o concreto permeável pode oferecer, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) desenvolve, desde 2007, pesquisas sobre o material para o uso em pavimentação, como solução dos problemas relacionados à impermeabilização do solo nos grandes centros urbanos (Tetracon, 2015).

Atualmente, em grande parte das cidades brasileiras, é exigido que uma porção de cada terreno, seja ele privado ou público, permita a permeabilidade da água e a penetração da mesma no solo (Fecchi Engenharia, 2021). Esta exigibilidade é controlada através da taxa de permeabilidade em função da área do terreno. No Rio de Janeiro, o decreto 38057 publicado em 2013 estabeleceu as seguintes condições de acordo com a Tabela 2.1 para garantir a permeabilidade do solo por área livre de lotes de pavimentação ou de construção em qualquer nível:



Tabela 2.1 – Regulamentação da taxa de permeabilidade por área do terreno no Rio de Janeiro

I –						
Área do terreno (m ²)	≤ 360	> 360 e ≤ 1000	> 1000 e ≤ 2.000	> 2000 e ≤ 5.000	> 5.000 e ≤ 10.000	> 10.000
Permeabilidade (%)	20	25	30	35	40	50

Fonte: Prefeitura do Rio de Janeiro, 2013.

2.1.2 Definição

Segundo o ACI (*American Concrete Institute*), o concreto permeável é constituído de cimento Portland, agregados graúdos, água, aditivos e pouca ou nenhuma inclusão de agregados miúdos. Possui grande quantidade de brita e pouca de pasta cimentícia.

Com base nisso, sua principal característica é a alta porosidade, entre 15 e 20%. A presença de diversos poros através da pouca ou nula adição de agregados finos contribui para a existência de vazios. No entanto, esta característica pode impactar diretamente na resistência do mesmo (Li LG, Feng JJ, Zhu J, Chu SH and Kwan AKH, 2021).

Essa grande quantidade de vazios permite a passagem de água, por isso é considerado permeável. É um concreto especial que apresenta *slump* próximo a zero e sua resistência em torno de 3 a 30 MPa é menor quando comparada à resistência de concretos convencionais (20 a 60MPa), já que essa é inversamente proporcional ao número de vazios.

De acordo com Batezini (2013, p. 25), podem ser acrescentados algumas opções de aditivos na composição deste tipo de concreto para que o material obtenha adequadas características, melhorando sua resistência, durabilidade, desempenho e trabalhabilidade.

Fora isso, ressalta-se que as quantidades de água e ligante hidráulico empregadas na composição do concreto permeável são cuidadosamente controladas com a finalidade de

se obter uma pasta que forme uma capa espessa ao redor das partículas dos agregados. Essa característica impacta diretamente na relação água-cimento e consequentemente no *slump* do material.

Na Figura 2.1, nota-se com mais clareza a discrepância entre o concreto convencional e o concreto permeável com relação ao número de vazios pela pouca presença de agregados miúdos.



Figura 2.1 – Concreto permeável x Concreto convencional
Fonte: Universidade Federal do Espírito Santo, 2019.

Segundo Monteiro (2010), é possível perceber as principais diferenças entre os dois tipos de concreto através da Tabela 2.2. Enquanto o concreto convencional apresenta alta resistência, significativa adição de areia (30 a 50%) e é bem graduado, o concreto permeável apresenta características inversas e incorporação de aditivos como retardador de pega, redutor de água e incorporador de ar.



Tabela 2.2 – Comparação entre o concreto convencional e o concreto poroso

TIPO	Res. Compressão (MPa)	Areia	Brita	Aditivos
CONVENCIONAL	20 a 60 MPa	De 30 a 50 % do agregado total	Bem graduado, grãos arredondados	Opcional
POROSO	3 a 30 MPa	Pouco ou nenhum	Graduação Aberta, grãos angulosos (Brita '0' e pedriscos)	Redutor de água, retardador de pega e incorporador de ar

Fonte: Monteiro, 2010

2.1.3 Funcionamento

O princípio básico de funcionamento do concreto permeável é permitir a passagem rápida da água evitando que ela escoe superficialmente e garantir a infiltração da mesma no pavimento poroso (MARCHIONI, 2013).

É uma estratégia que vem sendo pensada para zonas urbanas, principalmente pela solução atribuída às águas pluviais. Em dias chuvosos, o escoamento é absorvido e acondicionado provisoriamente nas camadas subjacentes do pavimento, podendo ser destinado à infiltração progressiva do subsolo ou seguir um plano de drenagem (AlShareedah and Nassiri, 2021).

De acordo com os estudos sobre o Coeficiente de Escoamento Superficial da UFES (2019), o valor esperado de absorção do pavimento permeável é de no mínimo 60% da água das chuvas. Para fins de comparação, o padrão de absorção é de 20% pelos blocos de concreto convencionais e de 5% pelo asfalto.

Segundo o ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland (2021), pavimentos permeáveis podem ser de diferentes tipos e atuam em diferentes níveis. Um deles se refere aos pavimentos que apresentam apenas revestimentos superficiais permeáveis e com isso,

conseguem reter uma parte da água da chuva que escoar sobre sua superfície, reduzindo a velocidade de escoamento. Há também os pavimentos que são formados por estrutura porosa e que realizam o amortecimento de vazões, que é o que se encaixa o estudo aqui presente com a utilização de concreto permeável. Essa última opção pode se tornar uma terceira alternativa ao incluir dispositivos de facilitação ou impedimento de infiltração.

As Figuras 2.2, 2.3 e 2.4 mostram o funcionamento do pavimento com revestimento de concreto permeável com infiltração total no solo, infiltração parcial e sem infiltração respectivamente. É importante ressaltar que estes esquemas foram apresentados pelo ABCP como referência de projeto, sendo necessário consultar um projetista habilitado para o adequado dimensionamento do mesmo.

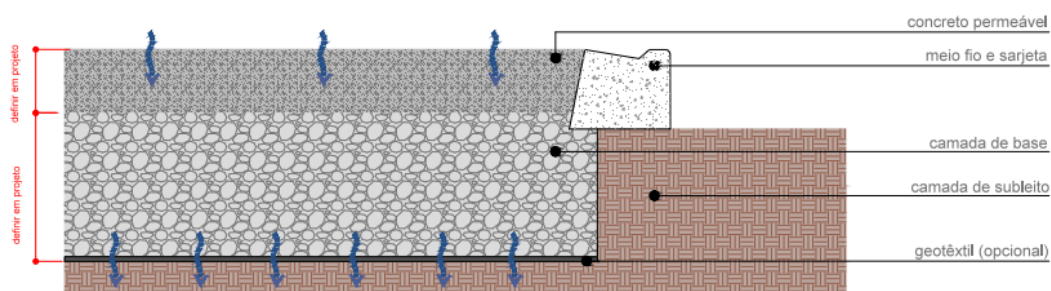


Figura 2.2 – Pavimento com aplicação de concreto permeável com infiltração total no solo

Fonte: ABCP, 2021.

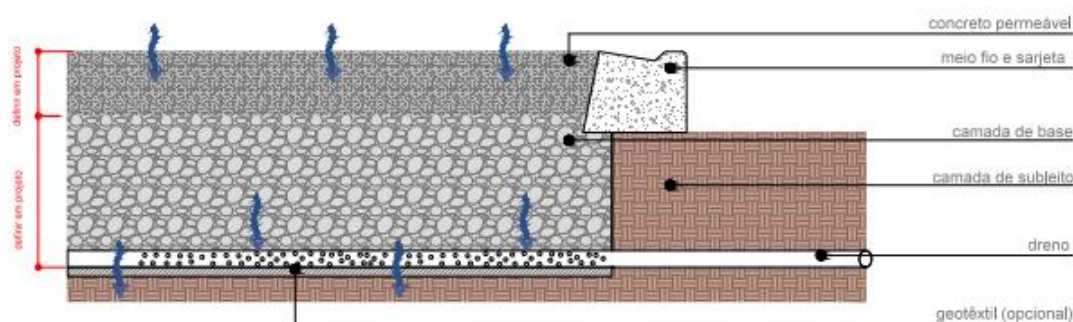


Figura 2.3 – Pavimento com aplicação de concreto permeável com infiltração parcial no solo

Fonte: ABCP, 2021.

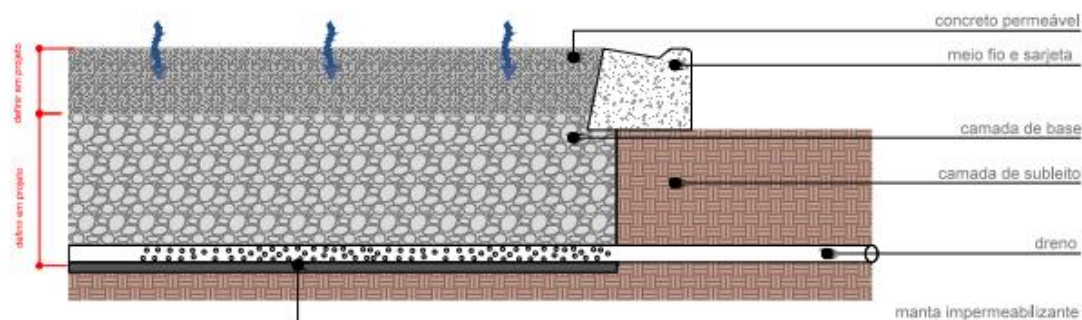


Figura 2.4 – Pavimento com aplicação de concreto permeável sem infiltração no solo

Fonte: ABCP, 2021.

Conforme mencionado, em relação às espessuras de cada camada existente do pavimento permeável, as mesmas devem respeitar as condições específicas de cada projeto. Com base nisso, a abordagem detalhada da disposição de camadas será realizada ao longo do estudo de caso, em que serão apresentadas as características locais e eventuais necessidades.

Finalmente, conforme apresentado pelos detalhes esquemáticos, a água acumulada segue para o destino planejado, seja para o subsolo, se o terreno onde foi feita a fundação da obra é propício para conduzir a água até o aquífero, ou segue para o sistema de drenagem do lote ou da cidade (Mauá, 2017).

É importante salientar que, a utilização do concreto poroso se torna eficaz quando aplicado junto com camadas de base e sub-base com boa qualidade, para que o processo de drenagem possa ocorrer de maneira adequada.

Fora isso, conforme citado anteriormente, existem pavimentos permeáveis que não fazem o uso do concreto permeável. Seguem um princípio similar, mas ao invés de utilizarem o concreto poroso, fazem uso de peças de concreto pré-moldadas em que a infiltração ocorre pelos espaços vazios desses elementos ou pelo espaçamento entre eles.

Na figura 2.5 segue um exemplo do funcionamento desse tipo, também chamado de pavimento permeável intertravado.

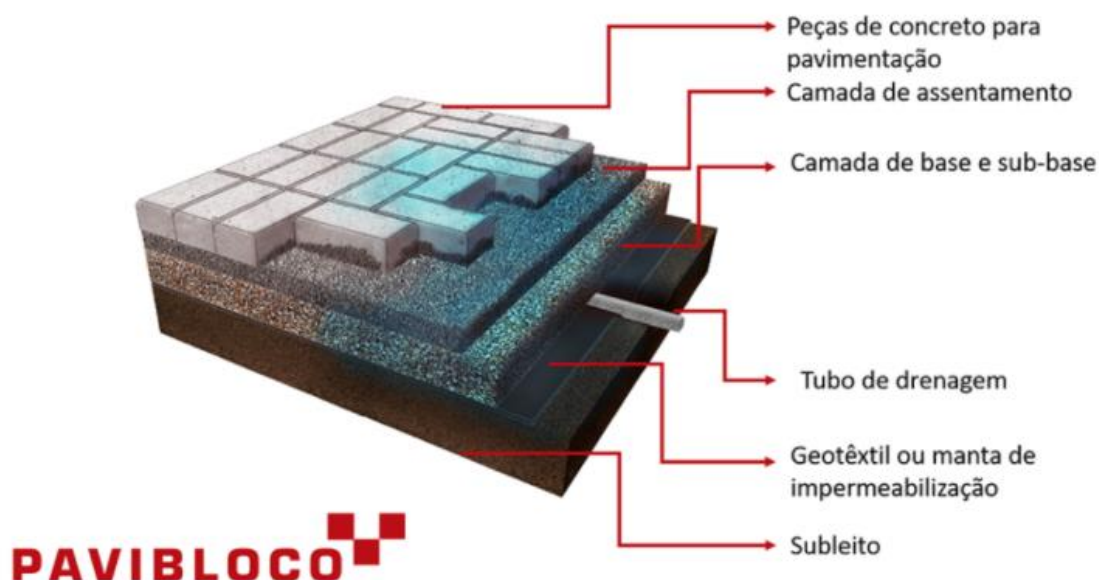


Figura 2.5 – Camadas pavimento permeável intertravado
Fonte: Pavibloco, 2021

Em relação à execução de ambos os pavimentos, estes seguem as mesmas etapas e se diferenciam na fase de aplicação do concreto permeável. Abaixo, são descritos os passos para a adequada execução do pavimento de Concreto Permeável segundo o ABCP (2021).

Primeiramente, faz-se uma limpeza do terreno para a abertura de caixas de pavimentação. Após isso, segue para a terraplenagem do local, compactação do subleito e espalhamento e compactação do solo de reforço com nivelamento. A rede de drenagem é instalada após esses processos e, opcionalmente, pode-se aplicar o assentamento com manta geotêxtil (ABCP, 2021).

Assim, faz-se o espalhamento das camadas de agregados graúdos (brita) seguida da respectiva compactação, permitindo após este ponto do processo a execução das guias e sarjetas.



De acordo com o ABCP (2021), a fase diferencial ocorre a partir deste momento com o espalhamento do concreto permeável de forma rápida e contínua, lembrando que esta colocação deve estar acima da base/subleito úmidos com o objetivo de evitar a perda de água do concreto. Em seguida, é realizado o nivelamento através de régua vibratória ou com régua de alumínio de maneira manual. Deve ser tomado cuidado para não vibrar o concreto excessivamente e gerar entupimento dos vazios, assim como deve ser feito o nivelamento de 15 a 20mm acima das guias para possibilitar a compactação.

De forma rápida, o concreto deve ser compactado através do rolo compactador para finalizar sua consolidação. Como o pavimento de concreto permeável tende a trincar menos que o convencional, é possível dispensar a execução das juntas de dilatação. Ainda de acordo com o ABCP (2021), caso seja feito, o ideal é que elas sejam feitas a cada 6m com profundidade de $\frac{1}{4}$ da espessura da camada de concreto, depois da consolidação.

As juntas podem ser cortadas após 24 horas do lançamento do concreto para evitar a retração. Para finalizar, basta realizar a cura e proteção do concreto fresco imediatamente após a fase anterior, utilizando uma manta plástica como proteção, se possível (ABCP, 2021).

2.1.4 Propriedades do concreto permeável

De acordo com SILVA (2021), são apresentados abaixo os parâmetros mais relevantes no que diz respeito à solução.

- Densidade e porosidade

A densidade do concreto permeável depende das propriedades e das proporções dos materiais usados e dos procedimentos de compactação usados em sua aplicação. Em geral, encontram-se densidades na ordem de 1600 kg/m³ a 2000 kg/m³ e índices de vazios de 15 a 25%.



- Permeabilidade

As taxas de fluxo típicas para a água através do concreto permeável são de 120L/m² /min (2 mm/s) a 320 L/m² /min (5,4 mm/s).

- Resistência à compressão

As misturas de concreto permeável podem desenvolver resistências à compressão entre 3,5 e 28 MPa. Os valores típicos são de aproximadamente 25 MPa.

- Coeficiente de escoamento

É uma característica muito importante a ser considerada na elaboração do projeto visto que a utilização do concreto permeável é feita justamente visando uma diminuição no escoamento superficial. O coeficiente de escoamento é definido como a relação entre o volume total escoado pela seção de controle e o volume total precipitado e pode ser encontrado através da seguinte equação 2.1:

$$Q = ciA \quad (2.1)$$

Sendo:

$Q \rightarrow$ vazão [m³/s];

$c \rightarrow$ coeficiente de escoamento;

$i \rightarrow$ intensidade de precipitação local [mm/min ou m/s];

$A \rightarrow$ área da região estudada [m²].

- Coeficiente de permeabilidade

O coeficiente de permeabilidade indica a velocidade de infiltração de água no solo, referida em m/s (PINTO, 2002). Deve ser verificado antes do lançamento do mesmo.

O procedimento proposto pela ACI 522R-2006 utiliza um permeâmetro de carga variável. O procedimento deve ser repetido três vezes para cada corpo de prova e ao terminar, utiliza-se a média dos tempos de cada experimento.



O coeficiente pode ser determinado através da lei de Darcy da equação 2.2:

$$K = \frac{A_1 L}{A_2 t} \log \frac{h_i}{h_f} \quad (2.2)$$

Sendo:

$K \rightarrow$ coeficiente de permeabilidade [m/s];

$A_1 \rightarrow$ área da seção da amostra [m²];

$A_2 \rightarrow$ área do tubo [m²];

$L \rightarrow$ comprimento da amostra [m];

$t \rightarrow$ tempo [s];

$h_i \rightarrow$ altura inicial [m];

$h_f \rightarrow$ altura final [m].

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (2021), o material consegue atingir um coeficiente de permeabilidade de 0,34 cm/s aproximadamente.

2.1.5 Aplicações no Brasil e no mundo

Dentre as aplicações, já pode ser encontrado em pavimentos de estacionamentos, decks de piscinas, superfícies de parques, quadras de tênis, aterro de pontes, além de estradas e calçadas, especialmente em locais onde existe a passagem de tráfego leve.

No entanto, para a aplicação em grandes rodovias, existem alguns aspectos que precisam ser melhor estudados, como é o caso de possível acúmulo de areia e escombros da estrada que poderiam impedir a correta absorção da água, eventuais problemas estruturais pela passagem de um tráfego mais pesado, além de necessidade de maior detalhamento do fluxo de escoamento (AlShareedah and Nassiri, 2021).

No Brasil, a demanda para esse material é menor comparado a outros países internacionais como os Estados Unidos, França e Japão, isto é, possui menos exemplos de aplicação prática.



A primeira medida feita em território nacional foi uma certificação da Prefeitura do Rio de Janeiro criada entre 2012 e 2013 para incentivar empresas a utilizarem pavimentos permeáveis (UFES, 2019). Em 2013, São Paulo realizou uma especificação técnica sobre uso, aplicação e produção do asfalto poroso. Explicando mais sobre a técnica, em agosto de 2015, a Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT) publicou a norma NBR 16416/2015, que retrata os requisitos e procedimentos de pavimentos permeáveis de concreto, idealizada pelo Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados.

Entre as aplicações já feitas no Brasil há o colchão de areia construído no Porto de Santos, que cobre uma área destinada ao depósito de contêineres com 132.000 m² e possui uma permeabilidade capaz de escoar uma chuva de 36,0 mm/h (DOCTUM, 2013).

As aplicações brasileiras ainda se limitam principalmente às instituições de pesquisa, o que fornece poucos exemplos práticos existentes. No entanto, no Parque Tecnológico de Belo Horizonte (BH-Tec), próximo à UFMG, foi realizada uma grande obra em que o concreto permeável foi utilizado como alternativa na pavimentação do local (Diário do Comércio, 2012). Essa solução foi pensada para captar as águas pluviais e infiltrá-las diretamente no solo, suavizando o sistema de drenagem, conforme mostra a Figura 2.6.

Além disso, desde 2013 Benedito Abbud (arquiteto paisagista) fala sobre alguns projetos de revitalização de calçadas, denominadas de “calçadas vivas”, em São Paulo. Estas calçadas utilizam soluções, incluindo o concreto permeável e outras tecnologias, para facilitar a drenagem e realimentar o sistema de águas subterrâneas.

Sabe-se que as concreteiras possuem condições de produzir e fornecer o concreto permeável, basta a maior aceitação e conscientização das empreiteiras e órgãos públicos nesse sentido, segundo Flávio Capuruçu, delegado adjunto da Abece – Regional de Belo Horizonte.



Figura 2.6 – Pavimentação da BH-Tec utilizando o concreto permeável como alternativa
Fonte: Diário do Comércio, 2012.

Em outros lugares do mundo essa necessidade já vem ganhando mais força, pois o conceito de infiltração das águas pluviais imita o ciclo hidrológico natural e acaba sendo uma solução alternativa e eficaz para os países se adequarem e resistirem às mudanças climáticas.

O Estados Unidos é um exemplo disso através da aplicação de cursos em superfícies. Na Flórida, por exemplo, diversos estacionamentos utilizam o concreto permeável, principalmente pelas grandes tempestades que ocorrem na região. Os engenheiros americanos optam pela retenção no local com o objetivo de reabastecer o sistema subterrâneo e pelo custo ser menor em relação aos pavimentos convencionais, se for considerada a eliminação dos esgotos pluviais com o uso de concreto permeável (ACI, 2010).

Na China, conforme Figura 2.7, o material foi aproveitado no planejamento de uma cidade “esponja” pela grande ocorrência de inundações e para o melhor gerenciamento do sistema de drenagem (AlShareedah and Nassiri, 2021).



Figura 2.7 – Parque Yanweizhou com Concreto Permeável, em Jinhua, na China

Fonte: G1, 2020

O conceito de cidade esponja surgiu justamente na tentativa de diminuir os impactos causados pela chuva (como as enchentes e inundações) e usufruir das vantagens que ela pode oferecer. Entre as medidas adotadas para as cidades esponja estão: parques alagáveis; telhados verdes; calçamentos permeáveis e praças-piscina.

A aplicação é adotada em cidades chinesas, americanas e europeias, mas, a China em particular, abraçou com mais força a ideia principalmente por conta dos acidentes como o de Pequim que ocasionou na morte de 80 pessoas afogadas ou eletrocutadas durante as enchentes e, também, por ter passado por um período intenso de urbanização recente (G1, 2020).

2.1.6 Vantagens e desvantagens

Uma das principais vantagens do concreto permeável é o benefício ambiental no qual agrega, sendo uma alternativa ecologicamente correta para áreas urbanas, tendo ganhado destaque e relevância na indústria da construção civil nos últimos anos, sobretudo por ser reconhecido pelo Conselho de Construções Ecológicas dos EUA (United States Green



Building Council - USGBC) que define o sistema LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) de classificação de construções sustentáveis (Tetracon, 2012).

Além de melhorar o escoamento pluvial, colaborando com os lençóis freáticos e evitando a evolução de enchentes (como já dito anteriormente), a aplicação dessa estratégia também possui a capacidade de melhorar a qualidade da água de corpos hídricos, pois os escoamentos superficiais acabam carregando poluentes e resíduos presentes em ambientes urbanos (óleo, lixo, detritos vegetais, resíduo de pneus etc) e direcionando os mesmos para os rios, causando poluição. Além disso, o pavimento permeável ainda serve como um filtro, pois os rejeitos e poluentes são retidos ao longo do pavimento, sendo assim, a água chega ao lençol freático mais limpa do que estava na superfície (ESTEVES, 2006; TENNIS; LEMING; AKERS, 2004).

Um outro ponto é que para ambientes urbanos, a opção de concreto permeável também auxilia na diminuição do fenômeno das ilhas de calor, visto que a estrutura porosa e coloração mais clara do concreto (em relação ao asfalto) colaboram para a redução do aquecimento urbano e geram, conseqüentemente, um ambiente termicamente mais confortável. Nas vias, inclusive, pode facilitar a visualização de motoristas à noite, já que a coloração mais clara acaba sendo mais reflexiva (FERGUSON, 2005).

Por último, a aplicação do concreto permeável é bastante utilizada para estacionamentos pois diminui as áreas de retenção de água, reduz a aquaplanagem e diminui o ruído ocasionado entre o pneu e o pavimento (ACI, 2010).

Já em relação aos pontos desafiadores que essa nova tecnologia encontra, tem-se o fato de que o concreto permeável ainda fica restrito ao uso em locais de tráfego pesado, além de ser necessária uma equipe especializada para realizar sua aplicação.



Segundo a norma ACI 522R-10, o tempo de cura do material é mais extenso em relação ao concreto convencional. Também possui sensibilidade em relação ao teor de umidade e precisa de cuidados com determinados tipos de solo (expansivos, etc) e com o nível das águas subterrâneas. Por fim, ainda é necessária a maior padronização da metodologia de seus ensaios.

Além disso, uma das principais desvantagens da aplicação de pavimentação com o concreto permeável é a necessidade de manutenção periódica, que de acordo com alguns pesquisadores não deve ultrapassar a periodicidade de 6 meses para que se possa assegurar as características do material.

A manutenção deve ser feita regularmente através de mangueira sob pressão para desentupir as cavidades e, além disso, uma limpeza anual, ou quando for necessário, utilizando aspiração (ABCP, 2021).

A manutenção é necessária devido ao fenômeno de Colmatação, que consiste na obstrução dos poros do concreto por conta da deposição de resíduos de solo e areia e, dessa forma, a permeabilidade é reduzida ou até mesmo neutralizada (UFF, 2018).

2.2 Energias renováveis

2.2.1 Panorama geral

Segundo o Ministério de Minas e Energia, no ano de 2019, o Brasil alcançou a marca de 46,1% de sua matriz energética composta por fontes renováveis, contando com diferentes origens como eólica, solar, hidráulica e bioenergia.

Enquanto a matriz energética contempla todas as fontes capazes de suprir a demanda de energia (geração, movimentação de carros etc.), a matriz elétrica é definida como todas as fontes capazes apenas de gerar energia elétrica (EPE, 2021). No Brasil, o número de

renováveis é ainda mais alto em relação à matriz elétrica. Assim como mostra a Figura 2.8 que possui como base os dados do Balanço Energético Nacional de 2020, a fonte hidráulica é líder e representa 64,9% da geração no país, seguido do gás natural com 8,3%, biomassa com 8,4% e eólica com 8,6%.

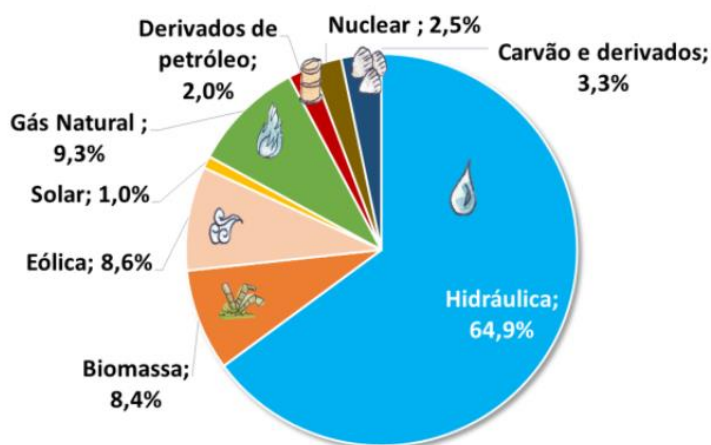


Figura 2.8 – Matriz Elétrica Brasileira segundo BEN 2020
Fonte: EPE, 2021

Sabendo da importância das hidrelétricas para a geração de energia brasileira, é importante salientar que apesar das condições favoráveis que o país apresenta para esta fonte, o recurso já é bem aproveitado e possui baixo potencial de crescimento para os próximos anos (Greener, 2020).

No capítulo anterior, foi abordado o primeiro viés da possibilidade de implantação de solução sustentável com o objetivo de mitigar os efeitos danosos dos grandes volumes de chuvas em curtos intervalos de tempo. No outro extremo, devido às mudanças climáticas, existem períodos de crise de abastecimento das reservas hídricas para geração de energia, oferecendo riscos de apagões no país (Época Negócios, 2021).

Segundo o presidente da ABSOLAR, Rodrigo Sauaia, quanto maior o investimento em outras opções diferentes da hídrica, menor será a compensação da geração com as



termoelétricas e é possível poupar a água para outros momentos e finalidades, ainda de acordo com Época Negócios (2021).

Somado a este ponto, existem aspectos como os impactos dos alagamentos, efeitos ambientais na construção de linhas de transmissão e o próprio gerenciamento dessa transmissão que fazem com que outras fontes sustentáveis venham ganhando destaque como formas alternativas para diversificar a geração de energia brasileira.

Dentre as opções, a energia solar se mostra como uma opção extremamente vantajosa. Segundo o Ministério de Minas e Energia (2020), somente em 2019 a fonte cresceu 92% no país.

Ainda assim, vale destacar que a energia solar possui grande capacidade de expansão, visto que o recurso ainda não é amplamente explorado se for considerado o potencial do Brasil. Privilegiado pela posição geográfica, a incidência mais vertical da irradiação solar assim como a localização próxima à linha do Equador confere ao país um bom recurso solar sem grandes variações durante o ano (EPE, 2016).

Por outro lado, assim como mostrado anteriormente no gráfico da matriz elétrica, a fonte solar só contribuía em 1,0% para a geração de energia elétrica no território brasileiro em 2020 e ao comparar este número com outros países, ainda representa baixa capacidade instalada.

Os mapas da Figura 2.9 confirmam os fatos supracitados, visto que a Alemanha recebe aproximadamente 40% menos de radiação solar que o local menos ensolarado do Brasil, conforme apresentado por Moreia e Souza (2020). De acordo com os dados, a maior incidência solar alemã indica radiação global horizontal de 1200kWh/m², enquanto a região brasileira com menor aproveitamento conta com cerca de 1500kWh/m². Os locais

em destaque no território brasileiro se concentram no Nordeste, mas principalmente na Bahia e noroeste de Minas Gerais.

No entanto, a Alemanha, por meio de políticas de incentivos, apresenta resultados de pesquisas e instalações superiores aos brasileiros tanto de plantas de geração menores quanto maiores, com maior aproveitamento que o território nacional ao contar com tecnologias e métodos eficientes de expansão. Ao final de 2019, o Brasil contava com uma capacidade instalada de 4,4GW de placas solares fotovoltaicas, enquanto a Alemanha já passava dos 40GW registrados (Moreia e Souza, 2020).

Com base nisso, os incentivos governamentais assim como o intercâmbio de tecnologia e ciência podem ser passos promissores para que a capacidade instalada no Brasil atinja valores mais expressivos.

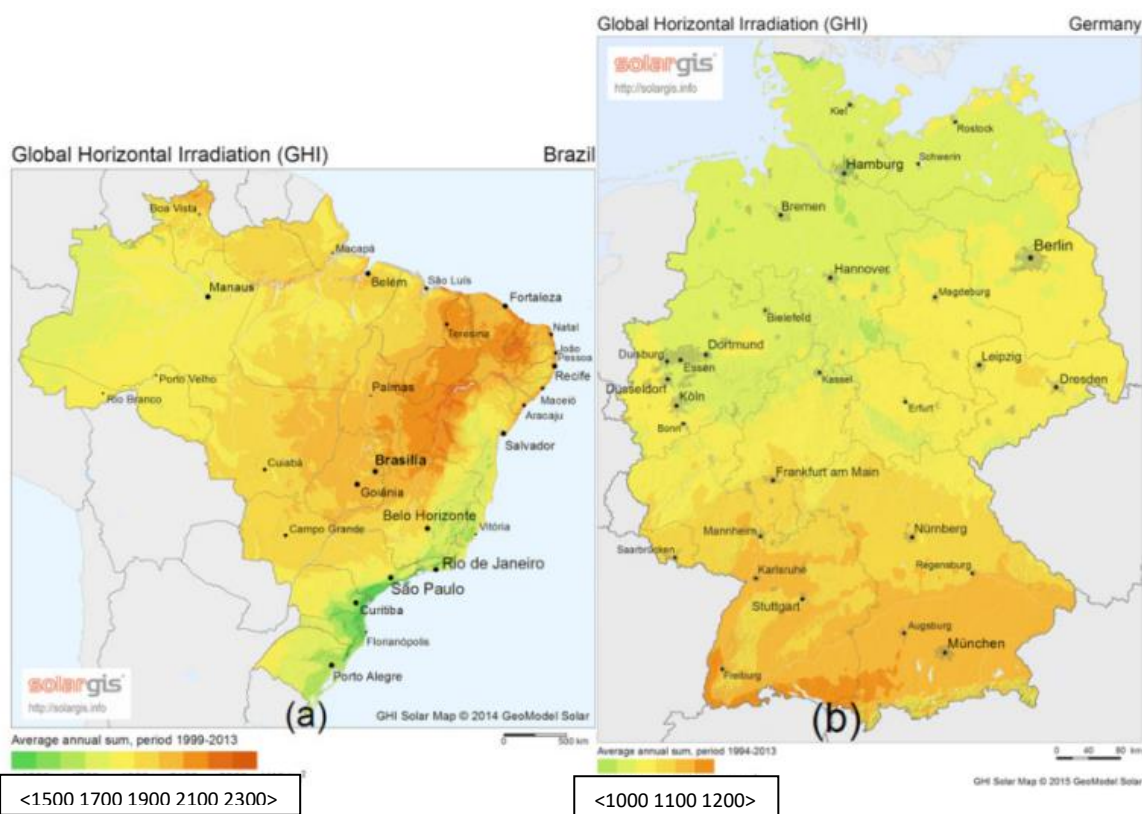


Figura 2.9 – Comparação entre a Irradiação Global Horizontal do Brasil e Alemanha
Fonte: Moreia e Souza, 2020.



2.2.2 Energia solar fotovoltaica

Existem duas formas de geração que possuem como origem a energia resultante do Sol: a heliotérmica e a fotovoltaica. Enquanto a heliotérmica é capaz de aquecer um fluido através do uso do Sol para originar vapor (EPE, 2016), a energia fotovoltaica é definida como a conversão da energia luminosa proveniente do Sol para geração de energia elétrica (Greener, 2020).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016), as primeiras aplicações da energia fotovoltaica foram atreladas ao sistema espacial nos anos 50. Após isso, por volta de 1970, começaram a surgir os sistemas isolados conhecidos como *off-grid* em virtude da crise do petróleo. No Brasil, só começaram a ser aplicados em torno de 1990.

Esses sistemas denominados de *off-grid* não são conectados à rede de distribuição de energia, isto é, são independentes e funcionam com o uso de baterias ou outras formas de armazenamento. São utilizados especialmente em locais de difícil acesso, como ilhas e florestas (ABSOLAR, 2021).

No entanto, o grande destaque da energia fotovoltaica foi quando os sistemas *on-grid* apareceram, que são aqueles conectados diretamente à rede elétrica, principalmente pelas duas soluções possíveis: a geração distribuída e a geração centralizada.

Segundo a ABSOLAR (2021), os sistemas menores, de baixo a médio porte, tendo até 5MW de capacidade instalada estão considerados dentro do grupo de geração distribuída. Contemplam a instalação em unidades residenciais, empresas e prédios públicos, por exemplo. Já a geração centralizada é definida como as grandes usinas geradoras, normalmente distantes do consumo, com plantas de capacidade maior que 5MW.



Existem dois mercados em que essa energia de geração centralizada pode ser comercializada: ambiente de contratação livre (ACL), em que existe a compra e venda de energia em negociação bilateral livre entre as partes (geradores, comercializadores e consumidores livres ou especiais), e ambiente de contratação regulada (ACR), realizadas através de leilões de energia entre os agentes vendedores e os agentes de distribuição (ANEEL, 2021).

Em relação à geração distribuída *on-grid* no Brasil, apenas em 2012 houve a publicação da Resolução Normativa nº 482/2012 pela ANEEL para a micro e minigeração de energia.

Ou seja, a regulamentação do acesso daqueles que geram a própria energia à rede de distribuição só ocorreu a partir daquele ano, permitindo às unidades consumidoras a utilização do modelo *net metering*. Esse processo possibilita a redução da fatura através da injeção de energia na rede, que ao invés de ser remunerada pelas concessionárias, compensa o consumo da unidade em questão (Moreia e Souza, 2020).

A resolução já passou por algumas modificações e revisões, através da REN 687/2015 que entrou em vigor em 2016, possibilitando a expansão de potência, compartilhamento de produção e outros aspectos para melhorar a modalidade de geração.

2.2.3 Radiação Solar

Em relação à radiação solar, existem diferentes planos que podem ser analisados dependendo de como a radiação é recebida, sendo essa análise fundamental para aplicação do sistema fotovoltaico.

A radiação que atinge um plano horizontal (Irradiação Global Horizontal) é a mais importante no aspecto de aproveitamento do recurso, pois esta é formada pela Irradiação Difusa Horizontal e pela Irradiação Direta Normal. A difusa se refere à porção dos raios

solares refletida devido à presença de itens em suspensão como sujeira ou nuvens, por exemplo. Por outro lado, na direta não há reflexões, é a aquela que atinge diretamente a superfície (EPE, 2016).

O recurso solar não pode ser considerado como contínuo, já que leva em consideração uma variação temporal e muda de acordo com a localidade. É importante ressaltar que em cada região o posicionamento e ângulo de incidência vão influenciar na intensidade dos raios solares. Isso ocorre porque a irradiância é dada através da intensidade por unidade de área.

Com base nisso, de acordo com a figura 2.10 a seguir, as superfícies A e B do exemplo recebem a mesma incidência solar, porém a irradiância na superfície B é menor, pois ela possui uma área maior quando comparada com a A.

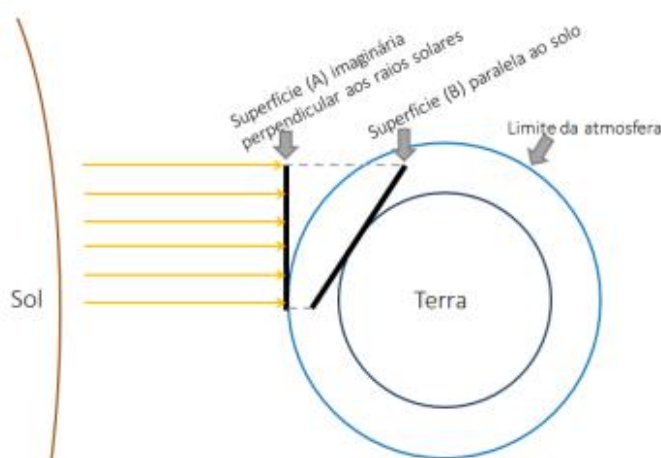


Figura 2.10 – Comparação entre incidência e irradiância entre diferentes superfícies
Fonte: EPE, 2016.

Ainda de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016), uma forma de otimização para melhor aproveitamento solar é realizar a orientação dos painéis fotovoltaicos. Dessa forma, os módulos são posicionados, normalmente, com um ângulo igual à latitude do local, orientado ao norte no hemisfério sul, para que a recepção dos



raios solares ocorra de maneira perpendicular, fazendo com que a variação anual seja reduzida e gerando o máximo de produção de energia possível.

De forma geral, é indicado a adoção de, no mínimo, um ângulo de orientação de 10° para evitar que acumule sujeira, até mesmo em áreas próximas à linha do Equador, em que a variação dos raios solares é menor. Além disso, para facilitar a limpeza natural por meio das chuvas, deve-se observar os índices pluviométricos, se estes são bem demarcados e caso as chuvas ocorram principalmente no verão, o ângulo adotado deve ser maior que a latitude. No caso contrário, maior chuva no inverno, deve ser considerado um ângulo menor que a latitude.

2.2.4 Funcionamento

A captação de energia é realizada através da exposição de painéis solares à irradiação solar. Esses painéis, também definidos como módulos, realizam a transformação da luz do Sol em corrente contínua. Após esse processo, esta corrente é alterada para corrente alternada pelo inversor. Quando há um excesso de geração produzida, esta quantidade remanescente pode voltar à rede elétrica e ser utilizada (geração distribuída). Com base nisso, existe uma compensação de créditos na conta de luz para tais unidades consumidoras (ABSOLAR, 2021).

De forma geral, os equipamentos utilizados tanto no modelo distribuído, quanto no centralizado e nos sistemas isolados são praticamente os mesmos, sendo formados principalmente pelos módulos, inversores e demais componentes elétricos como conectores, cabos e estruturas. No entanto, em sistemas isolados, também existe a utilização de controlador de carga e baterias (Figura 2.11).



Figura 2.11 – Elementos principais de cada modalidade de geração
Fonte: EPE, 2016

O processo de conversão da luz do Sol em energia elétrica tem como suporte o chamado efeito fotovoltaico, que diz respeito à diferença de potencial nas extremidades de um material semicondutor decorrente da exposição à luz, de acordo com a primeira análise em 1839 de Edmond Becquerel (EPE, 2016). Se as duas extremidades forem conectadas a um fio, surgirá a circulação de elétrons – método para o funcionamento de células fotovoltaicas.

Os materiais semicondutores, como o silício, são compostos por átomos que possuem quatro elétrons que se agrupam a vizinhos. Quando existe a introdução de átomos de cinco elétrons de ligação, o elétron remanescente pode facilmente se desvincular e ser liberado para a banda de condução (doação de elétrons n). Da mesma forma, em átomos com três elétrons, existe uma lacuna para a introdução de um elétron vizinho (aceitador de elétrons p).

Em ligações pn , em que ocorre o agrupamento de elétrons livres do lado n e aceitação dos mesmos na porção p , existe a formação de um campo elétrico pelo surgimento de regiões negativamente e positivamente carregadas. Quando a junção pn sofre exposição

a fótons, as cargas são aceleradas na área em que o campo elétrico não é nulo. Dessa forma, ocorre o aparecimento de corrente, gerando também uma diferença de potencial (Teixeira; Carvalho; Leite, 2012).

2.2.5 Módulos solares

O módulo fotovoltaico típico é formado por diferentes elementos, sendo eles células fotovoltaicas, encapsulante, vidro, selante, *backsheet* e moldura, conforme mostrado na Figura 2.12. As células representam extrema importância para o funcionamento solar e são organizadas e revestidas de modo a formar os módulos fotovoltaicos (EPE, 2016).

Os painéis são agrupados em série ou em paralelo e formam arranjos de geração de energia em corrente contínua, conforme já descrito anteriormente.

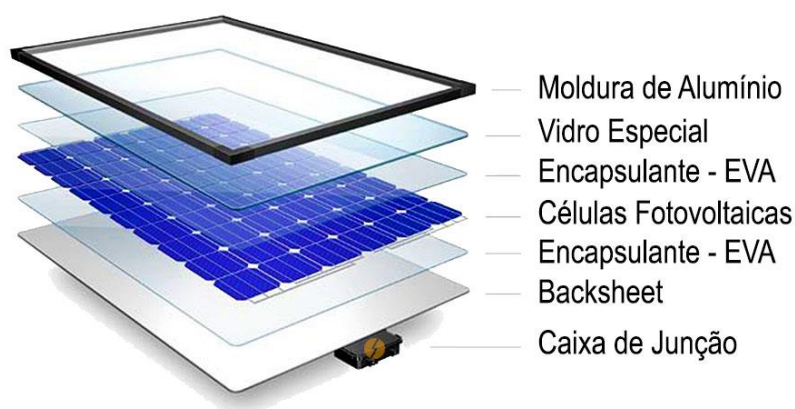


Figura 2.12 – Estruturas dos módulos fotovoltaicos

Fonte: Portal Solar, 2021.

As células fotovoltaicas podem ser de diferentes tipos, mas em sua maioria são fabricadas utilizando silício, podendo ser monocristalino ou policristalino. De acordo com o Portal Energia (2021), as células monocristalinas são mais eficientes por apresentarem uma estrutura organizada, porém sua produção é mais complexa e podem apresentar custos mais elevados.



Também existem células de filme fino constituídas de material semicondutor sob um substrato isolante. No entanto, são mais pesadas, possuem maior degradação e apresentam menor eficiência em relação aos de silício primeiramente mencionados (EPE, 2016).

Outros tipos de células vêm sendo cada vez mais estudados com o objetivo de desenvolver novos modelos que melhorem a eficiência e que possibilitem que os painéis sejam menos rígidos e pesados. A tecnologia PERC, por exemplo, apresenta células fotovoltaicas mais eficientes e usam menos matéria-prima na sua fabricação através da introdução de uma camada de passivação em sua parte traseira (Canal Solar, 2019).

Atualmente, já existem módulos com células bifaciais, ou seja, absorvem a luz através das duas faces com a aplicação de um material transparente capaz de realizar esta função. Outra tecnologia utilizada é a concentração fotovoltaica, baseada na utilização de espelhos ou lentes de forma a concentrar os raios solares nas células, melhorando a performance de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016).

2.2.6 Inversores

Os inversores são os equipamentos responsáveis por alternar a corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada. Dessa forma, a energia elétrica gerada pode ser utilizada nas instalações habituais conectadas à rede.

Existem diferentes tipos de inversores, sendo eles inversores *string*, centrais e microinversores (EPE, 2016).

De maneira geral, os inversores centrais são maiores e utilizados principalmente em plantas centralizadas de geração fotovoltaica. Já os inversores *string*, capazes de serem utilizados em sistemas distribuídos e centralizados, agrupam uma série de módulos através de um equipamento de pequeno porte. Por fim, os microinversores são equipamentos individuais e são desenvolvidas para se congregarem a um único módulo de



forma a maximizar a produção e monitorar sombreamentos e danos de forma separada, sem prejudicar os demais componentes.



3 ESTUDO DE CASO

3.1 Aplicação de concreto permeável no campus

Construído sobre um terreno com áreas íngremes e desniveladas, o Campus da PUC-Rio possui faixas de passagem com grande potencial de redução do escoamento e consequente coleta e armazenamento de água através do uso do concreto permeável.

Como visto anteriormente, este tipo de concreto - chamado internacionalmente de *pervious concrete*, é um material menos resistente que o concreto tradicional, principalmente por conta do maior número de vazios presentes na sua composição. Dessa forma, sua aplicabilidade deve ser cautelosa e definida por profissionais de engenharia aptos para tal dimensionamento.

3.1.1 Critérios de aplicação

Para a pavimentação de concreto permeável no Campus devem ser considerados os seguintes fatores:

- Áreas com topografia irregular contendo bacias são mais propícias a acumular água;
- Observar as áreas que mostraram maior congestionamento com os eventos de chuvas através de documentos e registros fotográficos;
- Zonas de muita movimentação de veículos e/ou alunos exigem maior resistência mecânica e à abrasão superficial por conta da alta circulação, logo devem ser evitadas;
- O concreto permeável exige uma manutenção periódica para a limpeza dos seus poros, portanto, as áreas pavimentadas com este material devem ser de fácil acesso para os funcionários que realizarão esta manutenção;



- Selecionar áreas estratégicas de forma a atingir adequado volume de água através de uma menor pavimentação, gerando maior atratividade para o investimento;
- Considerar a retirada do pavimento existente para a implantação da nova solução de forma a garantir o bom funcionamento da tecnologia.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2021), existem alguns critérios que devem ser levados em consideração para implementação do projeto. Primeiramente, a área da bacia de contribuição, isto é, a área que fará o controle das águas pluviais deve ser menor que 10ha.

Além disso, em relação a declividade do terreno, não são recomendadas região muito íngremes para aplicação pois restringem a aplicação de dispositivos de detenção ou infiltração de água. A inclinação aceitável varia de 5% a 16%, no entanto, recomenda-se proximidade aos 5% por medidas de segurança.

Em relação ao local para descarga da água, qualquer pavimento que utilize a solução deve prever extravasores conectados à rede de microdrenagem, já que podem ocorrer chuvas maiores que as previstas em projeto. Outro ponto importante é que se o sistema tiver interferência com outras redes (água, esgoto e luz, por exemplo), é necessário prever uma realocação das mesmas ou realizar a adaptação do projeto em questão.

A única limitação do pavimento com concreto permeável está relacionada à geometria do local onde será implantado. É fundamental observar se não há grande afluência de esgoto ou sedimentos e lixo no local, pois podem ser necessários maiores tratamentos que podem encarecer o projeto e deixá-lo ainda mais complexo.

Portanto, a decisão das zonas que serão atingidas pela pavimentação com o *pervious concrete* é de extrema importância para o projeto sendo, inclusive, um dos pontos chave para que seja possível viabilizá-lo.

3.1.2 Definição das áreas de aplicação

A definição das áreas foi realizada no primeiro momento através da análise do masterplan da PUC-Rio com todos os níveis topográficos da região. O levantamento topográfico planialtimétrico foi realizado entre outubro de 2008 a fevereiro de 2009 para elaboração de informações geográficas (SIG) do Campus da Gávea e foi disponibilizado pelo professor de Topografia da Universidade.

Além disso, foi realizada uma visita em setembro de 2021 aos principais locais da universidade com o objetivo de inspecionar e decidir quais áreas deveriam ser escolhidas para esta aplicação.

Como um dos pontos mais críticos, o bicicletário, logo na entrada da universidade de acordo com a Figura 3.1, foi o primeiro ponto avaliado, principalmente por ter sido um alvo crítico durante as chuvas de 2019.



a) Entrada principal da universidade



b) Saída do Edifício Frings

Figura 3.1 – Bicicletário da PUC-Rio

Fonte: Autoria própria, 2021.

Após isto, foram observadas áreas que possuem menor circulação de pessoas e tráfego de carros. Com isso, foram avaliadas algumas regiões como estacionamentos, calçadas, entradas dos prédios e áreas comuns/lazer (Figura 3.2).



a) Entrada do Edifício Cardeal Leme



b) Caminho em direção ao bosque



c) Estacionamento próximo ao RDC



d) Área de lazer próxima à Igreja

Figura 3.2 – Áreas de tráfego leve na PUC-Rio

Fonte: Autoria própria, 2021

A partir disso e assumindo os critérios apontados anteriormente, foram definidas as faixas:

- 1) Área do bicicletário por ser um ponto chave da faculdade, de entrada e saída de alunos e funcionários, além de causar grande desconforto na impossibilidade de locomoção com grandes chuvas;

- 2) Área de lazer próximo à Igreja da PUC-Rio (Figura 3.2.d), já que este ambiente já retrata um aspecto mais sustentável pelo seu design e configuração livre e com presença abundante de natureza, além de ser um espaço calmo e de pouca circulação;
- 3) Calçada do Edifício Leme (Figura 3.3) e entrada de acesso ao restaurante couve-flor (Figura 3.4), por serem espaços destinados apenas a pedestres, sem chances de tráfego pesado e pela extensão aplicável.



Figura 3.3 – Calçada do Edifício Leme
Fonte: Autoria própria, 2021.



Figura 3.4 – Restaurante Couve-Flor localizado na PUC-Rio
Fonte: ONG Alimentação Saudável, 2013.

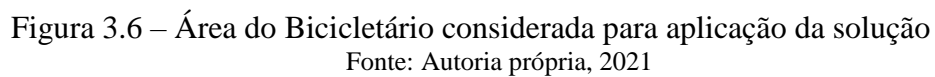
Assume-se uma postura conservadora já que quanto mais estratégicas forem as áreas pavimentadas menor será o custo de obra e investimento inicial para a continuidade do projeto. Com estas faixas pavimentadas, é garantido que não haverá acúmulo de água na superfície, liberando a mobilidade urbana neste trecho e é seguro, também, que grande quantidade de água será coletada e armazenada no sistema subterrâneo.

Foram medidas, através do Google Earth e AutoCAD, as áreas de aplicação escolhidas e citadas anteriormente.

Para o bicicletário, foi considerada uma área de aproximadamente 403 m², conforme delimitado na Figura 3.5 pelo contorno amarelo e na Figura 3.6 através da hachura em vermelho.



Figura 3.5 – Vista Satélite Bicicletário PUC-Rio
Fonte: Google Earth, 2021



An aerial satellite view of the PUC-Rio campus. A yellow line with red square markers at the endpoints traces a path through the buildings. The path starts near the 'Banco 24 Horas' and 'Cardeal Leme Building' at the top, goes south, then turns east to pass the 'Casa da Empada', and finally turns south again. Other labeled buildings include 'Design de Histórias', 'Edifício Cardeal Leme', 'PUC-Rio PUC-Rio', and 'Casa da Empada'. A large green area with trees is visible on the left. The bottom of the image has a copyright notice: 'Image © 2021 Maxar Technologies'.

46

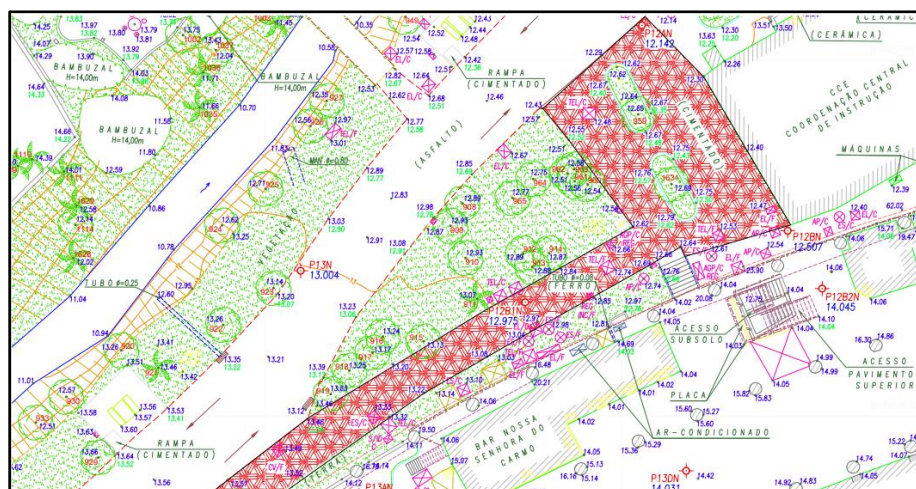


Figura 3.8 – Entrada principal do Edifício Cardeal Leme

Fonte: Autoria própria, 2021.

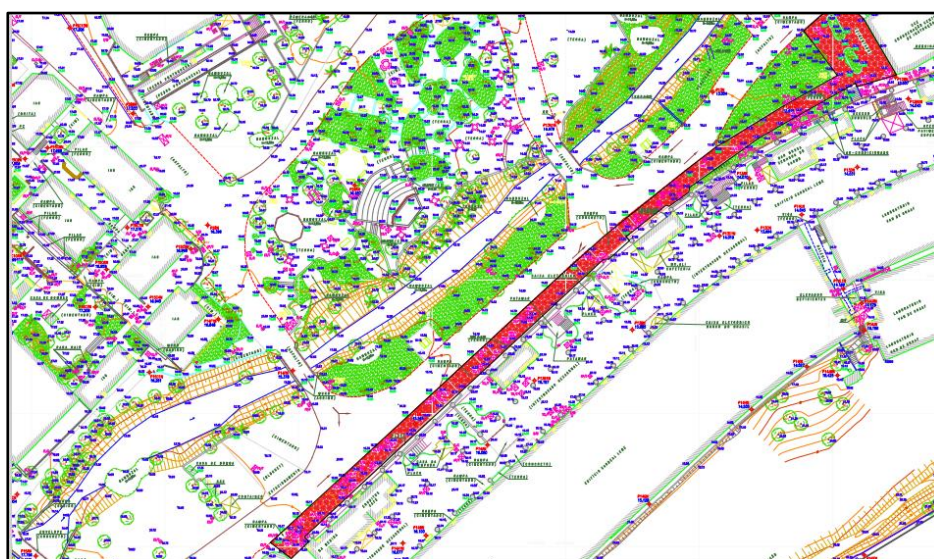


Figura 3.9 – Extensão total em vermelho da aplicação do concreto permeável

Fonte: Autoria própria, 2021

Para as demais áreas escolhidas, o mesmo procedimento foi avaliado. Na entrada do Restaurante Couve-Flor, foi selecionada a área comum que é apenas destinada a pedestres que acessam o próprio estabelecimento e o Edifício Padre Leonel Franca, totalizando uma área de 258 m², conforme a Figura 3.10.

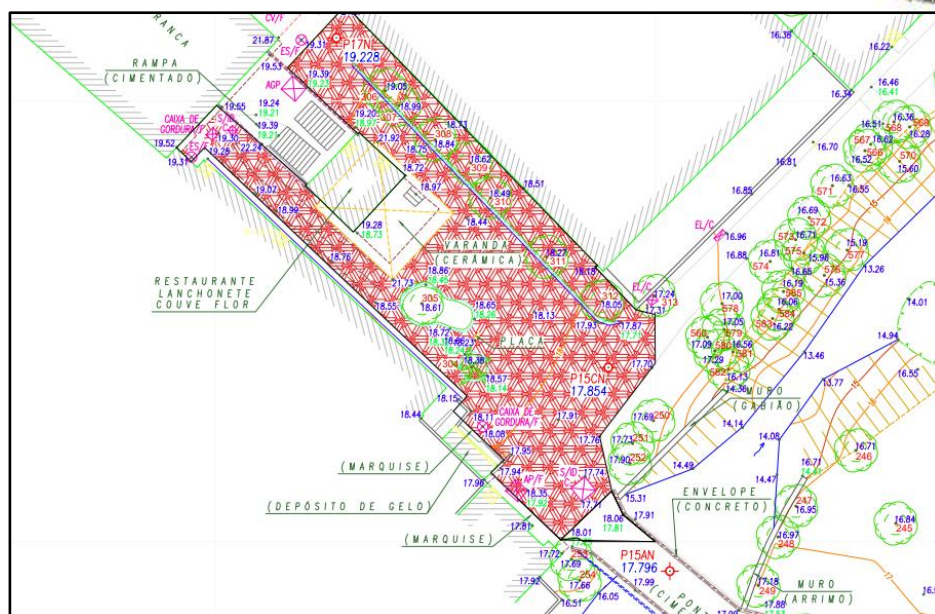


Figura 3.10 – Área de entrada do restaurante Couve-Flor

Fonte: Autoria própria, 2021

No caso da região próxima à Igreja, serão aplicados aproximadamente 300 m². É importante ressaltar que a área de lazer onde será implementada a solução era, anteriormente, o departamento de Artes e Design da PUC-Rio, assim como mostrado na Figura 3.11. Atualmente, as salas de aulas destes cursos não estão mais estabelecidas neste ambiente, que se tornou um espaço de descanso e conforto para os estudantes, professores e funcionários.

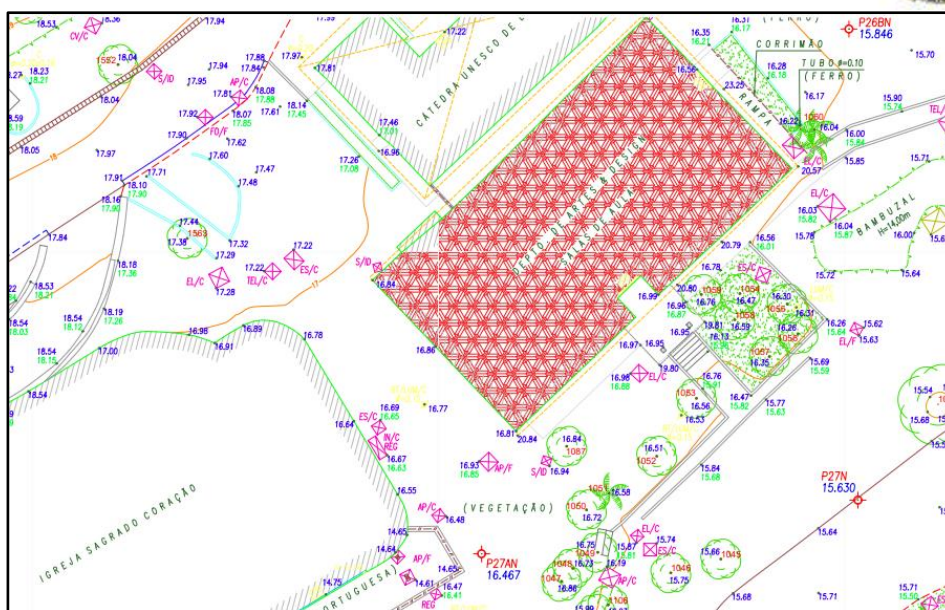


Figura 3.11 – Área de lazer próximo à Igreja, anteriormente como Departamento de Artes e Design

Fonte: Autoria própria, 2021

Ao total, será considerada uma área de 1543 m² para aplicação do concreto permeável, estando detalhado cada um dos locais na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Definição dos locais de aplicação do concreto permeável

DEFINIÇÃO DOS LOCAIS	
Local de aplicação	Área considerada (m ²)
Bicicletário	403,00
Calçada Ed. Cardeal Leme	582,00
Calçada Restaurante Couve-Flor	258,00
Área de lazer próxima à Igreja	300,00
TOTAL	1.543,00

Fonte: Autoria própria, 2021

3.1.3 Retirada do pavimento anterior

Para adequada aplicação e funcionamento do pavimento permeável, é necessário realizar a retirada do pavimento existente. Nesse sentido, considerando a área total implementada, será adotada para este trabalho a remoção de 15cm de espessura da camada superior presente, seja asfalto na região do bicicletário ou concreto nas calçadas e áreas de lazer/ de entrada.



Este quantitativo está sendo estimado neste primeiro momento devido à necessidade de informações mais apuradas do tipo de solo através de furos de sondagem e obtenção de um projeto específico de aplicação do concreto permeável.

Sabendo disso, o volume total da escavação será de aproximadamente 232 m³, representando o total de resíduos que este serviço irá ocasionar. Foram pensadas algumas alternativas para o adequado descarte desse material.

Na primeira oportunidade, foi avaliada a possibilidade de fragmentar a porção total de resíduos e utilizá-los para a base do novo pavimento, respeitando os limites de cota da superfície e assegurando o correto funcionamento da tecnologia, garantindo a infiltração da água precipitada ao longo das camadas subjacentes à camada superior de concreto permeável.

Porém, além da falta de um projeto específico, um ponto relevante é que no Brasil há poucas aplicações práticas implementadas e poucos consultores que poderiam opinar em relação à sugestão anterior que visa corroborar com a utilização do concreto permeável de forma sustentável, sem gerar desperdícios.

Portanto, nesta fase, o estudo de caso levará em consideração que todos os resíduos serão descartados. Entretanto, os mesmos poderão ser armazenados ou reutilizados em áreas de reciclagem como a Koleta Ambiental, que realiza a valorização de resíduos da construção civil. Dessa forma, fica como sugestão para trabalhos futuros um estudo mais aprofundado de como este aproveitamento poderia ser efetivamente implementado, fazendo com que todo o ciclo do processo esteja harmônico ambientalmente.

3.1.4 Solução Hydromedia



Dentre os fornecedores no Brasil que produzem o concreto permeável, foi feita uma análise com a Lafarge Holcim que oferece a solução denominada Hydromedia.

➤ **Vazão de projeto e características da solução**

O produto oferecido pela empresa é um concreto permeável com alta capacidade de drenagem. Contendo 20% de espaços vazios, o Hydromedia permite que a água da superfície percole entre o concreto, atravessando o pavimento.

Outra característica é que possui um coeficiente de escoamento igual a 0,005. Esse coeficiente, também conhecido como coeficiente de *runoff*, fornece a relação entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado (Carvalho e Silva, 2006).

Com base nisso, é possível aferir que grande parte da chuva é absorvida pelo pavimento permeável. Segundo o folder compartilhado pela própria Lafarge Holcim, a água flui pelo piso a alta vazão de 378L/min/m², sendo a espessura mínima indicada de 10cm.

Em comparação com o pavimento asfáltico, o Hydromedia é mais sensível, pois possui limitações que o asfalto não tem. A pavimentação permeável suporta menos em casos de imprevistos de, por exemplo, cargas mais pesadas que as permitidas, aguentando um tráfego moderado de veículos leves, variando de 15 a 25Mpa, enquanto o concreto convencional suporta 30 a 50 Mpa.

Conforme indicação da Lafarge Holcim, a solução permite aplicação de pintura em até 30% da área, podendo ser uma alternativa também de aprimorar o próprio *design* das áreas escolhidas na PUC-Rio, trazendo uma modernidade para o ambiente.

Seguem exemplos de aplicação do Hydromedia nas Figuras 3.12, 3.13 e 3.14:



Figura 3.12 – Aplicação Hydromedia Colorido
Fonte: LaFarge Holcim, 2015



Figura 3.13 – Aplicação Hydromedia
Fonte: LaFarge Holcim, 2015

HYDROMEDIA

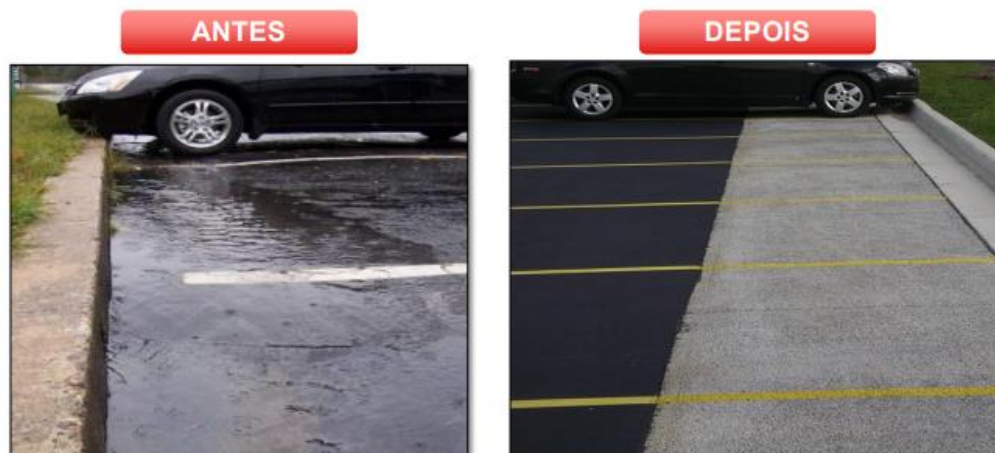


Figura 3.14 – Redução de poças com a solução de concreto permeável

Fonte: LaFarge Holcim, 2020

➤ Desenvolvimento do projeto e aplicação

Uma das características a serem definidas nesse processo é o traço do material. Para a construção civil o traço representa a quantidade de cimento e agregados, sempre na sequência: *cimento*; *agregado miúdo* (normalmente areia); *agregado graúdo* (normalmente brita). Essa relação é encontrada através do número de vazios desejados, pois quanto maior a quantidade de agregado miúdo mais “preenchido” fica o concreto, e menor é o seu número de vazios. A própria Lafarge Holcim fica responsável pelo desenvolvimento do traço do concreto e demais aspectos relacionados às características de resistência.

Com exceção da área do bicicletário, os locais escolhidos não permitem tráfego pesado, fazendo com que a aplicação do material seja mais fácil, não sendo necessário um estudo prévio aprofundado do solo. Superficialmente já seria possível averiguar as condições locais para implementação. Inclusive, a interdição dessas áreas para a realização da obra não apresentará grandes dificuldades, permitindo o planejamento da logística de circulação.

A situação mencionada anteriormente não se aplica para todas as áreas. Em relação ao local de entrada e saída, ao redor do bicicletário, existe a possibilidade de circulação de veículos mais pesados, como ônibus ou caminhões. No entanto, como esta é uma área crítica em relação à motivação inicial de contornar os eventos de alagamentos, será adotada uma restrição em relação ao tráfego existente. Neste ambiente, só será permitida a passagem de pedestres e veículos leves. Os outros tipos de transporte deverão utilizar a outra entrada da universidade, isto é, através do acesso após o portão do estacionamento, conforme circulado em azul na Figura 3.15.

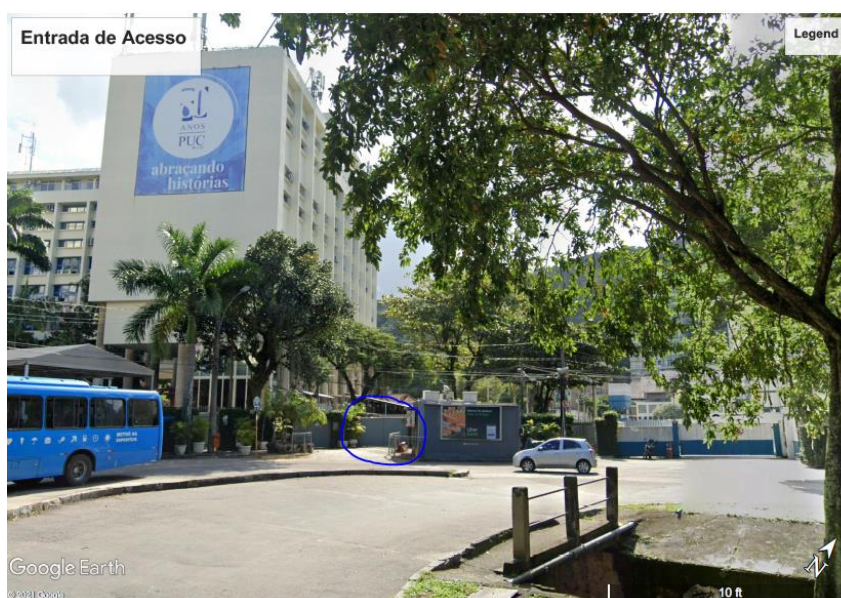


Figura 3.15 – Entrada de acesso de veículos pesados
Fonte: Autoria própria, 2021.

É importante, somente, entender qual é o solo típico da localidade, pois quanto mais próximos de regiões molhadas, como o Rio Rainha, mais frágil pode ser o solo para aplicação do Hydromedia. Esta avaliação foi consultada e será abordada na próxima seção do estudo de caso. Em outros casos, pode ser prevista a contratação de um profissional para avaliação prévia do tipo e condições de geologia do local ou para a elaboração de estudos hidrológicos.



A aplicação do material é feita por uma empresa parceira devido à necessidade de equipe especializada. Vale ressaltar que este concreto não é bombeável, sendo sua descarga feita de forma manual.

Em relação às juntas, deve ser realizada a marcação dos pontos de nível através de piquetes de madeira ou taliscas como mestras para assegurar o nível. As especificações de execução destas podem ser pré-definidas pelo cliente ou podem ser sugeridas pela própria Lafarge Holcim, indicando as recomendações necessárias em cada caso.

E, por último, o tempo de cura do material é de 7 dias e deve ser garantido que durante este período o piso não sofra nenhum tipo de carga, chuva ou interferência externa, até que esteja de fato em condições de ser utilizado.

➤ **Custo do projeto**

Em relação ao custo, o orçamento fica em torno de R\$720,00 /m³, sendo a espessura mínima indicada pela Lafarge Holcim de 10cm. Nesse preço, pode haver variações em relação ao custo de transporte dependendo da localização da obra. No caso da PUC-Rio isso não seria um problema, já que há uma sede da empresa no Rio de Janeiro.

O custo de mão de obra para aplicação é realizado a parte, sendo necessário consultar a empresa aplicadora para orçamento. O valor de R\$720,00 /m³ contempla apenas o produto (m³ do concreto).

➤ **Responsabilidades do contratante**

De acordo com a breve consulta realizada com o gerente comercial da LaFarge, fica sob responsabilidade do contratante, a compactação do solo e o preparo da sub-base com no mínimo 5 cm de brita ou bica corrida compactados, dependendo das características do solo, cargas aplicadas e projeto de drenagem.



Também devem ser disponibilizadas pelo cliente as lonas plásticas para o período de cura, assim como as formas para execução da concretagem. Devem ser previstas em contrato as respectivas responsabilidades caso haja sobra do concreto produzido.

A manutenção varia de acordo com a carga exposta e fica sob responsabilidade de quem está contratando o serviço. Assim, deve ser feita na medida em que forem observadas danificações no material, bem como presença de sujeiras e entupimentos. Sendo assim, conforme abordado na seção 2.1.6, deverá ser feita limpeza periódica, obrigatoriamente todo ano, e manutenção quando necessário, mas com frequência semestral obrigatória.

➤ **Atendimento aos requisitos**

Por último, é definido que para o projeto ser viável e aplicável pela empresa, é necessário possuir no mínimo 30 m² de área de aplicação com 10 cm de espessura de camada, uma vez que o volume mínimo de carregamento de em um caminhão betoneira é de 3 m³.

A ideia do projeto envolve uma metragem muito superior a essa mínima, o que viabilizaria o Hydromedia. Com base no tópico anterior de escolha e medição de áreas, seriam 1543 m² de aplicação do Hydromedia no total, sendo assim, 155 m³ de volume.

3.1.5 Demais considerações para o projeto executivo

Além da contratação do fornecedor que será responsável pela produção do concreto permeável e da equipe especializada para aplicação, são apresentadas outras necessidades relacionadas ao licenciamento, execução e manutenção.

Para a licença, costuma ser necessário providenciar Licença Ambiental e Autorização do Órgão Administrador do tráfego para interdição durante a execução. Sabendo que a



aplicação será feita em um espaço coletivo, as licenças ambientais e legais pertinentes ao uso serão disponibilizadas para aplicação da solução no ambiente universitário.

Além disso, para implantação do projeto, os custos a serem arcados contemplam mão de obra e os seguintes equipamentos: régua vibratória ou régua de alumínio, forma metálica, rolo compactador, aplicação de cura e o concreto permeável.

Deve ser levada em consideração a manutenção regular através de mangueira sob pressão e, pelo menos uma vez ao ano ou quando visivelmente necessário, aspiração para retirada de sujeiras, que ficará a cargo do contratante de providenciar ambos os serviços.

3.1.6 Solução com utilização de camada geodrenante

De acordo com o professor Tácio Campos, professor do departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio e especialista na área geotécnica, deve ser assumido que a permeabilidade do solo do Campus não é suficiente para permitir adequada infiltração de água no terreno, não sendo ideal considerar a aplicação do concreto permeável diretamente neste tipo de solo.

Considerando as declividades das diversas sub-áreas da universidade e as intensidades e durações das chuvas que provocam alagamentos, é necessário prever um projeto eficiente que considere a interação solo-chuva-estrutura. É imprescindível que seja realizada uma intervenção no solo para que água possa percolar, caso contrário a saturação e alagamentos continuariam.

Para solucionar esta questão, foi pensado em um geocomposto leve e flexível que possuísse uma base drenante. Nesse sentido, foi avaliada a possibilidade de aplicação do MacDrain, solução de drenagem disponível pela empresa MACCAFERRI. Conforme

exemplo mostrado na Figura 3.16, o geocomposto é formado por uma geomanta tridimensional.



Figura 3.16 – Mac Drain do tipo 2L fornecido pela Maccaferri
Fonte: Maccaferri, 2017.

Para isso, foram consideradas duas propostas. A primeira delas envolve a utilização do Mac Drain 2L, geocomposto para drenagem que contém filtros geotêxteis em seus dois lados, podendo atuar também como camada de separação ou proteção. Sua solução possui 11 mm de espessura. Para esse caso, a composição das camadas do solo ficaria dividida em: concreto permeável (Hydromedia), base de agregados (majoritariamente brita) e o Mac Drain 2L por baixo. Foi feito o esquema (Figura 3.17) para elucidar esta divisão, é um detalhe esquemático sem escala.

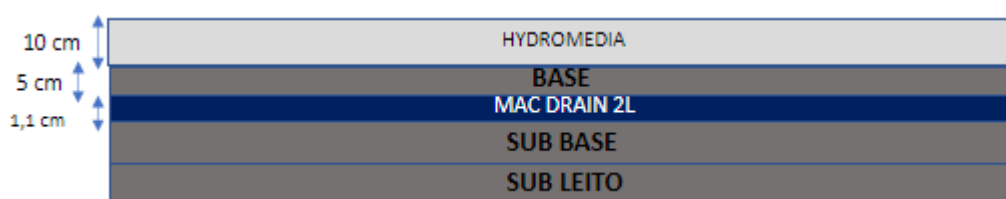


Figura 3.17 – Disposição de camadas com Mac Drain 2L
Fonte: Autoria própria, 2021

Para a espessura da camada de base formada por agregados, o valor varia no mercado de 5 a 22 cm. Determinou-se um limite que seja suficiente para filtrar a água e resíduos e, ao mesmo tempo, que não seja tão grande a ponto de dificultar a limpeza e manutenção. Logo, adotou-se o valor de 5 cm para esta espessura.

Já a segunda proposta da MACCAFERRI, envolve a utilização do MacDrain FP 2L (Fôrma Perdida), que é especialmente indicado para situações em que o geocomposto está diretamente em contato com o concreto em seu estado fluido. Para o caso de estudo, esta sugestão se aplicaria em uma condição onde não há a camada de agregados, somente a do concreto permeável (Hydromedia) diretamente em contato com a do MacDrain.

Para garantir que seja feito um filtro da água acumulada antes que a mesma seja destinada até o seu armazenamento, foi escolhida a primeira proposta, referente à solução do MacDrain 2L, para que se conserve a camada de agregados na composição da estrutura do pavimento.

Em resumo, como o solo típico do campus da Gávea não suporta a percolação de água, foi considerada esta opção com o objetivo de realizar um sistema de drenagem que consiga captar as águas pluviais e destiná-las às galerias de drenagem, córregos ou reservatórios através da instalação de tubos perfurados de captação, como a solução MacPipe mostrada na Figura 3.18.



Figura 3.18 – Solução para condução da água drenada
Fonte: AECWeb, 2021.

Sendo assim, o escoamento absorvido pela camada de concreto permeável, após percolar pela camada de base composta majoritariamente por brita, será recebido pelo MacDrain adotado que se encarregará pela realização da drenagem. Neste caso, as águas pluviais serão destinadas aos reservatórios através dos tubos de condução. Esta última

etapa apresenta uma forma de armazenamento do recurso, que posteriormente será reutilizado para irrigação e lavagem das áreas externas.

O trajeto da água desde o momento que percola na camada superior do pavimento até o momento em que entra no reservatório é representado através do esquema da Figura 3.19.

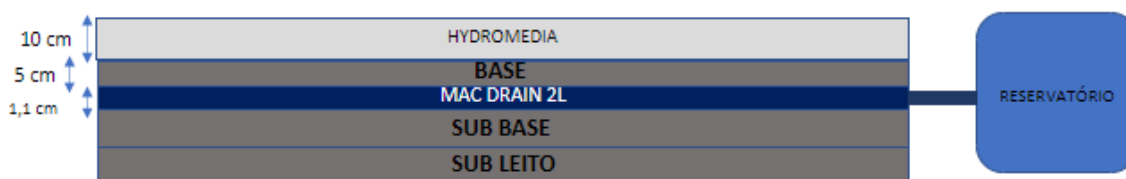


Figura 3.19 – Esquema do trajeto da água através da solução
Fonte: Autoria própria, 2021.

Vale ressaltar que a camada de MacDrain deve ter uma declividade mínima para que a água percorra no sentido da inclinação até chegar ao reservatório.

3.1.7 Armazenamento e reutilização das águas pluviais

Um dos maiores desafios do projeto é planejar e viabilizar o sistema de captação subterrânea para armazenamento e reutilização das águas pluviais.

A aplicação de pavimentação permeável já é bem comum e aceita internacionalmente, mas, para a maioria dos casos, a água das chuvas percola pelo concreto e infiltra diretamente nos lençóis freáticos, colaborando com o ciclo da água no meio ambiente.

Entretanto, a criação de um sistema de captação das águas absorvidas pelo pavimento também é uma estratégia eficiente para a reutilização do recurso em outra finalidade no espaço coletivo. É uma solução mais inovadora e, conseqüentemente, mais ousada. Por conta disso, devem ser estudados cada detalhe do processo contando com um projeto específico.



Para que seja possível viabilizar o projeto, é interessante que o volume de água seja reutilizado para converter em benefícios não só ambientais como financeiros. Dessa forma, a ideia parte da implantação de reservatórios no Campus que, por meio de instalações hidráulicas, levaria as águas pluviais acumuladas para demais utilizações como descargas, lavagem de áreas do Campus e irrigação.

Para evitar a necessidade de grandes tubulações e obras complexas, foi decidido utilizar inicialmente apenas para irrigação e lavagem de áreas externas.

Conforme visto no capítulo anterior, toda a água acumulada durante o período de chuvas nas áreas demarcadas irá percolar pelo concreto até chegar ao reservatório, que será o meio de armazenamento.

A opção de manter a reserva foi a mais vantajosa dentre as opções, porque caso a água drenada fosse conduzida para o córrego do Rio Rainha ou para as galerias de drenagem, os episódios de alagamentos continuariam acontecendo, já que haveria uma aceleração do fluxo para os principais pontos já sobrecarregados do sistema de drenagem pluvial. De acordo com o histórico de tempestades, o Rio Rainha chega a transbordar nessas ocasiões, sendo assim, é necessário considerar um destino diferente dos convencionais.

Para esse estudo de caso, serão implantados 4 reservatórios no total, uma para cada área de pavimentação permeável, sendo elas o bicicletário na entrada principal da universidade, próximo à calçada no edifício Leme, a área de lazer ao lado da Igreja e no espaço de entrada do restaurante Couve-Flor.

Dando sequência ao planejado, cada reservatório deve estar conectado a uma bomba que irá impulsionar a água até os pontos externos de irrigação, como as mangueiras e torneiras. Além disso, é interessante que se tenha no topo do reservatório um extravasor

ou alguma possibilidade de saída de água, para que não ocorra o transbordamento, possibilitando o descarte do excesso para o solo.

O esquema da figura 3.20 representa a configuração desse sistema.

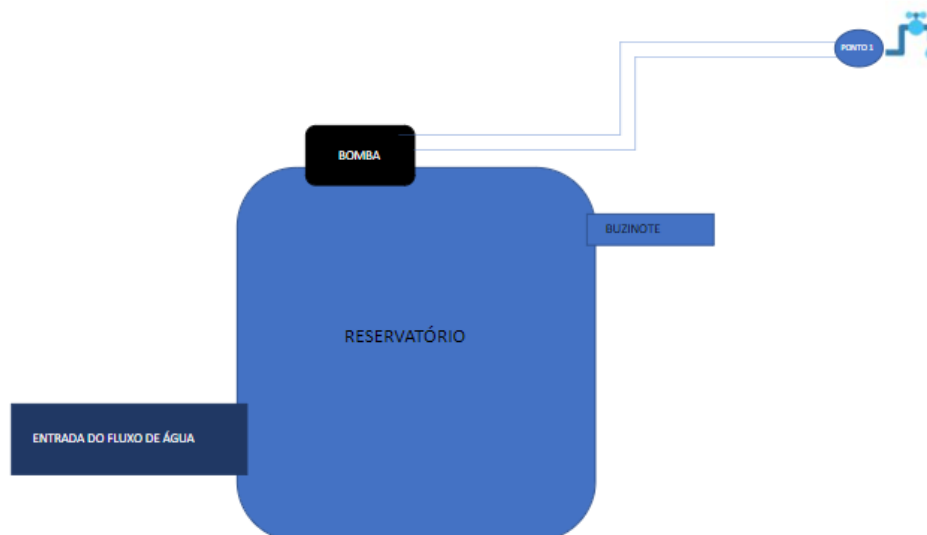


Figura 3.20 – Esquema de armazenamento e reutilização das águas pluviais
Fonte: Autoria própria, 2021.

3.2 Implantação de sistema solar como fonte de energia

3.2.1 Escolha da localização e das características do sistema

Com o objetivo tornar o ambiente universitário mais sustentável, a implantação de um sistema de painéis solares para gerar energia e utilizá-la dentro das instalações do Campus é uma estratégia extremamente eficiente, principalmente por fornecer independência em relação às fontes poluidoras ou não renováveis e possibilidade de redução dos custos, além de melhor consumo de energia dentro da PUC.

Os dados estimados de consumo de energia foram fornecidos pela Prefeitura do Campus com base no ano de 2019, isto é, fora do período de aulas remotas decorrente da



pandemia de Covid-19. A partir disso, estes dados serão utilizados para verificar o quanto de energia é possível gerar e suprir com esta solução.

Para a efetiva implantação, devem ser considerados os seguintes fatores:

- Estudo de áreas para selecionar os locais de melhor instalação dos módulos fotovoltaicos;
- Avaliar os índices de irradiação solar e variação ao longo dos meses, além de verificar os índices pluviométricos para a correta orientação dos painéis;
- Evitar áreas que possam apresentar sombreamentos frequentes e acúmulo de sujeira, o que, conseqüentemente, diminui a geração de energia e aumenta a necessidade de limpeza em caso de poeira/sujeira;
- Avaliar como será a conexão à rede elétrica, o que impacta diretamente nos custos de cabos e componentes elétricos;
- Caso o dimensionamento seja adequado e considerando o melhor aproveitamento solar possível, a necessidade de manutenção não é tão frequente, mas vale avaliar se a manutenção é possível de ser feita no local escolhido.

Foi realizada uma visita na universidade com o objetivo de observar e fotografar os principais locais nos quais poderiam receber essa aplicação.

Pelo fato da PUC-Rio ser um ambiente muito arborizado, o local ideal para a captação de luz solar e conversão em energia deve ser em locais altos, para que não haja ocorrência de sombras. Ao mesmo tempo, devem ser locais de fácil acesso, para que os funcionários e operários responsáveis pela instalação dos painéis consigam acessar de forma segura.

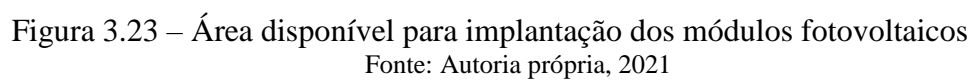
Sendo assim, foram escolhidos os telhados do Edifício Kennedy/ Frings, pois, conforme observado nas Figuras 3.21 e 3.22, o telhado possui uma posição, altura e localização favoráveis para captação de luz solar, além de possuir uma escada de acesso.



Figura 3.21 e 3.22 – Telhado Edifício Kennedy
Fonte: Autoria Própria, 2021

Este local se mostrou extremamente vantajoso, pois além das características mencionadas acima, possui grande área disponível para o posicionamento dos painéis, algo mais difícil em outros locais pela vegetação existente e pelos espaços reduzidos. A conexão à rede elétrica também fica simplificada desta forma, sabendo que os principais pontos de consumo se concentram nos edifícios de salas de aula, fazendo com que o custo com cabos e instalações seja menor e atenda à principal demanda.

Em relação à área disponível para instalação do sistema, a mesma foi verificada através do AutoCAD com auxílio do masterplan disponibilizado pelo professor de Topografia da PUC-Rio. Conforme mostrado na Figura 3.23, a área disponível que engloba os Edifícios Kennedy e Frings está hachurada em laranja, totalizando aproximadamente 2076 m².



65



O CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito) oferece o programa SunData que auxilia na definição da irradiação solar diária média mensal de qualquer local do país e fornece dados úteis para o dimensionamento de sistemas solares de energia.

Diante disso, as coordenadas mencionadas anteriormente foram inseridas na ferramenta para a obtenção de uma tabela que fornece o valor da irradiação solar no plano horizontal, em kWh/m².dia para todos os 12 meses do ano. Além disso, estes valores também são convertidos de acordo com três cenários de inclinação que servem como sugestão de angulação dos painéis fotovoltaicos, sendo eles: ângulo igual à latitude, ângulo que fornece o maior valor médio anual de irradiação (Máximo) e o que fornece a irradiação solar mínima mensal (Mínimo), conforme a Tabela 3.2 e Figura 3.25.

Conforme foi visto na seção 2.2.3, o ângulo mínimo indicado é de 10° para os módulos fotovoltaicos, sendo normalmente adotado o valor da latitude como parâmetro com o objetivo de minimizar a variação de irradiação que existe ao longo do tempo. Dependendo do projeto, pode ser utilizado o ângulo da maior média diária anual para se obter a maior geração de energia possível e para viabilizar a compensação de energia quando a mesma é injetada na rede. Em projetos mais conservadores, o ângulo mínimo é considerado para mitigar os riscos de falta de energia.

Tabela 3.2 – Variação dos diferentes cenários de inclinação

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Plano Horizontal	0° N	6,05	6,25	5,07	4,36	3,56	3,30	3,29	4,11	4,33	5,01	5,16	5,90	4,70	2,97
✓	Ângulo igual a latitude	23° N	5,45	5,96	5,22	4,94	4,38	4,26	4,13	4,84	4,60	4,89	4,74	5,25	4,89	1,83
✓	Maior média anual	19° N	5,60	6,06	5,24	4,88	4,27	4,13	4,02	4,75	4,59	4,95	4,85	5,40	4,89	2,04
✓	Maior mínimo mensal	34° N	4,97	5,58	5,07	5,00	4,59	4,54	4,36	4,98	4,54	4,65	4,38	4,76	4,78	1,22

Fonte: CRESESB, 2021

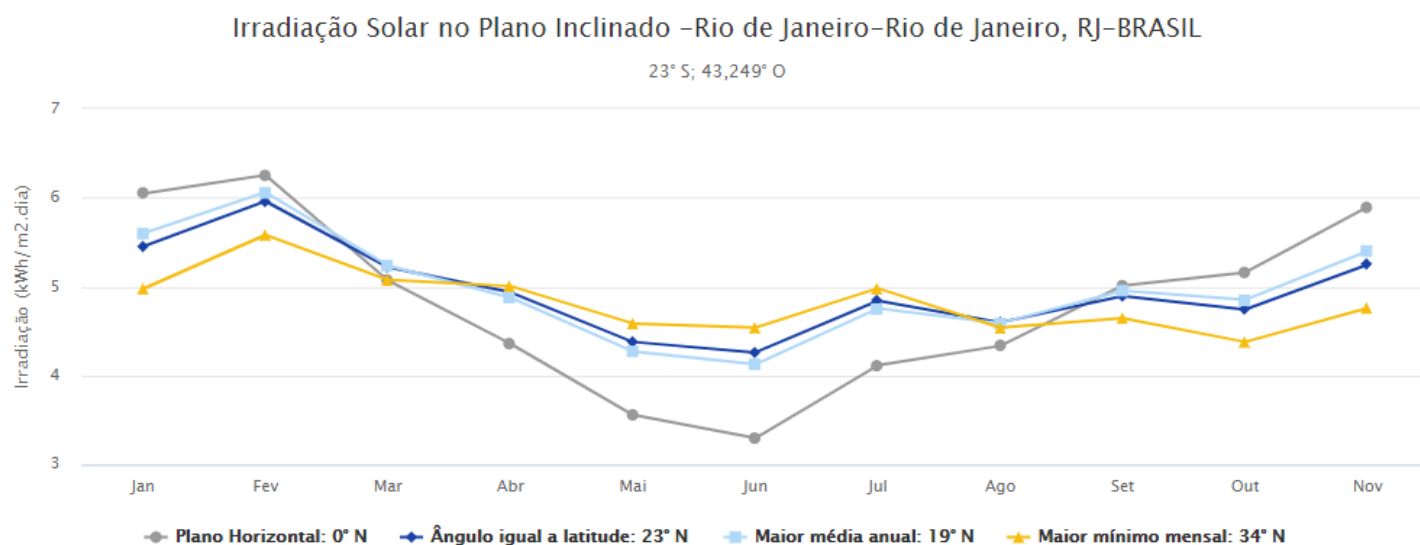


Figura 3.25 – Irradiação Solar de acordo com os diferentes ângulos propostos

Fonte: CRESESB, 2021

De acordo com os resultados expostos acima, o ângulo escolhido para o posicionamento dos módulos fotovoltaicos será de 23°N, ângulo igual a latitude e orientado para o norte. Apesar do ângulo 19°N fornecer a maior média anual, é possível perceber através do gráfico da Figura 3.25 que os ângulos 23°N e 19°N apresentam um comportamento similar enquanto nos meses de período letivo (março a novembro) o ângulo igual a latitude se sobressai ligeiramente, apresentando valores de radiação um pouco maiores.

Além disso, com a adoção do ângulo igual a latitude está sendo garantida a recepção dos raios solares de maneira perpendicular, gerando uma menor variação ao longo do ano, e como os índices pluviométricos na cidade do Rio de Janeiro se destacam na estação do verão, não é recomendado que o ângulo considerado seja menor que o da latitude, de acordo com o que foi destacado na seção 2.2.3.

Como a instalação dos painéis solares será realizada apenas no telhado do Edifício Kennedy e Frings nesse primeiro momento, é possível que todo o consumo da faculdade



não seja completamente suprido, necessitando ainda estar vinculada às concessionárias para que toda a demanda de energia seja atendida. Dessa forma, a implantação do sistema solar desse estudo de caso estará fornecendo uma economia para a universidade, que poderá ser expandida posteriormente. Nesse sentido, a adoção do ângulo de 23°N é uma postura mais conservadora, mas que garantirá a entrega de energia estipulada para o sistema solar.

3.2.2 Dimensionamento do sistema solar fotovoltaico

Neste projeto não será prevista a utilização de baterias, porque conforme mencionado anteriormente, o sistema será conectado diretamente à rede de energia elétrica. A vantagem deste modelo é que além de produzir a energia que será consumida, caso seja gerado algum excedente, o mesmo pode retornar à rede de distribuição, facilitando o processo de compensação de energia.

Segundo o ATLAS Solarimétrico do Brasil (2000), a média anual em horas da insolação diária no Rio de Janeiro é de 6 horas, o que será de extrema importância para estimar a energia gerada pelo sistema solar.

De acordo com Teixeira, Carvalho e de Melo Leite (2012), o dimensionamento dos principais equipamentos envolvidos no projeto pode ser realizado de acordo com as equações e critérios mencionados abaixo. Para o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos, deve ser seguida a equação 3.1:

$$P_{\text{mín}} = \text{Consumo total} / (H \times F_{\text{pp}} \times F_{\text{ps}}) \quad (3.1)$$

Sendo a potência mínima do gerador fotovoltaico (W_p) o valor mínimo para que o sistema de módulos possa produzir a energia consumida, o consumo total (Wh/dia) como o consumo da universidade que será suprido de acordo com a tabela dos dados de consumo de 2019 fornecidos pela Prefeitura do Campus (tabela 3.3), e as horas



equivalentes de sol pleno por dia a ser considerado 6 horas/dia, conforme média anual apresentada pelo ATLAS Solarimétrico do Brasil.

Em relação aos fatores de perda, FPP (fator de perda de potência) é o fator considerado quando existe a utilização de bateria e quando a tensão da mesma é menor que a tensão de máxima potência do painel solar. Nesse caso, será considerado como 1,0, considerando que não há fator de perda pela ausência de bateria. Enquanto isso, o FPS (fator de perdas e segurança) será considerado como 0,8, devido às perdas da geração, como sombreamento, sujeira, degradação, temperatura e perdas elétricas (Teixeira, Carvalho e de Melo Leite, 2012).

A tabela 3.3 apresenta os dados de consumo de energia estimados no ano de 2019 de acordo com o que foi repassado pela Prefeitura da PUC-Rio. Como aspecto de curiosidade, o custo considerado por kWh foi de, em média, R\$0,22, sendo uma estimativa de referência com base no ano de 2019.

Tabela 3.3 – Dados do consumo de energia da PUC-Rio em 2019

Mês	KWh	kWh/dia	Total
Janeiro	1.194.640	38.537	R\$ 249.265,59
Fevereiro	909.743	32.491	R\$ 189.162,09
Março	1.162.927	37.514	R\$ 251.360,12
Abril	1.075.596	35.853	R\$ 232.527,16
Mai	1.148.029	37.033	R\$ 248.158,08
Junho	946.312	31.544	R\$ 204.492,01
Julho	866.173	27.941	R\$ 187.174,27
Agosto	851.111	27.455	R\$ 183.878,86
Setembro	924.584	30.819	R\$ 199.724,00
Outubro	1.073.973	34.644	R\$ 231.992,10
Novembro	974.378	32.479	R\$ 210.195,90
Dezembro	844.096	27.229	R\$ 181.384,35

Fonte: Autoria própria, 2021

Como o consumo de energia disponibilizado engloba todas as instalações da universidade e o projeto contempla apenas a área do telhado do Edifício Kennedy, será

avaliado quantos módulos poderão ser dispostos no local para posteriormente verificar o consumo compensado.

O layout para a disposição dos painéis fotovoltaicos foi organizado de acordo com a Figura 3.26 para possibilitar a existência de corredores que permitam a passagem para instalação e manutenção dos equipamentos, totalizando uma área de 1437m².



Figura 3.26 – Áreas para a disposição dos módulos fotovoltaicos

Fonte: Autoria própria, 2021

Considerando que será selecionado o modelo da Canadian Solar (PAINEL SOLAR CANADIAN SOLAR 435 Wp – CS3W435P), de potência de 435Wp e de dimensões de 2108x1048x40 (mm), a área de cada módulo será de aproximadamente 2,21m². Dividindo a área disponível pela área unitária, são necessários 650 equipamentos.

De acordo com a Equação 3.1 apresentada anteriormente, é possível encontrar uma estimativa da energia que será gerada com o novo sistema. A potência de geração fotovoltaica será de 650 módulos de 435Wp, ou seja, 282750Wp, logo, com as alterações a equação apresenta:

$$282750Wp = \text{Consumo total} / (6h \times 1,0 \times 0,8) \quad (3.1)$$



$$\text{Consumo total} = 1.357,2 \text{ kWh/dia (3.1)}$$

Considerando que a universidade consome uma média diária de 32.795 kWh, o sistema solar dimensionado conseguirá suprir cerca de 4% deste total. No entanto, cabe ressaltar que essa geração pode suprir algum dos principais alvos de demanda, como por exemplo, os equipamentos das salas de aula do próprio Edifício Kennedy e Frings, reduzindo as despesas apresentadas.

É evidente que este cenário retrata um passo inicial de implantação do sistema solar, podendo ser propagado para demais áreas com o objetivo de atender outros pontos de consumo da faculdade.

Para o dimensionamento de inversores, deve ser considerada a potência do sistema (282750Wp), levando em consideração a margem de sobrecarga destes equipamentos. Segundo a Solar Inove, os inversores do fornecedor GoodWe apresentam uma margem de sobrecarga de 30 a 50%, suportando mais esse percentual em relação a sua potência nominal. Com base nisso, a equação 3.2 detalha o que foi apresentado.

$$P_{\text{inv}} = (P_{\text{sist}}) / 1,3 \sim 1,5 \text{ (3.2)}$$

Sendo:

$P_{\text{inv}} \rightarrow$ potência dos inversores [kW];

$P_{\text{sist}} \rightarrow$ Potência do sistema em [kWp].

O inversor da série MT da GoodWe de 36kW é recomendado para instalações comerciais em telhados de médio e grande porte, abrangendo o cenário deste estudo de caso. Como a corrente de curto-circuito do inversor deve ser superior à corrente do módulo fotovoltaico, foi verificado nas especificações dos equipamentos que o painel solar possui uma corrente de curto-circuito de 11,35 A, enquanto o inversor suporta uma corrente máxima de 31,3 A, estando adequado para incorporação ao projeto.



Diante disso, são necessários 6 inversores de 36kW, que totalizam a potência de 216kW. Adicionando a margem de 30 a 50% nesse valor, a potência final destes componentes gira em torno de 300kW, atendendo ao necessário do sistema de, no mínimo, 282,75kWp.

Além dos principais equipamentos mencionados anteriormente, também é necessário prever outros componentes, como a string box, painel elétrico responsável pela proteção do sistema contra acidentes elétricos (descargas atmosféricas, surtos ou curto-circuitos), além da estrutura de suporte para acomodação dos módulos fotovoltaicos e cabeamento. Para a implantação, devem ser previstos os custos dos seguintes serviços: elaboração do projeto, instalação, comissionamento e integração com a rede elétrica, além de manutenção ao longo da vida útil.



4 RETORNO DO INVESTIMENTO

Neste capítulo serão abordadas todas as questões financeiras envolvidas no projeto. Será testada também sua viabilidade de implementação de acordo com as premissas e escolhas estabelecidas no capítulo anterior.

4.1 Custo e prazo do projeto

Com a finalidade de atingir um melhor entendimento de cada fase de investimento, pontuou-se os custos de acordo com as seguintes categorias: construção e repavimentação com concreto permeável, sistema de armazenamento para reutilização das águas pluviais e sistema de captação de energia solar.

Primeiramente, foi elaborado um cronograma para as duas etapas que irão necessitar de obras mais complexas, sendo elas a pavimentação permeável e a execução dos reservatórios, pois suas durações influenciam nos custos apresentados. Para a execução do sistema solar, não foi apresentado um cronograma, já que os custos envolvidos são independentes da duração.

De acordo com as consultas comerciais realizadas, foi verificado que o tempo para realizar a retirada do pavimento existente seria de 4 semanas para a área total (1543m²). Já a colocação do MacDrain 2L e o espalhamento da brita duram em torno de 3 e 5 dias por trecho, respectivamente, isto é, para cada área estudada: bicicletário, entrada e calçada do Edifício Leme, área de lazer próxima à Igreja e entrada do restaurante Couve-Flor.

Sabe-se que a aplicação do concreto permeável é rápida, conseguindo realizar, em média, 400m²/dia. Com base nisso, essas premissas foram levadas em consideração de



acordo com a geometria individual dos locais estudados. Além disso, as fases de cura e acabamento do pavimento também foram adicionadas com 7 dias e 1 dia respectivamente.

Em relação à execução dos reservatórios, adotou-se o critério que estes seriam escavados em 5 dias e a implantação final incluindo reaterro em torno de 7 dias para cada região. Nesse momento, foi considerado que as atividades serão sequenciais com o intuito de minimizar as interdições em diversas áreas do Campus. No entanto, é indicado que essas atividades sejam realizadas fora do período letivo para que o cronograma proposto possa ser otimizado.

A duração total para cada trecho finalizou em torno de 20 dias corridos, isto é, não considerando finais de semana e feriados, para os serviços de repavimentação com concreto permeável e criação do sistema de armazenamento. Ao total, considerando as variações, serão 85 dias corridos. O ANEXO I mostra o cronograma detalhado, em dias, de toda a atividade dividido por cada região.

4.1.1 Repavimentação com concreto permeável

Para esta etapa foram considerados os valores de mão de obra, material e equipe necessários para a execução da obra, considerando todas as premissas assumidas no Estudo de Caso e cronograma apresentado anteriormente.

O primeiro passo para esta fase é a retirada da pavimentação já existente. Para isso, pode-se observar o perfil da Figura 4.1 como um parâmetro para a área do bicicletário e para os demais locais um perfil similar onde a única diferença é a ausência da primeira camada asfáltica e a presença somente do concreto convencional.

Revestimento Asfáltico: é o estrato de cerca de 5 centímetros que ficam em contato com os pneus dos veículos.

Base: Também feita de pedras um pouco menores e bem compactadas, tem de 10 a 22 cm de profundidade.

Sub-base: Leva rochas um pouco maiores, que darão sustentação a base.

Subleito: é o solo que passa por terraplanagem para receber o pavimento.

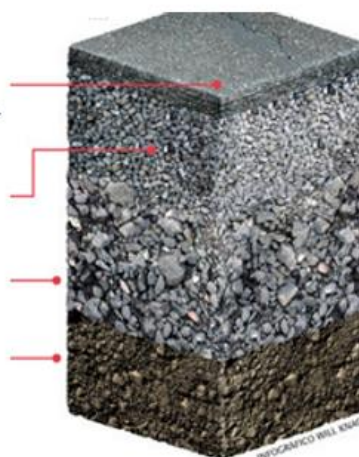


Figura 4.1 – Perfil do pavimento asfáltico

Fonte: Estáter Pavimentação

Com isso, conforme mencionado anteriormente, será necessário retirar e descartar em torno de 15 cm de espessura do pavimento ao longo de toda a área aplicável, sendo retirada a camada de base e todo o revestimento asfáltico no caso do bicicletário. Para as outras áreas, será feita a retirada da base e da camada superior de concreto convencional.

Foi realizada uma pesquisa de mercado com possíveis fornecedores para a realização deste serviço. O preço captado no mercado incluindo a retirada da pavimentação e o descarte dos resíduos foi de R\$ 115,00/m², já levando em conta o ferramental, mão de obra e equipamentos para os serviços descritos.

Após a retirada do material, é feita a aplicação do geocomposto da solução MacDrain 2L do fornecedor MACCAFERRI. De acordo com consulta comercial, foi informado que o material custa aproximadamente R\$ 100,00/m².

E, novamente acrescenta-se a camada de base composta por agregados graúdos (brita). Para este custo foi usado como parâmetro o orçamento da Silveira Materiais para Construção, conforme Figura 4.2. O custo por metro cúbico é de R\$86,00, sabendo que a espessura da camada será de 5cm.



Figura 4.2 – Brita para composição da camada de base
Fonte: Silveira Materiais

Por último, entra o Hydromedia da LaFarge Holcim que, conforme apresentado no Estudo de Caso, custa R\$ 720,00/m³, sabendo que a espessura da camada é de 10cm. Para a aplicação e acabamento, foi estimado o preço de R\$40,00/m². Ao final do tópico 4.1.2 será apresentada uma tabela com todos os custos citados.

É importante reforçar que atualmente os valores de materiais na construção civil tem aumentado de forma significativa, o mercado tem estado volátil com alterações frequentes, com aumento dos preços de material e da INCC. Portanto, vale salientar que o preço orçado na data atual (novembro de 2021) não pode ser garantido para datas futuras, sendo necessário fazer atualizações recorrentes destes valores.

4.1.2 Sistema de armazenamento de água pluvial

Conforme visto no Estudo de Caso, serão comprados quatro reservatórios correspondentes às quatro áreas escolhidas. As áreas variam de 250-500 m², portanto pode-se adotar o mesmo modelo de reservatório para cada delas.

De acordo com o Professor Antonio Roberto Martins Barboza de Oliveira, a PUC-Rio recebe uma média de chuva equivalente a 1800 mm por ano. Portanto, anualmente, seria coletado nessas áreas um volume de água total de 2.360,8 m³ (já que a área total de

aplicação é de 1543 m²), levando em consideração um fator de perda de 0,15 decorrente do processo, seja pelo escoamento ou ao longo do trajeto até o reservatório. Apesar do coeficiente de escoamento ser 0,005 e indicar uma absorção de mais de 99%, foi adotada uma postura conservadora para estimar o acúmulo de água de acordo com a equação 4.1.

$$1543 \text{ m}^2 \times 1,8 \text{ m/ano} \times 85\% = 2.360,8 \text{ m}^3/\text{ano} \quad (4.1)$$

Por dia o volume chega a 6.558 l, portanto, para seja garantida uma folga, serão adotados 4 reservatórios de 3.000 l cada com o objetivo de garantir a acomodação do volume médio, fornecendo o mesmo modelo para todas as áreas. Sabe-se que o dimensionamento está superior ao volume encontrado, além de não estar sendo considerado o gasto de água por dia e a possibilidade de frequências distintas de chuvas. No entanto, o espaço reservado é uma premissa de estudo, visando garantir uma certa margem para a expansão futura do projeto. Utiliza-se como parâmetro o reservatório da FORTLEV, custando em média aproximadamente R\$ 2.400,00, assim como mostrado na figura 4.3.



Figura 4.3 – Cisterna 3000l
Fonte: Preços Fortlev, Google 2021

Para a escavação da região foi feita uma consulta com profissionais do ramo e foi adotado o valor de R\$1.200,00 por dia de trabalho e uma estimativa de R\$ 300,00 de frete.



Além do reservatório, é necessário que haja um kit com bomba, materiais elétricos e retroalimentador. De acordo com valores propostos pela ECOCASA, ambos juntos custam em torno de R\$ 4.600,00.

Por fim, todos os custos envolvendo o sistema de repavimentação e captação de água são somados e apresentados na Tabela 4.1. É importante salientar que a duração da mão de obra complementar foi estimada em 80 dias, sendo 20 dias por área de aplicação. Por mais que o cronograma esteja contemplando 85 dias corridos, alguns dias estão reservados apenas para a cura da solução, não sendo necessária qualquer atividade por parte da equipe contratada.

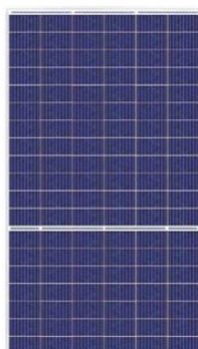
Tabela 4.1 – Tabela de custos de equipamentos e serviços do sistema de água

CUSTOS (base de preço: nov/21)						
ITEM		Unidade	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Duração (dias)	Valor total (R\$)
Serviços contratados*						
1	Retirada e descarte do pavimento anterior	m²	1543	R\$ 115,00	-	R\$ 177.445,00
2	Fornecimento e colocação do MacDrain 2L	m²	1543	R\$ 100,00	-	R\$ 154.300,00
3	Espalhamento de brita para a camada de base	m³	77,15	R\$ 86,00	-	R\$ 6.634,90
4	Fornecimento do concreto permeável	m³	154,3	R\$ 720,00	-	R\$ 111.096,00
5	Aplicação e acabamento do pavimento	m²	1543	R\$ 40,00	-	R\$ 61.720,00
					TOTAL:	R\$ 511.195,90
Materiais/Equipamentos						
1	Fornecimento de lona plástica	m²	1543	R\$ 5,00	-	R\$ 7.715,00
2	Retroescavadeira (diária + frete)	vb	1	R\$ 26.400,00	-	R\$ 26.400,00
3	Cisterna de 3.000l	und	4	R\$ 2.400,00	-	R\$ 9.600,00
4	Kit VF1 para Aproveitamento de Água da Chuva + Realimentador	und	4	R\$ 2.800,00	-	R\$ 11.200,00
5	Bomba (1ª linha até 1.5cv) + Casa de Máquinas + Materiais Elétricos con	und	4	R\$ 1.800,00	-	R\$ 7.200,00
					TOTAL:	R\$ 62.115,00
Mão de obra complementar						
1	Engenheiro residente	func/dia	1	R\$ 600,00	80	R\$ 48.000,00
2	Encarregado	func/dia	1	R\$ 300,00	80	R\$ 24.000,00
3	Profissional	func/dia	1	R\$ 200,00	80	R\$ 16.000,00
4	Servente	func/dia	5	R\$ 150,00	80	R\$ 60.000,00
5	Projetistas/consultores	vb	1	R\$ 20.000,00	-	R\$ 20.000,00
					TOTAL:	R\$ 168.000,00
*OBS: Já incluídos nos custos mencionados o ferramental e equipamentos para os serviços descritos.						
					TOTAL	R\$ 741.310,90

Fonte: Autoria própria, 2021.

4.1.3 Captação de energia solar

De acordo com o que foi apresentado na seção anterior, para esta etapa foram considerados 650 módulos solares da Canadian Solar de 435 Wp (CS3W435P). O componente possui custo unitário de R\$1.063,00, conforme mostrado na figura 4.4, sendo esta a principal despesa desta aplicação.



PAINEL SOLAR CANADIAN SOLAR 435 Wp – CS3W435P

★★★★★ (Não há avaliações ainda.)

R\$1.063,00

Em 5x de R\$212,60 sem juros

ou R\$956,70 à vista

PREVISÃO DE ENVIO: 30 dias

Figura 4.4 – Modelo escolhido para os painéis solares

Fonte: Casa do Micro Inversor, 2021.

Em relação aos inversores, foram escolhidos os componentes da GoodWe, idealizados para projetos comerciais em telhados de médio e grande porte. Foram dimensionados 6 inversores de 36kW cada, possuindo custo unitário de R\$26.285,00 de acordo com a Figura 4.5 retiradas através da plataforma da Ourolux.

Inversor Fotovoltaico 36KW 3x380V



Figura 4.5 – Inversor escolhido para o sistema de energia solar

Fonte: Ourolux, 2021.

Para as estruturas de fixação que ficarão responsáveis pelo suporte e acomodação dos painéis fotovoltaicos, foi identificado o conjunto ideal para as telhas encontradas no telhado do Edifício Kennedy, que são as de fibrocimento. De acordo com a pesquisa feita no Mercado Livre, cada kit de suporte consegue acomodar um total de 4 módulos, sendo

o custo unitário de R\$540,57. Serão necessários 163 suportes para que seja possível realizar a disposição das 650 placas solares, já que é possível acomodar 4 módulos por suporte.

De acordo com a FAS Energia Solar, um projeto de 160.500Wp (300 módulos de 535Wp) utiliza cerca de 1.200 metros de cabos solares fotovoltaicos de 6mm² 1.8Vcc. Sabendo que este exemplo equivale a 57% do estudo de caso da PUC-Rio, será realizada uma proporção para estimar o cabeamento necessário para o projeto em questão. Com base nisso, serão necessários 2.105 metros dos mesmos cabos mencionados anteriormente.

De acordo com os preços expostos na plataforma do Mercado Livre, o custo do rolo de cabo de 30 metros mostrado na figura 4.6 é de R\$216,95. Considerando que serão necessários 70 rolos de cabo de 30m, o custo total desse item será de R\$15.186,70.



Figura 4.6 – Cabos solares fotovoltaicos de 6mm²
Fonte: Mercado Livre, 2021.

Além disso, finalizando a etapa de equipamentos, foi avaliado o preço da String/Combiner Box, componente importante para proteção do sistema. Dentre as opções, o produto da PROAUTO & DEHN custa R\$1.939, sendo fabricado no Brasil e composto por 10 entradas DC com corrente máxima por entrada de 15A. Está sendo



adotado que o equipamento atende às especificações necessárias do projeto, sendo necessária confirmação e avaliação de profissional habilitado.

De acordo com Dassi, J. et al (2015), foi feito um estudo de viabilidade para a implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior localizada em Santa Catarina. Como as características de projeto são similares, foi observado que os serviços de instalação, elaboração de projeto e comissionamento representaram aproximadamente 11,4%, 5% e 2,2% respectivamente em relação ao custo total do sistema (equipamentos e serviços). Essa relação será utilizada para estimar tais atividades considerando o projeto de aplicação na PUC-Rio.

Todas essas considerações foram resumidas na tabela 4.2 através dos serviços e equipamentos a serem contratados.

Tabela 4.2 – Tabela de custos de equipamentos e serviços do sistema solar

CUSTOS (base de preço: nov/21)						
ITEM		Unidade	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)	Observação
Serviços contratados*						
1	Instalação do sistema solar	vb	1,00	-	R\$ 135.000,00	11,4% do total
2	Projeto elétrico	vb	1,00	-	R\$ 60.000,00	5% do total
3	Comissionamento/Interligação com a rede	vb	1,00	-	R\$ 26.000,00	2,2% do total
TOTAL:					R\$ 221.000,00	
Equipamentos						
1	Módulos solares	und	650	R\$ 1.063,00	R\$ 690.950,00	
2	Inversores	und	6	R\$ 26.285,00	R\$ 157.710,00	
3	String box Equipamentos de proteção	und	1	R\$ 1.939,00	R\$ 1.939,00	
4	Suporte para fixação	und	163	R\$ 540,57	R\$ 88.112,91	
5	Cabeamento (Rolo de 30 metros)	rolos	70	R\$ 216,95	R\$ 15.186,50	
TOTAL:					R\$ 953.898,41	
*OBS: Já incluídos nos custos mencionados o ferramental e mão de obra para os serviços descritos.						
TOTAL					R\$ 1.174.898,41	

Fonte: Autoria própria, 2021.

Portanto, o valor desta etapa é de R\$1.174.898,41, sendo necessário avaliar na próxima seção o retorno do investimento e *payback* estimado.

4.2 Retorno do investimento

4.2.1 Água



Após apresentar a estimativa dos custos, é interessante apresentar as receitas que o projeto tem potencial de trazer, pois, além de todo o viés sustentável e socialmente favorável envolvidos na motivação, o projeto também poderá gerar economias para a universidade, podendo ser ainda potencializada ao longo dos anos com o aprimoramento das estratégias e expansão do concreto e dos painéis para outras áreas do Campus.

De acordo com os dados fornecidos pela universidade conforme Tabela 4.3, em 2019 o consumo médio mensal de água foi de 6.992 m³, gerando um custo médio de R\$ 81.476,65, que representa o valor do metro cúbico R\$ 11,65/m³ em um mês.

Tabela 4.3 – Tabela de consumo de água na universidade

CONSUMO DE ÁGUA 2019		
Mês	Consumo (m ³)	Total
Janeiro	7606	R\$ 83.680,67
Fevereiro	6915	R\$ 80.674,90
Março	6684	R\$ 77.985,73
Abril	6684	R\$ 77.985,73
Maior	7145	R\$ 83.364,07
Junho	6915	R\$ 80.674,90
Julho	6684	R\$ 77.985,73
Agosto	7376	R\$ 86.053,22
Setembro	6684	R\$ 77.985,73
Outubro	6915	R\$ 80.674,90
Novembro	7376	R\$ 86.053,22
Dezembro	6915	R\$ 84.601,00

Fonte: Prefeitura do Campus PUC-Rio, 2021.

A chuva média anual na área da PUC-Rio é equivalente a 1800 mm. Portanto, por ano, seriam coletados nessas áreas um volume de água total 2.360,8 m³. Considerando a média de R\$ 11,65/ m³, tem-se uma economia anual de R\$ 27.503,32.

Conforme visto anteriormente, caso mantenha-se as premissas e áreas estudadas, o custo total do investimento é de R\$ 741.310,90, o que levaria a um *payback* de até 26 anos. Como o concreto permeável é um material novo, ainda não se é assegurado uma



durabilidade padrão para a pavimentação. Logo, caso a durabilidade seja inferior a este período de 26 anos, as premissas e valores adotados devem ser reformulados, questionados e aprimorados a partir de um novo estudo, considerando também a possibilidade de um momento de maior estabilidade entre os valores de materiais e serviços na construção civil.

Um ponto que deve ser levado em consideração são os prejuízos obtidos durante a chuva intensa de 2019. Após o episódio de abril de 2019, comentado na Introdução, diversos materiais foram danificados. A água entrou nos laboratórios causando um prejuízo de R\$ 10.000.000,00 (dez milhões de reais). Além dos danos diretos, a tempestade também causou diversos danos indiretos como a destruição de materiais de pesquisa que estavam sendo feitos há muito tempo, interrompendo a continuidade dos mesmos. Estes valores, ao entrar na conta, fazem com que o investimento seja muito mais vantajoso e atrativo, visto que prejuízos como estes são irreversíveis e imensamente desfavoráveis para a universidade.

Além disso, reforça-se que, para o âmbito da água, o atrativo principal para a implementação do projeto não é o fator financeiro, e sim todas as questões mencionadas anteriormente com relação à mobilidade dos alunos e funcionários e ao objetivo principal de tornar a PUC-Rio mais sustentável, colaborando também, de forma global, com o ciclo da água, visto às questões de escassez e crise hídrica que ainda afetam o mundo atualmente.

É um projeto caro, porém, possui grande potencial de gerar benefícios significativos para toda a universidade, incluindo aos alunos e funcionários que a frequentam.



Por último, algumas estratégias podem ser adotadas para trazer o retorno em um tempo menor. Como falado anteriormente, mais áreas podem ser exploradas, aumentando o volume de água adquirido.

4.2.2 Energia

Da mesma forma que o processo anterior, será analisada a economia que a implantação do sistema solar pode gerar para a universidade.

A partir da tabela 3.3, é possível constatar que a média mensal do consumo de energia equivale a 997.630kWh. O custo médio mensal foi de R\$214.109,50. No entanto, este valor utiliza uma estimativa de preço por kWh com referência ao ano de 2019. Como o orçamento realizado na seção 4.1.3 foi baseado em novembro de 2021, o custo unitário de kWh será atualizado para uma base mais atual.

Um fator relevante a ser considerado é que por ser uma universidade, a PUC-Rio tem um acordo de custo fixo com a concessionária de luz, ou seja, o valor pago segue um padrão mensal. Com base nisso, é importante que esse aspecto seja levado em conta para uma viabilidade mais apurada.

Segundo a NG Solar (2021), considerando o reajuste de 2021, o preço por kWh gira em torno de R\$0,92 para tarifa residencial e R\$0,86 para tarifa comercial. Considerando que o consumo da PUC se enquadra como unidade comercial, será adotado o valor de R\$0,86 por kWh.

Sabe-se que o sistema implantado na PUC será capaz de gerar 1.357,2 kWh/dia, fornecendo uma economia diária de aproximadamente R\$1.167,19. No mês, a geração suprida será de 40.716kWh, o que equivaleria a R\$35.015,76. Esses valores não podem ser comparados com o total pago apresentado na tabela 3.3 devido à diferença das datas de referência.



Sendo assim, com a aplicação dos painéis em apenas uma área, é possível obter esta redução, sendo viável a expansão do projeto para outros locais com o objetivo de aumentar ainda mais este resultado.

Diante disso, partindo das análises desse estudo de caso, ainda sem considerar possíveis expansões, o custo total do investimento é de R\$1.174.898,41. Sabendo que anualmente, o valor de R\$ 420.189,12 é compensado, o *payback* deste investimento aconteceria em aproximadamente 3 anos.

A partir disso, depreende-se que a solução é financeiramente vantajosa, visto que o tempo de retorno do investimento inicial seria de 3 anos e, usualmente, a durabilidade do sistema implementado ultrapassa os 20 anos. Mesmo não suprimindo todo o consumo da universidade, já fornece uma indicação de como essa aplicação é favorável financeiramente e ambientalmente, estimulando a possibilidade de expansões.



5 CONCLUSÃO

A partir de todo o estudo feito ao longo do trabalho, nota-se que as sugestões de transformar o espaço coletivo da PUC-Rio em um ambiente mais sustentável são pertinentes diante ao cenário atual.

Sobre o concreto permeável, pode-se dizer que é uma inovação que vem atingindo o mercado internacional, sendo aplicado principalmente nos países mais desenvolvidos como os Estados Unidos. Apesar do Brasil não ser um dos principais exemplos de aplicação, há uma forte tendência para sua constante implementação no Rio de Janeiro, visto que diversos fatores, como ocupação, topografia e clima da região favorecem os empoçamentos e alagamentos, gerando caos na mobilidade da população. Além disso, surge com um viés sustentável, economizando e impulsionando o ciclo da água, sendo um atrativo significativo para a PUC-Rio, instituição que há anos prioriza tais questões.

A ordem das camadas no solo, bem como suas espessuras e materiais escolhidos (Hydromedia e MacDrain 2L) foram resultados de uma pesquisa de mercado, junto a consultorias com profissionais de diferentes áreas e experiências. No entanto, tais critérios estão suscetíveis a mudanças, aprimoramentos e/ou especificações, na medida em que mais profissionais conheçam sobre o assunto para que possam retroalimentar com informações para a melhoria do mesmo e mais estudos sejam elaborados para a obtenção de um projeto mais detalhado.

O processo de armazenamento agrega ao projeto como um bônus, garantindo que haja uma economia oriunda do investimento na pavimentação permeável, além do legado imensurável que fica para as próximas gerações, pois procedimentos sustentáveis geram muito mais que apenas economia financeira, mas benefícios e um bem-estar global.



Outro ponto importante é que ao longo do estudo foi verificado que o solo da PUC-Rio não teria permeabilidade suficiente para levar a água aos lençóis freáticos nem aos córregos e rios. Fora esta questão, também foi notado que o próprio rio iria transbordar caso fosse destinado a ele um maior volume de água, contrariando o objetivo inicial de diluir a água na superfície do Campus. Dessa forma, o uso dos reservatórios tornou-se essencial.

As áreas de implementação do projeto foram selecionadas com base na vivência dos alunos na universidade, do histórico de maior recorrência das chuvas e da topografia e desníveis geométricos da região. Entretanto, recomenda-se que haja um aprofundamento do estudo no futuro para implementar a solução em novas e diferentes áreas do Campus, na mesma medida em que seja feito um sistema de armazenamento em comum para mais de uma rota, a fim de coletar um maior volume de água da chuva de forma ainda mais eficiente.

Por fim, o sistema de painéis solares traz uma economia de energia mensal para a PUC-Rio, além de ser uma estratégia sustentável que também está entre os objetivos do NIMA. Ao contrário do concreto permeável, o uso de painéis solares para a captação da energia natural como fonte de energia renovável está cada vez mais presente no mercado brasileiro. Na frequência em que se aumenta o interesse da população em medidas sustentáveis, junto a possibilidade de economizar financeiramente, aumenta o interesse do público e a demanda do mercado. Portanto, implementar os painéis na PUC-Rio pode ser simples e eficiente e ainda gerar uma economia mensal a ponto de pagar o investimento em 3 anos e ainda manter a visão da universidade como um Campus ainda mais sustentável e aceito ambientalmente.



De forma geral, todo o projeto apresentou resultados preliminares satisfatórios, sendo uma provocação inicial de um plano de grande potencial para a universidade. Ficam as sugestões citadas anteriormente como estímulos para a complementação do trabalho, com o objetivo de otimizá-lo e deixá-lo ainda mais viável para aplicação não só na PUC-Rio, mas para servir de estímulo a outros espaços coletivos.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Projeto Técnico: Pavimento Permeável**. Brasil, 2016. Disponível em: https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Proj_tec_pav_permeavel.pdf. Acesso em: 02 out. 2021.

ABSOLAR. **Entenda como funciona a energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/o-que-e-energia-solar-fotovoltaica/>. Acesso em: 08 set. 2021.

ABSOLAR. **Fiesp debate vantagens da energia solar fotovoltaica para o país**. 2019. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/fiesp-debate-vantagens-da-energia-solar-fotovoltaica-para-o-pais/>. Acesso em: 29 ago. 2021.

AECWEB. **MacPipe**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/produto/macpipe/25891>. Acesso em: 14 nov. 2021.

AGÊNCIA UVA. **Enchentes fazem parte da história do Rio de Janeiro**. 2019. Disponível em: <https://agenciauva.net/2019/04/09/enchentes-fazem-parte-da-historia-do-rio-de-janeiro/>. Acesso em: 29 ago. 2021.

ALDO. **Combiner Box Proauto (41552-4)**. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/produto/41552-4/combiner-box-proauto-cbf-10e-1s-1000dc-quadro-10-entradas-1-saida-10str-1000v-1-mppt>. Acesso em: 14 nov. 2021.

ALSHAREEDAH, Othman; NASSIRI, Somayeh. Pervious concrete mixture optimization, physical, and mechanical properties and pavement design: a review. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 288, p. 125095, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125095>. Acesso em: 01 set. 2021.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Pervious Concrete**. Disponível em: <https://www.concrete.org/topicsinconcrete/topicdetail/pervious%20concrete?search=pervious%20concrete>. Acesso em: 01 set. 2021.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 522R-10: Report on Pervious Concrete**. Michigan, Usa: ACI, 2010. Acesso em: 01 set. 2021.

ANEEL. Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004.

ASSESSORIA DE IMPRENSA PUC-RIO. **Fotos do Campus**. Disponível em: <http://assessoria.vrc.puc->



rio.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=54588&query=advsearch&search%5Fby%5Fauthorname=all&search%5Fby%5Ffield=tax&search%5Fby%5Fkeywords=any&search%5Fby%5Fpriority=all&search%5Fby%5Fsection=294&search%5Fby%5Fstate=notexpired&search%5Ftext%5Foptions=all&sid=294&text=. Acesso em: 08 set. 2021.

BATEZINI, Rafael. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Passo Fundo, São Paulo, 2009. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072013-155819/publico/Dissertacao_Rafael_Batezin.pdf. Acesso em: 28 nov. 2021.

Brazilian Journal of Development. 2020. **Concreto Permeável: Análise de desempenho voltada para pavimentação, a fim de combater inundações em centros urbanos / Permeable Concrete: Performance analysis focused on paving, in order to combat flooding in urban centers**. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/8605>. Acesso em: 10 nov. 2021.

CANAL SOLAR. **Tecnologia PERC: a nova geração de células fotovoltaicas**. 2019. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/tecnologia-perc-a-nova-geracao-de-celulas-fotovoltaicas/>. Acesso em: 28 nov. 2021.

CARVALHO, Daniel Fonseca de; SILVA, Leonardo Duarte Batista da. **Hidrologia**. 2006. Disponível em: <http://ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf#:~:text=Coeficiente%20de%20escoamento%20superficial%2C%20ou%20coeficiente%20runoff%2C%20ou,um%20intervalo%20de%20tempo%20onde%20v%C3%A1rias%20chuvas%20ocorreram..> Acesso em: 14 nov. 2021.

CASA DO MICRO INVERSOR. **Painel Solar Canadian Solar 435 Wp – CS3W435P**. Disponível em: <https://microinversor.com.br/produto/painel-solar-canadian-solar-435-wp-cs3w435p/?v=19d3326f3137>. Acesso em: 07 nov. 2021.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL / ELETROBRAS. **Atlas Solarimétrico do Brasil**. 2000. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf. Acesso em: 04 nov. 2021.

CNN. **Energia solar deve crescer quase 70% em 2021, diz boletim**. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/energia-solar-deve-crescer-quase-70-diz-boletim/>. Acesso em: 12 dez. 2021.

CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S. BRITO. **Potencial Solar**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 01 nov. 2021.



DASSI, J. A.; ZANIN, A.; BAGATINI, F. M.; TIBOLA, A.; BARICHELO, R.; DE MOURA, G. D. Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil. **Anais do Congresso Brasileiro de Custos - ABC**, [S. l.], Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3924>. Acesso em: 15 nov. 2021.

ECOCASA. **Quanto custa uma cisterna pronta?** 2016. Disponível em: <https://www.ecocasa.com.br/quanto-custa-uma-cisterna-pronta/>. Acesso em: 28 nov. 2021.

EPE (org.). Brasil. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 04 set 2021.

ÉPOCA NEGÓCIOS. **Como o investimento em novas fontes de energia pode ajudar a evitar cenários como a atual crise hídrica**. Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/Brasil/noticia/2021/06/como-o-investimento-em-novas-fontes-de-energia-pode-ajudar-evitar-cenarios-como-atual-crise-hidrica.html>. Acesso em: 06 set. 2021.

ESTÀTER PAVIMENTAÇÃO. **Entenda um pouco mais sobre a pavimentação asfáltica**. Disponível em: <https://www.estaterpavimentacao.com.br/entendendo---pavimenta--o-asf-ltica>. Acesso em: 28 nov. 2021.

FAS ENERGIA SOLAR. **Kit FAS Energia Solar Fotovoltaica SMA 160,5 KWp Solo**. Disponível em: <https://fasenergiasolar.com.br/produtos/kit-fas-energia-solar-fotovoltaica-sma-1605-kwp-solo/>. Acesso em: 14 nov. 2021.

FECCI ENGENHARIA. **Enchentes x Permeabilidade do solo**. Disponível em: <https://www.fecciengenharia.com/single-post/2018/03/30/Enchentes-x-Permeabilidade-do-solo>. Acesso em: 26 out. 2021.

FERNANDES, Luiza. **Como realizar um bom dimensionamento do sistema fotovoltaico**. Disponível em: <https://www.solarz.com.br/como-realizar-um-bom-dimensionamento-do-sistema-fotovoltaico/>. Acesso em: 14 nov. 2021.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Chuva forte deixa ao menos quatro mortos no Rio de Janeiro**. 2019. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/04/temporal-faz-rio-entrar-em-estagio-de-atencao-nesta-segunda-8.shtml>. Acesso em: 29 ago. 2021.

G1 RIO. **'Chuva atípica' se repete há séculos no RJ; conheça histórias e imagens de grandes temporais**. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2019/04/10/chuva-atipica-se-repete-ha-seculos-no-rj-conheca-historias->



e-imagens-de-grandes-temporais.ghml. Acesso em: 29 ago. 2021.

G1. 2020. **Cidades-esponja: conheça iniciativas pelo mundo para combater enchentes em centros urbanos.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/mundo/noticia/2020/02/16/cidades-esponja-conheca-iniciativas-pelo-mundo-para-combater-enchentes-em-centros-urbanos.ghml>>. Acesso em: 12 set. 2021.

G1 RIO. **Compare o efeito deste temporal com o de outros que atingiram o Rio.** Disponível em: <https://g1.globo.com/Noticias/Rio/0,,MUL1559608-5606,00.html>. Acesso em: 12 dez. 2021.

G1 RIO. **Maior chuva em 22 anos no Rio causa 10 mortes, deixa bairros submersos e provoca destruição.** 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2019/04/09/bombeiros-registram-deslizamento-no-morro-da-babilonia-rio.ghml>. Acesso em: 29 ago. 2021.

GAZETA DO POVO. **Brasil pode reciclar 98% dos resíduos da construção civil, mas só consegue dar conta de 21%.** 2019. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/haus/sustentabilidade/brasil-pode-reciclar-98-dos-residuos-da-construcao-civil-mas-so-consegue-dar-conta-de-21/>. Acesso em: 12 dez. 2021.

GREENER TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS. **Energias Renováveis no Brasil e no mundo.** Disponível em: <https://www.greener.com.br/wp-content/uploads/2020/11/e-book-01-energias-renovaveis-no-brasil-e-no-mundo.pdf>. Acesso em: 05 set. 2021.

HOLTZ, Fabiano; LORENZI, Alexandre; PASSUELLO, Alexandra; SILVA FILHO, Luiz Carlos P. da; SHIMOMUKAY, Roseane; CHIES, Josué A.. **Aplicação de concreto permeável na drenagem de zonas urbanas.** In: ANAIS DO 53º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2011 – 53CBC, 53., 2011, Porto Alegre. **Anais [...]**. Florianópolis: Ibracon, 2011. p. 1-14. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Luiz-Carlos-Silva-Filho/publication/283733927_Aplicacao_de_concreto_permeavel_na_drenagem_de_zonas_urbanas/links/5646480108ae451880aa44b2/Aplicacao-de-concreto-permeavel-na-drenagem-de-zonas-urbanas.pdf. Acesso em: 27 out. 2021.

KOLETA AMBIENTAL. **Serviços | Koleta Ambiental.** Disponível em: <https://www.koleta.com.br/servicos>. Acesso em: 14 nov. 2021.

LEROY MERLIN. **Cisterna de Polietileno 3.000L com Tampa Cinza Fortlev.** Disponível em: https://www.leroymerlin.com.br/cisterna-de-polietileno-3-000l-com-tampa-cinza-fortlev_90609813?region=outros. Acesso em: 28 nov. 2021.



LI, L.G.; FENG, J.J.; ZHU, J.; CHU, S.H.; KWAN, A.K.H. Pervious concrete: effects of porosity on permeability and strength. **Magazine Of Concrete Research**, [S.L.], v. 73, n. 2, p. 69-79, jan. 2021. Thomas Telford Ltd.. <http://dx.doi.org/10.1680/jmacr.19.00194>. Acesso em: 13 set. 2021.

MACCAFERRI. **MacDrain FP**. Disponível em: <https://www.maccaferri.com/br/produtos/geocomposto-macdrain/macdrain-fp/>. Acesso em: 12 nov. 2021.

MACCAFERRI. **MacDrain 2L**. Disponível em: <https://www.maccaferri.com/br/produtos/geocomposto-macdrain/macdrain2l/>. Acesso em: 12 nov. 2021.

MARCHIONI, Mariana. 2013. **Conceitos e Requisitos para Pavimentos de Concreto Permeável**. Disponível em: http://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/07/PR3_Conceitos_Requisitos_Pav_Concreto_Permaveavel.pdf. Acesso em: 13 set. 2021.

MAUÁ. 2017. **Concreto permeável: qual sua função, vantagens e desvantagens**. Disponível em: cimentomaua.com.br/blog/concreto-permeavel-qual-funcao-vantagens-desvantagens/. Acesso em: 13 set. 2021.

Mauricio Tiomno Tolmasquim. **SOLAR**. In: Mauricio Tiomno Tolmasquim. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2016. p. 310-342. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-172/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>. Acesso em: 08 set. 2021.

MERCADO LIVRE. **Kit Suporte De Fixação 4 Painéis Solares Telha Fibrocimento**. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1433505096-kit-suporte-de-fixaco-4-paineis-solares-telha-fibrocimento-_JM#position=2&search_layout=stack&type=item&tracking_id=bf6704ec-387c-407b-a84e-f4286d9e3dcd. Acesso em: 14 nov. 2021.

MERCADO LIVRE. **Cabo Fotovoltaico 6mm P/ Energia Solar 15mt Pret + 15mt Verm**. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1730252550-cabo-fotovoltaico-6mm-p-energia-solar-15mt-pret-15mt-verm-_JM#position=5&search_layout=stack&type=item&tracking_id=fd0e275e-1bcf-45d5-9c69-880dc4a153e7. Acesso em: 14 nov. 2021.

Ministério de Minas e Energia (org.). Brasil. **Uso de fontes renováveis no Brasil é três vezes maior que o mundial**. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/07/uso-de-fontes-renovaveis-no-brasil-e-tres-vezes>



maior-que-o-mundial. Acesso em: 04 set. 2021.

Ministério do Meio Ambiente (org.). Brasil. **Construção Sustentável**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html>. Acesso em: 28 ago. 2021.

MONTEIRO, Anna Carolina Neves. **Concreto Poroso: Dosagem e Desempenho**. 2010. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/CONCRETO_POROSO_DOSAGEM_E_DESEMPENHO.pdf. Acesso em: 02 out. 2021.

MORAES, Flavia Tuane Ferreira; LIMA, Josiane Palma; LIMA, Renato da Silva. **Logística reversa de resíduos de Construção Civil: As oportunidades e desafios em diferentes países**. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_248_433_34119.pdf. Acesso em: 12 dez. 2021.

MOREIRA, Orlando e SOUZA, Celso Correia de. **Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha**. Interações (Campo Grande) [online]. 2020, v. 21, n. 2 [Acessado 2 Outubro 2021], pp. 379-387. Disponível em: <<https://doi.org/10.20435/inter.v21i2.1760>>. Epub 06 Jul 2020. ISSN 1984-042X. <https://doi.org/10.20435/inter.v21i2.1760>. Acesso em: 20 set. 2021.

NG SOLAR. **Preço da energia elétrica CPFL 2021**. 2021. Disponível em: <https://www.ngxsolar.com.br/single-post/preco-kwh-cpfl>. Acesso em: 28 nov. 2021.

NIMA PUC-Rio. **Missão do NIMA**. Disponível em: <http://www.nima.puc-rio.br/historico/>. Acesso em: 21 ago. 2021.

Núcleo de Memória PUC-Rio. 2019. **Chuvas torrenciais no Rio de Janeiro também afetaram a PUC-Rio**. Disponível em: <http://nucleodememoria.vrac.puc-rio.br/noticia/2019/04/chuvas-torrenciais-rio-janeiro-tambem-afetaram-puc-rio>. Acesso em: 29 ago. 2021.

ONG ALIMENTAÇÃO SAUDÁVEL. **Onde se alimentar bem na PUC-Rio**. 2013. Disponível em: <http://ongasaudavel.blogspot.com/2013/06/onde-se-alimentar-bem-na-puc-rio.html>. Acesso em: 14 nov. 2021.

OUROLUX. **Inversor Fotovoltaico 36KW 3x380V GoodWe**. Disponível em: <https://ourolux.com.br/inversor-fotovoltaico-36kw-3x380v-goodwe.html>. Acesso em: 14 nov. 2021.



PAVIBLOCO. **Pavimento intertravado permeável: solução de pavimentação para enchentes.** Disponível em: <https://pavibloco.com.br/pavimento-intertravado-permeavel-solucao-de-pavimentacao-para-enchentes/>. Acesso em: 13 dez. 2021.

PORTAL ENERGIA. **Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares.** Disponível em: <https://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/>. Acesso em: 28 nov. 2021.

PORTAL SOLAR. **Energia Solar no Brasil.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html>. Acesso em: 12 dez. 2021.

PORTAL SOLAR. **Passo a Passo da Fabricação do Pannel Solar.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/passa-a-passo-da-fabricacao-do-pannel-solar.html>. Acesso em: 13 dez. 2021.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. Decreto nº 38.057, de 19 de novembro de 2013.

PUC-Rio 2010. **Agenda Ambiental PUC-Rio.** Disponível em: http://www.puc-rio.br/downloads/agenda_ambiental.pdf. Acesso em: 28 ago. 2021.

SALGADO, Fernanda. Sustentabilidade. 2021. Slides. Curso de Graduação de Engenharia Civil. Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro. Acesso em: 20 ago. 2021.

SAN MATEO COUNTYWIDE WATER POLLUTION PREVENTION PROGRAM. **Technical Guidance for Specific Treatment Measures - Pervious Pavement.** In: SAN MATEO COUNTYWIDE WATER POLLUTION PREVENTION PROGRAM. **C.3 Regulated Projects Guide.** California: San Mateo Countywide Water Pollution Prevention Program, 2010. p. 45-54. Disponível em: https://www.flowstobay.org/wp-content/uploads/legacy_media/chapter-6-specific-treatment-measures-pervious-pavement.pdf#:~:text=A%20slope%20of%201%25%20is%20recommended%20for%20pervious,Figure%206-40%20in%20the%20typical%20details%20section%20below.. Acesso em: 27 out. 2021.

SIENGE. **Desperdício na construção civil: impactos no meio ambiente.** Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/desperdicio-na-construcao-civil-impactos-no-meio-ambiente/>. Acesso em: 13 dez. 2021.

SILVA, Alisson J.. Concreto permeável é alternativa na construção. **Diário do Comércio.** Belo Horizonte, p. 11-11. 02 fev. 2012. Disponível em: <https://site.abece.com.br/download/pdf/DA02P11I.PDF>. Acesso em: 27 out. 2021.

SILVA, Flávio. Materiais de Construção. 2021. Slides. Curso de Graduação de Engenharia Civil. Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro. Acesso em: 13 de set. 2021.



SOLAR INOVE. **Como Dimensionar um Sistema Fotovoltaico – Grupo A**. Disponível em: <https://blog.solarinove.com.br/como-dimensionar-um-sistema-fotovoltaico-grupo-a/>. Acesso em: 14 nov. 2021.

TEIXEIRA, Alexandre de Almeida; CARVALHO, Matheus Costa; LEITE, Leonardo Henrique de Melo. **Análise de viabilidade para a implantação do sistema de energia solar residencial**. E-xacta, Belo Horizonte, v. 4, n. 3, p.117-136, (2011). Editora UniBH. Disponível em: www.unibh.br/revistas/exacta/. Acesso em: 14 nov. 2021.

TECNOSIL. 2019. **Concreto Permeável: O que é e quais seus grandes atrativos?** . Disponível em: www.tecnosilbr.com.br/concreto-permeavel-o-que-e-e-quais-seus-grandes-atrativos>. Acesso em: 13 set. 2021.

TETRACON. 2015. **Saiba mais sobre como surgiu o concreto permeável (e suas principais vantagens para a humanidade)**. Disponível em: <https://tetraconind.com.br/blog/saiba-mais-sobre-como-surgiu-o-concreto-permeavel-e-suas-principais-vantagens-para-a-humanidade/>. Acesso em: 15 set. 2021.

TITAN PAVERS. 2020. **Our Favorite Permeable Paving Manufacturers for Landscapes and Streetscapes**. Disponível em: <https://www.titanpavers.com/our-favorite-permeable-paving-manufacturers-for-landscapes-and-streetscapes/>. Acesso em: 18 set. 2021.

UFES. 2019. **Pavimento permeável que reduz alagamento será utilizado na Barra do Jucu**. Disponível em:< <https://www.ufes.br/conteudo/pavimento-permeavel-que-reduz-alagamento-sera-utilizado-na-barra-do-jucu>>. Acesso em: 28 ago. 2021.

UFF. 2018. **Concreto permeável: UFF pesquisa soluções para uma urbanização sustentável**. Disponível em: <https://www.uff.br/?q=noticias/15-08-2018/concreto-permeavel-uff-pesquisa-solucoes-para-uma-urbanizacao-sustentavel>>. Acesso em: 20 set. 2021.

UOL. **Temporal deixa 6 mortos no Rio; cidade permanece em estágio de crise**. 2019. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2019/02/06/chuva-forte-inunda-hotel-na-zona-sul-do-rio-de-janeiro.htm>. Acesso em: 29 ago. 2021.



6 ANEXOS

ANEXO I – CRONOGRAMA DE OBRA PARA EXECUÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL E SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

[illegible]

[illegible]