

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

GRAZIELLE GONÇALVES INOCÊNCIO

**CONTRIBUIÇÃO DA COBERTURA DE TELHADO VERDE NO MUNICÍPIO DE
SÃO PAULO PARA A REGULARIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO DE
ITUMBIARA**

ITAJUBÁ - MG
2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

GRAZIELLE GONÇALVES INOCÊNCIO

**CONTRIBUIÇÃO DA COBERTURA DE TELHADO VERDE NO MUNICÍPIO DE
SÃO PAULO PARA A REGULARIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO DE
ITUMBIARA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Itajubá como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Orientador (a): Prof. Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu.

ITAJUBÁ - MG
2020

INOCÊNCIO, Grazielle Gonçalves

Contribuição da cobertura de telhado verde no município de São Paulo para a regularização do nível do reservatório de Itumbiara / Grazielle Gonçalves. – Itajubá: UNIFEI, 2020.

61 p.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu

1. Contribuição da cobertura de telhado verde no município de São Paulo para a regularização do nível do reservatório de Itumbiara

I. Assireu, Arcilan Trevenzoli. II. Universidade Federal de Itajubá. III. Mestre

**ATA DE APRESENTAÇÃO DISSERTAÇÃO DE MESTRADO.
CURSO DE MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS.
UNIFEI – UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

Em sessão às 14:30 horas do dia 28/08/2020 o (a) aluno (a) Grazielle Gonçalves Inocêncio apresentou a dissertação, intitulado Contribuição da cobertura de telhado verde no município de São Paulo para a regularização do nível do reservatório de Itumbiara como requisito para conclusão do Curso de Mestrado em Meio Ambiente e recursos Hídricos, perante uma Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:

Arcilan Trevenzoli Assireu	_____
Nome legível (orientador)	Assinatura
_____	_____
Nome legível (coorientadora)	Assinatura
Daniele Ornaghi Sant'anna	_____
Nome legível	Assinatura
Brenda Chaves Coelho Leite	_____
Nome legível	Assinatura

Aprovada ()

Aprovada com Restrições ()

Reprovada ()

Dedico este trabalho a minha sobrinha,
Giovanna Gonçalves Saragon Porfírio.

Dedico aos professores e a todos que
contribuíram para conclusão desta pós-graduação.

Dedico ao meu grande amigo, Rodrigo
Dalvi Guimarães que sempre me apoiou e deu
forças em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, agradeço a meu pai Deus, o criador divino por me dar forças a cada dia para concluir mais essa missão.

Aos professores que incentivaram e contribuíram para minha formação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu pela orientação e apoio.

A colega M.^a Iara Lima Ferraz por gentilmente ceder os dados levantados em seu trabalho de pesquisa, dados estes que foram fundamentais para o desenvolvimento da dissertação

A Profa. Dra. Daniele Ornagh Sant'anna pela atenção e auxílio.

A Profa. Dra. Brenda Chaves Coelho Leite por aceitar fazer parte da banca avaliadora do projeto, por toda atenção, auxílio e colaboração.

Ao Prof. Dr. Marcelo José Pirani por todo auxílio e atenção no qual foi peça fundamental para finalização do projeto.

A Profa. Dra. Ana Paula Mattos por ser minha inspiração e ter me dado todo apoio, atenção e colaboração do início ao fim do curso.

Aos funcionários da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) por sempre prestarem um excelente trabalho, na maioria das vezes entregando 110% de si, todos que passaram por minha vida foram excelentes, sou muito grata a todos vocês.

A Profa. Dra. Daniela Rocha Teixeira Riondet-Costa coordenadora do Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos (MEMARH) por toda ajuda e auxílio prestado com os tramites legais para finalização do curso, você foi fundamental, gratidão.

Ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP) por ceder os dados tão prontamente que foram base para toda a simulação proposta no projeto.

A CAPES pelo auxílio financeiro prestado, pois o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A minha mãe Maria Amália Gonçalves que incentivou e acreditou em minha vitória.

Ao meu grande amigo Rodrigo Dalvi Guimarães que sempre me forneceu apoio, atenção, carinho e incentivo em toda jornada.

Por fim, a todos aqueles que não foram citados, mas que contribuíram de alguma maneira, para o sucesso na concretização deste curso.

“Lute com determinação, abrace a vida com paixão,
perca com classe e vença com ousadia, porque o mundo
pertence a quem se atreve e a vida é muito para ser
insignificante.”

Charlie Chaplin

RESUMO

O crescimento urbano desordenado e a pouca preocupação com o uso e ocupação do solo, aliados a problemas como as ilhas de calor, ocasiona prejuízos à qualidade de vida dos cidadãos brasileiros. No século XXI, torna-se preponderante o uso de técnicas menos agressivas ao meio ambiente para o desenvolvimento sustentável. O telhado verde vem sendo utilizado e difundido cada vez mais por se tratar de uma estrutura a qual utiliza vegetação em sua composição e ser apontada por diversos autores como benéfica ao meio ambiente. Além disso, a sua utilização surge como alternativa para amenizar a temperatura do ambiente e uma ferramenta para alcançar o conforto térmico. Devido às mudanças climáticas, a procura por condicionamento artificial, com o intuito de manter o conforto térmico, tende a ser cada vez mais usual e crescente. Nos últimos anos a macrometrópole paulista sofre com a crise hídrica e energética o que torna crescente o interesse por planos que venham mitigar esses problemas. No intuito de minimizar esse quadro hídrico e energético, o trabalho avalia a economia de energia que poderia ser alcançada com o telhado verde em toda área de telhado dos domicílios disponível no município de São Paulo. A economia é advinda do conforto térmico gerado por tal cobertura vegetada e da não utilização de equipamento para resfriamento e aquecimento do ambiente interno. Constatou-se em um cenário intermediário e a partir da metodologia aplicada que é possível economizar no período de 1 ano com ar condicionado do tipo reverso em energia elétrica a ordem de 2434 TW com aquecimento e 303 TW com resfriamento para manter o ambiente interno na temperatura constante de 24°C, equivalente respectivamente a 5,70 e 0,71 metros de coluna d'água poupados. Considerando uma área média de 750 km² do reservatório de Itumbiara, percebe-se que o volume da água poupado é significativo.

Palavras-chave: infraestrutura vegetal, mudanças hidrológicas, economia energética e hídrica.

ABSTRACT

The untidy urban growth and the little concern with the use and occupation of the soil, allied to problems such as the heat islands, damage the quality of life of Brazilian citizens. In the XXI century, the use of techniques that are less aggressive to the environment for sustainable development becomes more prevalent. The green roof has been used and disseminated more and more because it is a structure that uses vegetation in its composition and is pointed out by several authors as beneficial to the environment. Also, its use appears as an alternative to reduce the ambient temperature and a tool to achieve thermal comfort. Due to climatic changes, the demand for artificial conditioning, with the intuition of maintaining thermal comfort, tends to be more and more usual and growing. In recent years, the São Paulo macro-metropolis has suffered from the water and energy crisis, which has increased the interest in plans that will mitigate these problems. In order to minimize this water and energy situation, the work evaluates the energy savings that could be achieved with the green roof in every roof area of the households available in the city of São Paulo. The savings come from the thermal comfort generated by such vegetated cover and the non-use of equipment for cooling and heating the internal environment. It was found in an intermediate scenario and from the applied methodology that it is possible to save in one year with air conditioning of the reverse type in electricity to the order of 2434 TW with heating and 303 TW with cooling to maintain the internal environment at constant temperature 24°C, equivalent to 5.70 and 0.71 meters of the saved water column, respectively. Considering an average area of 750 km² of the Itumbiara reservoir, it is clear that the volume of water collected is significant.

Keywords: plant infrastructure, hydrological changes, energy and water economy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Secas no Brasil de 2015 a 2017.....	20
Figura 2 - Esquema de diferentes componentes de telhado verde	23
Figura 3 - Laje vegetada (esq.) e laje de concreto (dir.)	30
Figura 4 - Fluxograma de projeto.....	37
Figura 5 - Mapa do Município de São Paulo	38
Figura 6 - Localização do Reservatório de Itumbiara	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Domicílios particulares permanentes	40
Tabela 2 - Área de telhado no Município de São Paulo	49
Tabela 3 - Economia anual das diferentes temperaturas	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Economia em Resfriamento nas diferentes temperaturas	51
Gráfico 2 - Economia em Aquecimento nas diferentes temperaturas	52
Gráfico 3 - Economia alcançada no Cenário Otimista (C1)	53
Gráfico 4 - Economia alcançada no Cenário Pessimista (C2)	54
Gráfico 5 - Economia alcançada no Cenário Intermediário (C3).....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
C1	Cenário 1
C2	Cenário 2
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CGH	Centrais de geração hidrelétrica
CIB	Conselho Internacional da Construção
ECP	Estado de calamidade pública
IAG ou IAG/USP	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
P1	Protótipo 1
P2	Protótipo 2
PCH	Pequenas centrais hidrelétricas
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PVC	Policloreto de vinil
SE	Situação de emergência
SIN	Sistema Interligado Nacional
S.P	São Paulo
UHE	Usinas hidrelétricas
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE UNIDADES

°C	Graus Celsius
cm	Centimetro
GWh	Gigawatt hora
h	Hora
K	Kelvin
kg	Quilograma
km ²	Quilômetro quadrado
km ³	Quilômetro cúbico
kW	Quilowatt
MJ	Megajoule
MW	Megawatt
mm	Milímetro
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
s ²	Segundos ao quadrado
TW	Terawatt
W	Watt

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 JUSTIFICATIVA.....	17
1.2 OBJETIVO	17
1.2.1 Objetivos específicos.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 DISPONIBILIDADE E USO DA ÁGUA NO BRASIL	18
2.2 MACROMETRÓPOLE PAULISTA	21
2.3 TELHADOS VERDES	22
2.3.1 Componentes.....	23
2.3.2 Telhado Verde no Brasil.....	26
2.3.3 Impactos Ambientais.....	27
2.4 GANHO ENERGÉTICO ADVINDO DA INSTALAÇÃO DE TELHADO VERDE.....	33
2.5 SIMULAÇÃO DE SISTEMA HÍBRIDO	35
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.1 REGIÃO DO ESTUDO	38
3.2 ÁREA DE TELHADO NO MUNÍCIPIO DE SÃO PAULO.....	39
3.3 CLIMATOLOGIA.....	41
3.4 CARGA TÉRMICA POUPADA.....	42
3.5 ENERGIA ELÉTRICA POUPADA	45
3.6 MODELO HÍBRIDO	45
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	49
4.1 ÁREA DE TELHADO NO MUNÍCIPIO DE SÃO PAULO.....	49
4.2 ECONOMIA ALCANÇADA EM POTÊNCIA	49
4.2.1 Cenário Otimista para manter o ambiente em 24°C	52
4.2.2 Cenário Pessimista para manter o ambiente em 24°C	53
4.2.3 Cenário Intermediário para manter o ambiente em 24°C	54
4.3 ECONOMIA ALCANÇADA EM CUSTO	55
5 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

O impacto ambiental é um assunto de suma importância por estar relacionado diretamente aos efeitos da ação do homem sobre o meio ambiente. A capacidade de recuperação do planeta está comprometida pelo grande crescimento populacional e ocupação urbana desordenada ao longo dos anos. Nas últimas décadas, a maior parte da população tem se concentrado nas áreas urbanas, para atender essa demanda populacional foram construídas áreas de concreto como casas, edifícios e calçadas, diminuindo cada vez mais as áreas verdes (RIGHI et al., 2016).

O desenvolvimento descontrolado durante séculos acarretou um impacto ambiental enorme, esses impactos estão sob a forma de mudanças hidrológicas e climáticas, escassez de água e alimentos e dos efeitos das ilhas de calor urbano. Essas mudanças hidrológicas, atreladas às secas prolongadas, trazem uma redução nos níveis dos reservatórios ao ponto de tornar o racionamento de energia necessário (MOURINO, ASSIREU e PIMENTA, 2016). Portanto, é crescente o interesse na busca por tecnologias menos agressivas e pelos combustíveis renováveis.

Na busca para suprir a falta de áreas verdes nas grandes cidades, um novo conceito tem ganhado maior destaque, que são os telhados verdes, uma proposta sustentável que vem a contribuir para balancear o concreto e a vegetação, o que gera muitos impactos positivos ao meio ambiente (RIGHI et al., 2016). Em contraste com os jardins suspensos tradicionais, essas coberturas vegetadas são estruturalmente projetadas e concebidas para combater a urbanização. Se bem projetado, o teto verde se torna uma solução eficiente que intercepta parte da precipitação, diminuindo o escoamento superficial, podendo ser utilizado em larga escala para reduzir o problema das inundações. Este contribui, ainda, para a redução da poluição, diminuição da emissão de dióxido e monóxido de carbono (CO_2 e CO) e redução da temperatura interna da construção, que o torna ainda mais interessante devido à diminuição do gasto de energia com equipamentos para condicionamento artificial do ambiente (VIJAYARAGHAVAN, 2016). Em razão das mudanças climáticas, com intuito de alcançar o conforto térmico dos usuários, tais equipamentos vêm sendo cada vez mais utilizados. Devido os preços mais acessíveis e diferenças na temperatura mais elevadas a cada ano que passa, a tendência é que o condicionamento artificial dos ambientes internos se torne a realidade da população brasileira.

Uma pesquisa realizada na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo avaliou o desempenho térmico de duas pequenas construções (protótipos com cerca de 4m² de área cada) por meio de sensores fixos, uma sendo com cobertura verde (P1) e a outra com cobertura de telhas cerâmicas (P2). Essa análise foi feita em um período de 10 meses e pode ser constatado que o sistema vegetal promove menor gasto energético com condicionamento artificial para que o ambiente seja mantido à uma temperatura constante de 24°C (referência para conforto indicado pela NBR 16401/08). Houveram diferenças consideráveis entre os valores de carga térmica dos protótipos. No verão, para resfriar em P2, seria necessário retirar uma carga de cerca de 60W maior que em P1, enquanto, para aquecer, essa diferença chegou a ordem de 45W. Durante o inverno, P2 exigiria equipamentos até 100W mais potentes que em P1 para aquecer (FERRAZ, 2012).

Em um trabalho efetuado por Mouriño, Assireu e Pimenta (2016) foi avaliada a possibilidade de complementar o sistema hídrico com energia solar. No esquema analisado, os painéis solares fornecem geração extra, de modo que a vazão hidrelétrica pode ser reduzida de acordo com a produção solar. A região de estudo foi o reservatório de Itumbiara, localizado na bacia hidrográfica do Rio Paraná, Brasil. A pesquisa cria um cenário hipotético onde a área de telhado disponível no município de São Paulo é coberta por painéis solares, a inserção da energia solar resultante foi aplicada a um modelo híbrido solar-hídrico, em que o fluxo de saída da turbina é reduzido em conformidade com a produção de energia solar, sendo alcançado assim um armazenamento em longo prazo. Os resultados sugeriram que o sistema híbrido pode melhorar a capacidade do reservatório para enfrentar a variabilidade climática interanual.

Sabendo da economia que pode ser alçada com o telhado verde, esta dissertação tem como objetivo principal estimar, a partir do modelo híbrido desenvolvido por Pimenta e Assireu (2015) e adaptado por Mouriño, Assireu e Pimenta (2016), a energia poupada pela simulação da eventual instalação de telhados verdes nas áreas de telhado dos domicílios particulares permanentes disponíveis no senso demográfico da cidade de São Paulo, e a influência no nível de água de um reservatório piloto. A hipótese é que devido às mudanças climáticas, a população do município de São Paulo, com intuito de manter o conforto térmico em 24°C nos ambientes internos dos domicílios, utilizam o condicionamento artificial de ar tanto para aquecer quanto para resfriar, ligado 24 horas por dia. Portanto, o modelo proposto propiciará armazenamento de água em longo prazo garantindo maior segurança na disponibilidade hídrica e na distribuição de energia elétrica devido à economia de energia gerada com a diminuição do uso de equipamentos de ar condicionado em razão da instalação do telhado verde em todas as coberturas dos domicílios da cidade.

1.1 JUSTIFICATIVA

No Brasil, 59,8% da energia gerada provem da energia hidráulica, seguida de 20,8% da energia térmica, 15,2% da energia eólica, 3,9% da energia nuclear e 0,3% da energia solar (ONS, 2019). A maior parte do sistema de energia no país vem da hidroeletricidade e devido à grande demanda de água que existe nos centros urbanos no período de seca, este recurso pode se tornar escasso. Isto afeta os reservatórios de água e conseqüentemente a geração de energia, uma vez que a energia hidráulica depende diretamente da disponibilidade hídrica, tornando o sistema vulnerável nesse período.

Segundo Mouriño, Assireu e Pimenta (2016), no início de 2015 vários reservatórios atingiram os níveis mais baixos, enfrentando uma grave crise hídrica. Um dos maiores reservatórios do sistema de Furnas, o reservatório de Itumbiara atingiu menos de 11% de sua capacidade nesse período, por isso escolheu-se este como reservatório de estudo.

Arelado a isto, está a alta demanda de energia elétrica nos períodos quentes do ano, onde a maioria da população adquire equipamentos de condicionamento artificial de ar, sobrecarregando a rede elétrica e intensificando os efeitos das ilhas de calor. A economia de energia para climatização advinda da cobertura verde pode ter impacto positivo nesta demanda, diminuindo assim o déficit energético nestes períodos do ano e, portanto, poupando os recursos hídricos (FERRAZ, 2012).

1.2 OBJETIVO

O objetivo geral do presente trabalho é estimar a energia poupada a partir da eventual instalação de telhados verdes na área de telhado dos domicílios da cidade de São Paulo, e estudar a influência dessa economia no nível de um reservatório piloto.

1.2.1 Objetivos específicos

- Estimar a área de telhado da cidade de São Paulo, com vistas a instalação de um modelo específico de telhado verde;
- Efetuar uma análise climatológica, a partir dos dados de temperatura de bulbo seco medidas nos últimos 30 anos, para estimar sua economia anual;
- Quantificar a energia poupada em climatização devido a instalação do telhado verde nos cenários otimista, pessimista e intermediário;
- Converter energia elétrica economizada em nível de água poupada no reservatório piloto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As mudanças climáticas têm criado grandes problemas na vida dos cidadãos, e isto se deve ao grande crescimento populacional e ocupação desordenada do solo ao longo dos anos. Devido à maioria do solo estar sendo ocupada e o crescimento da pavimentação, as áreas verdes vêm sendo drasticamente diminuídas, fazendo com que em épocas de chuva intensa a água não seja absorvida pelo solo, gerando inundações e deterioração dos corpos hídricos. Outro problema está relacionado ao fato de que sem a vegetação os raios solares são absorvidos, ocasionando aumento das temperaturas e conseqüentemente os efeitos da ilha de calor.

O setor da construção civil tem papel fundamental para a realização dos objetivos globais do desenvolvimento sustentável segundo o Ministério do Meio Ambiente Brasileiro. A indústria da construção foi apontada pelo Conselho Internacional da Construção – CIB como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais. É estimado que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam provenientes da construção (RIGHI et al., 2016).

No Brasil a água é utilizada para abastecimento humano, animal, industrial e agrícola, além de também ser utilizada para geração de energia elétrica entre outros tantos usos. Em épocas de seca devido à grande demanda existente em centros urbanos a água se torna escassa, atingindo os reservatórios, que afeta diretamente na geração de energia. Deste modo, se torna primordial o estudo de técnicas construtivas para controlar a relação entre construção e meio ambiente.

O telhado verde é uma proposta sustentável que vem ganhando mercado cada vez mais. Com a sua implementação em grandes centros urbanos espera-se criar corredores que facilitem a circulação atmosférica, melhore o clima, reduza o consumo de energia, diminua o uso do ar condicionado em regiões quentes e isolem o frio em regiões com invernos rigorosos (RIGHI et al., 2016).

2.1 DISPONIBILIDADE E USO DA ÁGUA NO BRASIL

Atualmente no Brasil, em quantidade utilizada de água, a irrigação consome 52%, sendo seguido com 23,8% para o abastecimento humano e 9,1% industrial, totalizando cerca de 85% do total retirado. A demanda pelo uso da água no país é crescente, estima-se que o total retirado de água nas últimas duas décadas seja de aproximadamente 80%; a previsão é que esta retirada

aumento 24% até 2030. Este histórico de evolução de uso está relacionado ao processo de urbanização do país e desenvolvimento econômico (ANA, 2018).

Ainda ANA (2018), aponta que os baixos índices de precipitação, temperaturas elevadas, irregularidade do regime, entre outros fatores, contribui para os reduzidos valores de disponibilidade hídrica observados no Nordeste Brasileiro, em particular no Nordeste Setentrional (estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco) e na região Semiárida. São construídas obras de infraestrutura visando garantir a segurança hídrica das bacias hidrográficas e também com a intenção de amenizar os impactos das cheias e secas, destacando-se os reservatórios artificiais, que potencializam a disponibilidade hídrica superficial. Estes reservatórios, além de armazenarem água nos períodos úmidos podem liberar parte do volume armazenado nos períodos de estiagem, regularizando e diminuindo as flutuações sazonais das vazões. Em 2017 possuíam 172.837 reservatórios artificiais mapeados no país, ocupando uma área superficial de quase 45 mil km², 1.959 destes reservatórios possuem a informação de capacidade total de armazenamento, o que totaliza 620,4 bilhões de m³ no país, 92,7% deste valor representado pelos reservatórios de geração de energia hidrelétrica.

A maior capacidade de armazenamento de água encontra-se em três regiões hidrográficas: Paraná, Tocantins-Araguaia e São Francisco, totalizando mais de 266 bilhões de m³, sendo cerca de 88% do volume útil total dos 160 reservatórios integrantes do Sistema Interligado Nacional (SIN) de geração de energia hidrelétrica. Estes reservatórios estão em níveis extremamente baixos por conta dos volumes totais de chuva nos períodos úmidos de 2012 a 2017 terem sido muito abaixo da média, o que resultou em reduzidas recargas dos reservatórios devido ao atendimento às demandas de água dos diversos usos. Embora o ano de 2017 tenha sido mais úmido que o ano de 2016, ainda assim, foi bastante seco em algumas regiões do país (ANA, 2018).

Apesar da geração de energia hidrelétrica ser um importante uso da água, este não é caracterizado como consumo. Em 2017, o Brasil possuía 1.335 empreendimentos hidrelétricos em operação, sendo 221 usinas hidrelétricas (UHE), 432 pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e 682 centrais de geração hidrelétrica (CGH). Considerando todas as fontes de energia, os dados da evolução da capacidade de produção de energia elétrica instalada no Brasil revelam que em 2017 houve um acréscimo de 7.393 MW na capacidade total do sistema, superando em mais de 1.000 MW a previsão de potência instalada para o ano. Deste acréscimo total ao sistema, 3.306 MW foram referentes à geração hidrelétrica, incluindo as UHE, PCH e CGH (ANA, 2018).

Devido ao crescimento populacional e atividades econômicas intensivas no uso da água existe um crescimento nas demandas hídricas no Brasil, o que contribui para um aumento do

stress hídrico, com o passar dos anos. Os padrões de distribuição das chuvas variam naturalmente e apresentam eventos extremos decorrentes do seu excesso ou da escassez. No Brasil as estiagens e inundações representam a grande maioria dos desastres naturais ocorridos. Dos 5.570 municípios brasileiros, 48% (2.680) decretaram Situação de Emergência (SE) ou Estado de Calamidade Pública (ECP) devido a cheias, pelo menos uma vez de 2003 a 2017. Cerca de 89% (2.375) desses municípios localizam-se nas regiões Nordeste, Sul e Sudeste. Quanto à seca ou estiagem, cerca de 51% (2.839) dos municípios brasileiros decretaram SE ou ECP no mesmo período. Em 2017, cerca de 38 milhões de pessoas foram afetadas por secas e estiagens no Brasil, quase 13 vezes mais quando comparado às afetadas por cheias. Foram apontados 2.551 eventos de seca associados a danos humanos, aproximadamente 4 vezes mais que os de cheias (661). Nos últimos 5 anos, 2017 foi o mais crítico quanto aos impactos da seca sobre a população conforme pode ser observado na Figura 1 (ANA, 2018).

Figura 1 - Secas no Brasil de 2015 a 2017



Fonte: ANA (2018).

Cerca de 80% das pessoas afetadas por secas em 2017 vivem na Região Nordeste. Bahia, Ceará e Pernambuco totalizaram 55,5% dos registros do país. No Distrito Federal foi registrada a maior média de pessoas afetadas por estes eventos, e toda a população foi afligida pelo racionamento de água no ano de 2017 em função da crise hídrica que se instaurou. Em abril de 2018, a criticidade no abastecimento urbano diminuiu, porém, 34 cidades dos Estados da Bahia, Ceará e Paraíba (aproximadamente 323 mil habitantes de população urbana), em função do esgotamento de mananciais, ainda se encontravam em crise no abastecimento.

Em 2017 a segurança energética do Brasil foi colocada em risco devido ao reduzido nível de armazenamento dos reservatórios que compõem o SIN. Visando evitar um

acionamento de energia no país, a política de operação das matrizes energéticas adotada pelo setor elétrico maximizou a geração das usinas termelétricas, preservando os estoques acondicionados nos reservatórios das UHEs, principalmente os localizados nas cabeceiras das bacias hidrográficas dos rios Grande, Paranaíba e Tietê, na Região Hidrográfica do Paraná. Essa decisão de preservar os volumes nos reservatórios de cabeceira acarretou na redução das aflúências aos reservatórios localizados a jusante nessas bacias o que causou a redução dos estoques armazenados como um todo (ANA, 2018).

Todos os usos da água são afetados pela crise hídrica, com maior ou menor intensidade, inclusive usos não consuntivos como navegação, pesca, turismo e lazer. As causas de uma crise hídrica não podem ser reduzidas apenas às menores taxas pluviométricas verificadas em um determinado período, pois outros fatores relacionados à gestão da demanda de água e à garantia da oferta de água são importantes para atenuar ou agravar sua ocorrência (ANA, 2018).

2.2 MACROMETRÓPOLE PAULISTA

O estado de São Paulo tem uma área de 248.219,481 km² e população estimada de 45.538.936 pessoas (IBGE, 2018). Em São Paulo atuam mais de 18,6 milhões de unidades consumidoras, as distribuidoras de energia elétrica atendem a um consumo anual de eletricidade de cerca de 145 mil GWh. A indústria paulista absorve cerca de 36,5% de toda energia utilizada no Estado. As residências são responsáveis por mais de 30% do consumo, seguidos pelo comércio com 22,2% e os demais setores com aproximadamente 11,3%. São Paulo tem capacidade instalada de aproximadamente 23 GW, o que corresponde a 15% da geração brasileira. As hidrelétricas são responsáveis por 65% da produção paulista (SÃO PAULO, 2018).

O Sistema Cantareira foi impactado fortemente pela crise hídrica de 2014/2015. Responsável pelo abastecimento de quase metade da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), considerada a maior aglomeração populacional do Brasil, o sistema está localizado em área de cabeceiras da Região Hidrográfica do Paraná e a bacia do Rio Paraíba do Sul. Em maio de 2017 foi publicada Resolução Conjunta da ANA e do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE) nº 925/2017 com o objetivo de estabelecer as condições de operação para o Sistema Cantareira. Levando em conta a importância dos impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos, especialmente no agravamento de eventos hidrológicos críticos e na alteração da estacionariedade das séries hidrológicas, o sistema passou a operar com base em faixas determinadas pelo volume útil armazenado no mesmo.

Ainda em 2017, foram observadas vazões afluentes abaixo da média ao Sistema Cantareira. Apesar disso, em dezembro o sistema chegou a aproximadamente 41% de seu volume útil, valor acima do observado no mesmo período de 2014 e 2015, quando houve a maior crise hídrica de sua história (ANA, 2018).

2.3 TELHADOS VERDES

Os telhados verdes são caracterizados como toda cobertura ou telhado que agrega em sua composição uma camada de solo ou substrato e outra de vegetação proporcionando, além de beleza, benefícios ambientais e econômicos. Não é uma técnica nova no contexto histórico, em torno de 500 a.C. foram construídos os famosos jardins suspensos da Babilônia. O conceito é antigo, porém com os avanços tecnológicos esse sistema tornou-se muito mais prático, eficiente e benéfico (VIJAYARAGHAVAN, 2016).

Ainda, Vijayaraghavan (2016) classifica os telhados verdes em intensivos, semi-intensivos e extensivos. Os do tipo intensivos são caracterizados por uma espessa camada de substrato (20-200 cm) e, devido essa maior profundidade de solo, aceita grande variedade de plantas (incluindo arbustos e pequenas árvores) o que acaba por exigir alta manutenção (na forma de fertilização, capina e irrigação), custo de capital elevado e maior resistência ao peso pela estrutura. Por outro lado, os extensivos são caracterizados por uma fina camada de substrato (menos de 15 cm), baixo custo de capital, baixo peso e mínima manutenção. Porém, devido à camada de substrato fina, o telhado extensivo acomoda um tipo limitado de vegetação que inclui gramíneas, musgos e algumas plantas suculentas. Deste modo, esse sistema é comumente usado nas situações em que nenhum apoio adicional estrutural é desejado. Já os semi-intensivos (15-20 cm) possui a camada de substrato moderadamente grossas acomodando pequenas plantas como herbáceas, forrações, gramíneas e arbustos de pequeno porte. Porém, essas coberturas requerem manutenção frequente, bem como sustentar os custos elevados de capital. Os telhados verdes extensivos são os mais comuns em todo o mundo, devido a restrições de peso de construção, custos e manutenção.

Os telhados verdes podem ainda ser definidos como acessíveis possuindo área aberta ao uso de pessoas, como por exemplo, um jardim suspenso ou um terraço, isto proporciona benefícios sociais aos seus usuários e agrega valor comercial ao edifício. Já os definidos como inacessíveis, não permitem a circulação de pessoas, podendo ser planos, curvos e com inclinações. A frequência da manutenção, irrigação, fertilização e poda de raízes dependerá das espécies escolhidas no projeto e os objetivos do mesmo, segundo concluiu Araújo (2007).

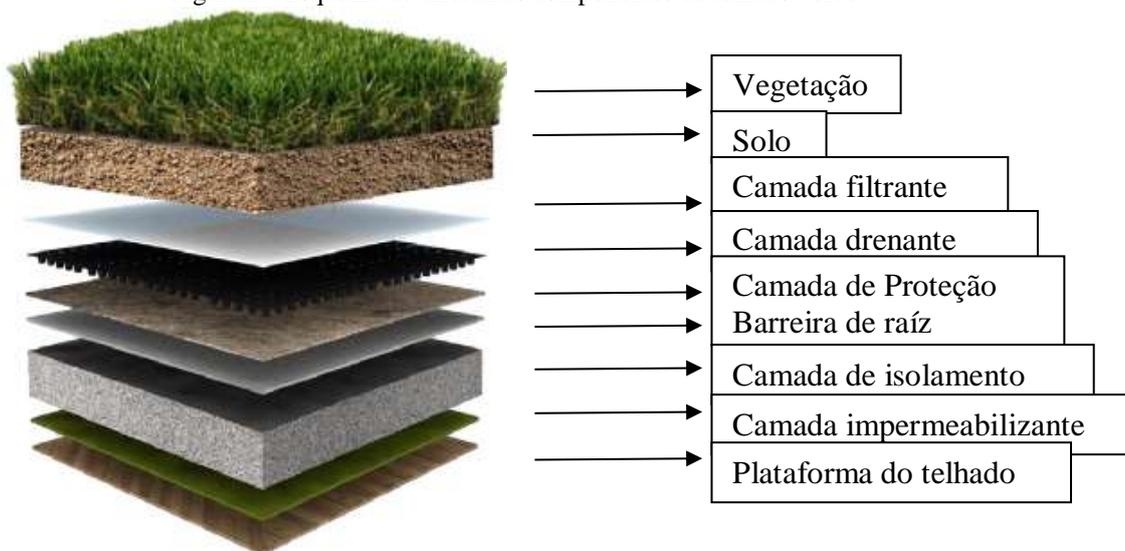
O telhado verde não funciona como uma estrutura independente, sendo necessária a execução de uma sub-base ou sub-telhado, como apoio para as telhas ecológicas. Este sub-telhado é igual ao telhado convencional que pode ser de fibrocimento, telha metálica, laje de concreto impermeabilizada, telha cerâmica e/ou geomembrana de Polietileno de Alta Densidade PEAD (RIGHI et al., 2016).

2.3.1 Componentes

Os fabricantes oferecem diferentes sistemas de telhados verdes ao mercado para atender diferentes condições climáticas e expectativas dos usuários (BIANCHINI; HEWAGE, 2012).

Segundo Vijayaraghavan (2016) dependendo da localização e das exigências, os telhados verdes geralmente compreendem-se de vários componentes como listados na Figura 2.

Figura 2 - Esquema de diferentes componentes de telhado verde



Fonte: Vijayaraghavan (2016).

A vegetação é a camada superior que adiciona vida ao sistema e seu sucesso depende do quão saudáveis as plantas estão. Tendo em conta o ambiente extremo em telhados, para o telhado verde do tipo extensivo, a vegetação deve possuir algumas características favoráveis. As plantas necessitam ter capacidade de resistir a condições de seca, sobreviver em condições nutricionais mínimas, possuir uma boa cobertura do solo, exigir menor manutenção, ter uma multiplicação rápida, possuir raízes curtas e macias e ter a capacidade de fitorremediação (VIJAYARAGHAVAN, 2016). É importante dar preferência a plantas locais mais resistentes à chuva e à estiagem e que exijam pouca rega e poda (ARAÚJO, 2017).

As plantas são responsáveis por processos de retenção e evapotranspiração e desempenham um papel importante na regulação do escoamento das águas pluviais. A

vegetação deve ser adequada às condições climáticas da região, por esse motivo o tipo de vegetação mais popular para telhados verdes extensivos tem sido o musgo e o sedum. Os musgos precisam de menos cuidado para manter suas funções fisiológicas e geralmente não excedem 10 cm de altura. Nos telhados verdes intensivos são utilizadas plantas como gramíneas, ervas, arbustos, árvores pequenas e até árvores frutíferas pequenas ou vegetais que podem variar sua altura de 10 cm a mais de 100 cm (BIANCHINI; HEWAGE, 2012).

A camada de solo serve de suporte para vegetação aplicada, fornecendo água e nutrientes necessários para manutenção das plantas. É desejado que o substrato possua baixa densidade, mínimo teor de matéria orgânica, alta capacidade de retenção de água, alta porosidade, alta condutividade hidráulica, menor lixiviação, alta capacidade de sorção, alta estabilidade, boa ancoragem e grande apoio a variedade de plantas (VIJAYARAGHAVAN, 2016).

O solo também é responsável pelo desempenho térmico e retenção de água. Proporcionando um espaço para as raízes das plantas se estabelecerem e fortalecerem, podendo as mesmas suportar a força do vento e outras condições climáticas difíceis, nas coberturas dos telhados. O solo pode ter argila e partículas orgânicas que quando saturadas podem ter um elevado peso, levando vários fabricantes a desenvolver seus próprios substratos vegetais devido às limitações de peso dos sistemas. A fim de atender aos requisitos naturais da vegetação selecionada o conteúdo do substrato pode ser modificado. A espessura desta camada está relacionada à vegetação, espécies pequena como os musgos, requer menor profundidade para suas raízes do que um arbusto pode exigir (BIANCHINI; HEWAGE, 2012).

O conteúdo específico do substrato é cuidadosamente mantido em sigilo pelos fabricantes. Todas as plantas precisam de matéria orgânica para crescer, no entanto, alguns tipos precisam mais do que outros. Plantas maiores como pequenas árvores e arbustos requerem mais nutrientes presentes no meio de cultivo. Os telhados verdes intensivos podem ter até 45% de conteúdo orgânico, enquanto o extensivo pode ter até 30%. O conteúdo orgânico geralmente é composto de solo com turfa de musgo, casca, serragem ou folhas para fornecer nutrientes suficientes para as plantas; contudo, a decomposição da matéria orgânica reduz o volume do meio de cultivo, podendo causar exposição prejudicial às raízes da planta. No intuito de solucionar este problema, a parte não orgânica do meio de cultivo deve ser uma mistura de areia, escoria e minerais porosos que são leves. O objetivo final da produção do meio de cultivo é manter um equilíbrio adequado entre peso, nutrientes para plantas, espessura e durabilidade (BIANCHINI; HEWAGE, 2012).

A camada de retenção de água, além de reter a água para o controle de escoamento, também mantém a camada de solo úmida, o que nutre e ajuda a vegetação a ser saudável para sobreviver em tais condições. A retenção de águas também diminui e atrasa a água de escoamento no sistema de esgoto de águas pluviais da cidade. Esta camada geralmente é uma esteira feita de lã mineral ou fibras poliméricas e instalada logo acima da camada filtrante. A profundidade de cada tapete pode variar de 1,0 cm a 6,5 cm dependendo do tipo de telhado verde e do peso adicional que a estrutura será capaz de comportar, podendo ser combinados, instalando um acima do outro, para atender às necessidades de diferentes projetos (BIANCHINI; HEWAGE, 2012).

A camada filtrante em geral é feita com tecido geotêxtil, devendo ter elevada resistência à tração e pequenos poros. O objetivo desta é servir como filtro e não deixar que ocorra a perda do solo e obstrução dos espaços vazios da camada drenante, impedindo assim a infiltração de material fino durante o processo de drenagem. Além disso, a camada de filtro mantém a integridade do solo e da vegetação. Materiais como fibras poliméricas ou poliolefinas são usados para fabricar a camada de filtro fina e leve. O filtro está ligado à camada de drenagem para facilitar a instalação fácil. Como as informações da camada de filtro são mostradas como parte da camada de drenagem, não há informações técnicas disponíveis para especificar sua espessura e peso (BIANCHINI; HEWAGE, 2012).

A camada drenante serve para escoar a água em excesso no solo até ao captor final, evitando alagamentos e estresses nas culturas presentes. Podendo em períodos de seca também servir como um reservatório de certa quantidade de água para as vegetações. Estas podem ser fabricadas em painéis modulares ou materiais granulares (argila expandida, xisto expandido, pozolanas e placas cerâmicas nervuradas). Os materiais granulares devem ser o mais uniforme possível a fim de obter o máximo índice de vazios para melhor escoamento da água (VIJAYARAGHAVAN, 2016).

A camada drenante ainda faz com que diminua o risco de vazamento de água para o conjunto de cobertura. Além disso, a água adiciona um peso extra ao conjunto do telhado; portanto, é essencial garantir uma boa drenagem para manter a capacidade estrutural da cobertura. A drenagem efetiva protege a barreira radicular do excesso de água que pode ser acumulado na membrana. O excesso de água na barreira das raízes encoraja as raízes das plantas a crescer e danificar a barreira radicular e o conjunto da cobertura. O tipo do material usado para a drenagem dependerá do sistema de telhado verde escolhido, das condições climáticas e da montagem do telhado. Materiais leves e finos, como polietileno e polipropileno, são preferidos para construir telhados verdes extensivos devido a limitações de peso. Os

entrevistados dos fabricantes de telhados verdes declararam que sua preferência por relés baseados em polímeros é devido à sua flexibilidade de transporte em rolos, fácil instalação, alta resistência, durabilidade e baixo custo de produção. Dependendo do sistema de telhado verde e do tipo de drenagem, a espessura da camada pode variar de 1,0 cm a 1,5 cm. Os tetos verdes intensivos são projetados para manter cargas maiores; portanto, a camada de drenagem pode ser mais pesada e mais simples, fazendo uso da drenagem natural, a espessura da camada pode ser de 4 cm ou mais (BIANCHINI; HEWAGE, 2012).

A membrana de proteção contra raízes serve para proteger fisicamente a impermeabilização da laje contra o crescimento das raízes da cobertura vegetal, para que a mesma, não afete e perfure o concreto, sendo obrigatória para coberturas verdes intensivas, enquanto opcional para o tipo extensivo (VIJAYARAGHAVAN, 2016). Existem dois tipos diferentes de barreiras radiculares no mercado: físico (folhas de plástico rígido ou metal) e químico. As barreiras físicas consistem em uma camada fina, geralmente cerca de 0,05 cm, de um material de polietileno de baixa densidade ou de polietileno que é colocado acima do conjunto de cobertura. As barreiras químicas usam toxinas como produtos à base de cobre para inibir a penetração da raiz (BIANCHINI; HEWAGE, 2012).

A camada impermeabilizante é uma das mais importantes dentre todos os componentes, esta serve para proteção da laje contra umidade. Podendo ser encontrada em forma de líquido, argamassa ou mantas (VIJAYARAGHAVAN, 2016). É de extrema importância se atentar quanto à impermeabilização da laje onde será construído o telhado verde, para não comprometer a estrutura da edificação devido a infiltrações futuras que podem ocorrer se esta camada for negligenciada (ARAÚJO, 2007). Deste modo, a prevenção de vazamento é um dos objetivos mais importantes de qualquer projeto de sistema de telhado verde. Em caso de vazamento em um telhado verde operacional, todas as camadas precisam ser removidas para localizar o vazamento (BIANCHINI; HEWAGE, 2012).

2.3.2 Telhado Verde no Brasil

No Brasil, uma das maiores dificuldades para implementação da sustentabilidade no setor da construção civil, diz respeito à falta de iniciativas públicas de infraestrutura, o que acaba elevando, e muito, o custo de uma casa ou um prédio sustentável (RIGHI et al., 2016). Portanto, esse sistema construtivo ainda não é muito usado e começam a surgir leis de incentivo por parte do governo como forma de disseminação do mesmo. A Comissão de Desenvolvimento Urbano da Câmara dos Deputados aprovou incentivo fiscal a prédios que instalem "telhado verde" em pelo menos 65% de suas coberturas. A iniciativa está prevista no Projeto de Lei

1703/11, do deputado Jorge Tadeu Mudalen (DEM/SP), a proposta tem caráter conclusivo e ainda será analisada pela Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania, o benefício poderá ser fixado em lei estadual ou municipal (BRASIL, 2015).

Foi criado em agosto de 2007 o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), que tem como objetivo induzir o setor da construção a utilizar práticas mais sustentáveis, melhorando a qualidade de vida dos usuários, dos trabalhadores e do entorno das edificações. O CBCS é composto por diversos comitês que tratam de assuntos específicos relacionados à sustentabilidade no setor, como materiais e finanças (além dos óbvios, água e energia) (RIGHI et al., 2016).

Atualmente, em algumas cidades tais como Salvador e Florianópolis, o teto verde vem sendo implementado em pontos de ônibus. Nesta última, nas paradas de ônibus em que foram instalados esse sistema, houve uma redução significativa, em torno de 10°C, dentro do ponto (PUCHERT, 2016).

Em Recife foi aprovada a Lei Municipal 18.112/2015 que torna obrigatório o uso dessa tecnologia em prédios residenciais a serem construídos com mais de 4 pavimentos. O projeto de lei prevê ainda, para novos imóveis, residenciais e comerciais, com área de solo acima de 500 m² e que tenham 25% do terreno impermeabilizado, a construção de reservatórios para captação de água da chuva (ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO, 2015).

Já existem algumas empresas especializadas em telhado verde no país, empresas essas que comercializam produtos específicos para a construção do teto verde de forma a garantir sua estabilidade.

2.3.3 Impactos Ambientais

A ideia é transformar os telhados verdes em “pequenos pulmões” das grandes cidades criando corredores que facilitem a circulação atmosférica, melhore o clima, reduza o consumo de energia, provoque um decréscimo no uso do ar condicionado em regiões quentes e isolem o frio em regiões com invernos rigorosos, já que sob um telhado coberto de vegetação, as baixas temperaturas demoram mais para serem atingidas os espaços internos, um problema de pouca importância ainda para o Brasil, mas essencial para países europeus e regiões montanhosas do México e Bolívia (RIGHI et al., 2016).

São muitos os impactos que o telhado verde traz ao meio ambiente, estes estão na forma de impactos positivos e negativos, conforme poderá ser observado adiante.

2.3.3.1 Impactos Positivos

Segundo levantamento bibliográfico são diversos os impactos positivos que as coberturas vegetadas agregam ao meio ambiente, estas trazem inúmeras contribuições para as edificações e para a sociedade. Os benefícios vão desde a atenuação das águas pluviais a fatores estéticos.

O telhado verde vem sendo utilizado como solução parcial para os vários problemas ambientais comuns nas grandes cidades. A estrutura ajuda na redução da poluição devido à capacidade das plantas de limpar o ar e melhorar sua qualidade, diminui também a poluição sonora decorrentes das estradas, ferrovias e tráfego aéreo absorvendo as ondas sonoras sobre o telhado, além de ser uma iniciativa sustentável eficiente na busca por mais espaços verdes nos centros urbanos o que pode restaurar a biodiversidade perdida oferecendo um lugar seguro para pássaros, insetos, besouros, borboletas, entre outros. (SILVA, 2011).

As áreas urbanas geralmente têm níveis mais altos de toxinas no ar, a vegetação urbana pode ser parte da solução para reduzir a contaminação do ar a um nível aceitável, isto devido à fotossíntese das plantas separarem o dióxido de carbono do ar e armazená-lo como biomassa (BIANCHINI; HEWAGE, 2012).

Segundo Vijayaraghavan, (apud MENTENS et al. e CHEN et al., 2016, p. 742): “Os telhados verdes são conhecidos por reter a água da chuva e pelo atraso do pico de fluxo, assim, reduzindo o risco de inundações”. Ainda Vijayaraghavan (apud NAGASE et al., 2016): “Quando a água da chuva entrar no telhado verde, uma porção de água será absorvida pelo substrato de crescimento ou retida nos espaços porosos. Também pode ser absorvida pela vegetação e armazenada em tecidos vegetais ou transpirada de volta para a atmosfera”.

Estrutura hidrológicamente eficiente é como o teto verde tem sido apontado, isto se deve ao fato de que, quando comparado ao telhado convencional, o mesmo auxilia na diminuição do pico de vazão da onda de cheia e na retenção hídrica. A cobertura verde é capaz de controlar a quantidade de água de escoamento que pode entrar no sistema de drenagem da cidade, sendo assim, responsável pela atenuação das águas pluviais. No entanto, conforme mencionam alguns autores, seu efeito sobre as vazões geradas por precipitações em áreas urbanas é dependente da estrutura do telhado, especificamente quanto ao tipo de substrato e sua profundidade, inclinação, tipo de vegetação, etc. (MORUZZI; MOURA; BARBASSA, 2014). Nas regiões de chuva intensa, as áreas naturais podem reter de 15% a 70% do volume de águas pluviais, prevenindo desta forma a ocorrência de enchentes. Estudos demonstram que para uma cobertura

verde leve de 100 m², cerca de 1400 litros de água de chuva deixam de ser enviados para a rede pública (RIGHI et al., 2016).

Em relação à temperatura das edificações, há uma melhora tanto no inverno como no verão. Estudos de bioclimatismo indicam que, com o uso de coberturas vivas seja possível melhorar as condições térmicas no interior da edificação em 30%, sem recorrer a ar condicionado ou a sistemas de climatização artificiais (RIGHI et al., 2016). Como as ilhas de calor urbanas elevam a temperatura em áreas suburbanas e urbanas, elas acabam aumentando a demanda por aparelhos de ar condicionado e iniciam um ciclo de consumo de energia que contribui para o aquecimento global devido ao dióxido de carbono que é liberado de usinas elétricas (RIGHI et al., 2016). Ainda, de acordo com Araújo (2007), o desempenho térmico interno e externo dos edifícios é favorecido devido uso do telhado verde, o que proporciona maior conforto ao entorno da construção e aos seus usuários. Pela presença de plantas no local, essas áreas tendem a ficarem mais úmidas, o que proporciona uma maior área com cobertura vegetada, conseqüentemente, melhorando à qualidade do ar e o clima local.

Em virtude das várias funções da vegetação, como a sombra produzida pelas plantas e seu poder de evapotranspiração, os telhados verdes mantém constante a umidade relativa do ar em torno das edificações, desempenhando um papel importante no estabelecimento de microclimas e na atenuação do efeito urbano chamado de “ilhas de calor” que são criados pelo excesso de superfícies reflexivas e impermeáveis nas cidades e nos subúrbios, purificando a atmosfera e cooperando para a redução dos níveis de dióxido de carbono produzidos pelos veículos, indústrias e sistemas mecânicos. Contribuindo assim, no combate ao efeito estufa, com o aumento da retirada de carbono da atmosfera (ARAÚJO apud NIACHOU, 2007). Se os telhados ecológicos se tornarem uma iniciativa comum nas construções, as cidades podem reduzir os efeitos incômodos das ilhas de calor urbanas (RIGHI et al., 2016).

O trabalho efetuado por Catuzzo (2013) pela Universidade de São Paulo (USP) teve como objetivo principal, o estudo do impacto no microclima dos telhados verdes. A pesquisa relacionou a temperatura e umidade relativa do ar, comparando dois tipos de cobertura (Figura 3), uma de telhado verde intensivo (estrutura jardim) localizada no Edifício Conde Matarazzo (Sede da Prefeitura), e outra de um telhado de concreto localizado no Edifício Mercantil/Finasa, ambos localizados na borda direita do Vale do Anhangabaú (sujeitos a condições atmosféricas e de insolação semelhantes), no centro de São Paulo, e ainda com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), coletado em Santana. No topo dos dois tipos de cobertura, foram instalados sensores a 1,5 metros do chão (padrão internacional para medição da temperatura e umidade relativa do ar) e que foram captados de 10 em 10 minutos durante um ano e onze dias.

Os dados foram organizados em gráficos que retrataram todo o tempo de coleta, que foi feito no período de 20 de março de 2012 a 31 de março de 2013. A maior variação da temperatura do ar entre os dois telhados foi de 5,3° C mais baixo, e da umidade foi de 15,7% maior na estrutura do telhado verde em relação à laje de concreto. Portanto, a pesquisa demonstrou que a utilização deste tipo de cobertura vegetal sobre os telhados, reduz as temperaturas e elevam a umidade do ar no microclima, enquanto que o telhado de concreto eleva a temperatura e reduz a umidade do ar significativamente.

Figura 3 - Laje vegetada (esq.) e laje de concreto (dir.)



Fonte: Catuzzo, (2013).

O telhado verde proporciona também uma melhora na acústica, favorecendo assim o bem-estar de seus moradores com o impedimento da entrada de sons em determinadas frequências (RIGHI et al., 2016). A estrutura acelera positivamente a expansão das áreas verdes em centros urbanos o que também acaba por contribuir para o bem-estar do ser humano, tendo em vista um modelo de urbanização que prioriza o despovoamento do campo e sobrecarga das cidades (ARAÚJO apud NIACHOU, 2007). Esta ainda traz mais harmonia e beleza para os ocupantes da edificação, sendo também um excelente atrativo para pontos comerciais, o que os torna mais visíveis, mesmo quando distantes de locais estratégicos (RIGHI et al., 2016).

Outra vantagem alcançada por este tipo de estrutura se dá na limpeza, devido aos telhados convencionais necessitarem de intervenção com mais frequência. Geralmente essa limpeza demanda recursos financeiros com o uso de mão de obra qualificada para tal função, além do hidrojateamento. Mas não se pode deixar de mencionar que o telhado vegetado também necessita de cuidados, apesar de não precisarem de limpeza como o outro tipo de estrutura. Porém, os cuidados requeridos pela vegetação podem ser considerados benéficos, uma vez que

o contato com essas vegetações e com a terra pode funcionar como terapia anti-estresse (RIGHI et al., 2016).

As coberturas vegetadas fazem a proteção da membrana do telhado, reduzindo assim os efeitos danosos dos raios ultravioletas, dos efeitos do vento e das temperaturas extremas, dado que nesses telhados a temperatura não passa de 25° C, contra aproximadamente 70° C nos telhados convencionais, dessa forma a vida útil da cobertura é melhorada (VIJAYARAGHAVAN, 2016). Como os telhados ecológicos protegem a membrana do telhado contra o clima severo e a radiação ultravioleta, eles podem durar duas vezes mais que os telhados tradicionais (RIGHI et al., 2016).

2.3.3.2 Impactos Negativos

Estudos apontam vários impactos negativos sobre a técnica em questão, são estes: custo elevado, manutenção, disposição final, danos estruturais, se não forem bem projetados, e qualidade do escoamento. Conforme será mais detalhado adiante.

Dentre as suas desvantagens, está o fato de que se o telhado verde não for bem cuidado ele pode atrair pragas urbanas como, por exemplo, o mosquito da dengue, que afeta diretamente a saúde humana. O custo inicial de coberturas ecológicas é bem maior em comparação a coberturas convencionais (telha de cerâmica, fibrocimento, entre outras); como o telhado ecológico exige um trabalho profissional, análise estrutural cuidadosa e várias camadas e sistemas (mais matéria-prima envolvida), acaba ficando muito mais caro (RIGHI et al., 2016).

Segundo Berndtsson (2010) alguns fatores afetam a capacidade de retenção de água e dinâmica de escoamento no telhado verde, estes dependem diretamente das características do telhado (número de camadas e tipo de materiais, espessura do solo, tipo de solo, tipo de vegetação, geometria telhado, posição e idade do telhado) e das condições climáticas (duração do período seco, clima, características do evento de chuva).

Dependendo do projeto escolhido, o telhado verde deixa de cumprir seu papel no auxílio da diminuição do pico de cheia. Existem alguns fatores que afetam a qualidade de escoamento do telhado verde, são esses: tipo de material utilizado, espessura do solo, tipo de drenagem, manutenção (produtos químicos utilizados), tipo de vegetação, estação do ano, dinâmica de precipitação, direção do vento, fontes de poluição local e as propriedades físico-químicas dos poluentes (BERNDTSSON, 2010). Pode ser feito o uso de fertilizantes e pesticidas para

proteger e aumentar o crescimento das plantas pelos proprietários comuns, resultando em mais produtos químicos na água de escoamento (BIANCHINI; HEWAGE, 2012).

A água da chuva geralmente é considerada como não poluída, mas pode conter nitratos e ser ácida. Ela também pode conter traços de outros poluentes, como por exemplo, pesticidas e metais pesados, dependendo das fontes de poluição local e ventos predominantes. Os contaminantes mais comuns no escoamento das águas pluviais urbanas são os metais pesados, pesticidas, hidrocarbonetos de petróleo, sólidos suspensos, nutrientes e microrganismos patogênicos. Os poluentes estudados no escoamento do telhado verde por várias fontes bibliográficas são, mais frequentemente, nitrogênio (tipo de solo, idade do telhado e manutenção), algumas formas de fósforo (fertilizantes utilizados em jardinagem, excrementos de aves e excrementos de animais) e metais pesados (BERNDTSSON, 2010).

Os materiais do telhado verde geralmente usam polímeros para todas as camadas, exceto para o meio de cultivo. As limitações de peso nos telhados verdes exigem materiais leves, mas duráveis, como polipropileno e polietileno. O objetivo de diminuir o peso dos telhados verdes é facilitar sua instalação em edifícios existentes e evitar custos excessivos na construção de novos edifícios devido a grandes elementos estruturais. Geralmente, as camadas de drenagem e filtro são fabricadas com 40% de polipropileno reciclado e a camada de retenção de água de 100% de fibras poliméricas recicladas (BIANCHINI; HEWAGE, 2012).

Os produtos químicos e as fontes de energia no processo de fabricação de polímeros liberam no ar substâncias tóxicas. Os dados obtidos na pesquisa de Bianchini e Hewage (2012) mostram que esse processo de fabricação é altamente poluente, onde 2 kg e 1,7 kg de dióxido de carbono são liberados para produzir 1 kg de polietileno de baixa densidade e granulado de polipropileno, respectivamente. Além disso, a quantidade de matéria-prima e energia para fabricar 1 kg de polímero é consideravelmente alta. Na fabricação de polímeros, em algumas etapas que requerem altas pressões e temperaturas, são necessárias diferentes fontes de energia. O petróleo bruto representa o maior contribuinte de matéria-prima para a manufatura de polímeros e o uso desta fonte fóssil pode causar elevada poluição durante o processo de produção. A poluição do ar e o consumo de energia são essenciais na análise do ciclo de vida. No entanto, Bianchini e Hewage (2012) rapidamente apontaram que a poluição liberada para o ar devido ao processo de produção do polímero pode ser equilibrada pelos telhados verdes em longo prazo. Os autores recomendam explorar materiais que podem substituir a atual utilização destes polímeros, na intenção de melhorar a sustentabilidade global dos telhados verdes.

Ainda Bianchini e Hewage (2012), apontam que a vida útil dos telhados verdes depende da manutenção, do tipo de telhado verde e das condições climáticas, variando entre 40 e 55

anos. Após este tempo, entra na fase típica de eliminação que inclui dissimulação de todas as camadas e transporte para aterros sanitários. O substrato pode facilmente ser reutilizado para qualquer outro propósito e as plantas biodegradam rapidamente; mas não os polímeros. Os polímeros degradam-se muito lentamente e representam os 20% (em volume) de entrada em aterros. Portanto, reciclar ou reutilizar esses materiais torna-se uma opção atrativa. Além disso, reciclagem e reutilização evitam a produção de novos materiais. Do ponto de vista ambiental, recomenda-se o uso de polímeros reciclados como camadas de telhados verdes, mesmo que o processo de reciclagem tenha um impacto ambiental negativo.

2.4 GANHO ENERGÉTICO ADVINDO DA INSTALAÇÃO DE TELHADO VERDE

Uma pesquisa experimental efetuada por Ferraz (2012), analisou no período de 10 meses, em um estudo comparativo por meio de dados de variáveis ambientais, o comportamento térmico entre um sistema de cobertura verde e um sistema tradicional de cobertura com telhado cerâmico, ambas as células de teste foram representadas por edificações semelhantes que se diferenciavam apenas pelo tipo de cobertura. O projeto padrão foi executado seguindo alguns dados fornecidos pela Norma 15220-3:2005 da ABNT, que dispõe sobre o desempenho térmico das edificações, possuindo características semelhantes em relação à orientação solar, aberturas, dimensões e composição dos elementos construtivos, sendo igualmente instrumentadas e sob as mesmas condições ambientais. Os protótipos foram executados especialmente para a pesquisa e seguindo as diretrizes de construções populares, sendo edificações de geometria e acabamento simples, tendo sido construídas no Departamento de Engenharia e Construção Civil na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo na cidade de São Paulo.

O protótipo 1, denominado P1, possuía cobertura verde do tipo extensivo, a espécie vegetal escolhida para cobrir o sistema foi a Grama amendoim (*Arachis repens*) por se tratar de uma espécie perene, que possui geometria favorável ao desempenho térmico, permitindo rápida drenagem e circulação de ar entre seus ramos e por também possuir efeito decorativo notável. Para a impermeabilização da laje foi utilizada a manta asfáltica *Lwarflex*, da empresa Lwart Química, sendo a mesma executada pela própria empresa com mão-de-obra especializada. Para a proteção mecânica da impermeabilização e base para aplicação de um produto herbicida com função de proteção anti-raízes, foi feito um chapisco de argamassa fina acima da mesma. Sobre a camada herbicida foi colocada a proteção mecânica que se deu por uma camada de manta de feltro. Sobre a manta, para efetuar a função drenante, foi aplicada uma camada de argila

expandida. Acima da argila expandida ainda foi aplicada uma segunda camada de manta de feltro para efetuar a filtragem e retenção de partículas da terra vegetal que foi utilizada como substrato para a espécie aplicada. Após o segundo mês ainda teve o replantio das mudas, devido solapamento da terra ter impedido o desenvolvimento da vegetação, ao substrato nessa ocasião foi misturado húmus de minhoca. O protótipo 2, denominado P2, utilizou a telha cerâmica do tipo romana e forro de PVC que são as coberturas mais comuns no Brasil e usuais em habitações populares (FERRAZ, 2012).

A fim de realizar as medições foram utilizados vários sensores e efetuadas medições de variáveis internas e externas em P1 e P2. As medidas foram feitas constantes e simultâneas para garantir comparação instantânea, além de terem sido efetuadas com portas e janelas fechadas para garantir as mesmas condições durante todo período medido. O período de medição definitiva ocorreu de 21 de abril de 2011 até 31 de janeiro de 2012, cobrindo as quatro estações do ano sem interrupção na coleta de dados, a fim de analisar o comportamento térmico em diferentes condições atmosféricas.

Ainda Ferraz (2012) executou uma análise para definir o dia representativo de cada estação, que se trata de um dia característico de temperatura do ar que se mantém na média. Após análise, foi selecionado o dia 25.07.2011 como representativo de inverno e o dia 20.01.2012 como representativo de verão, não sendo encontrado nenhum dia representativo para primavera e outono. Foram criados gráficos para avaliar o desempenho térmico destes dias representativos e ao analisar as edificações sem fontes internas geradoras de calor. No verão apenas P2 indicou precisar de condicionamento artificial para resfriamento, sendo os valores encontrados acima do limite para conforto indicado pela NBR 16401/08. Já para o inverno, ambos os protótipos indicaram ser requerido aquecimento na maior parte do dia. É importante salientar que na pesquisa não foi considerado o calor interno gerado pela ocupação, o que poderia ocasionar um cenário diferente. Em observações mensais, considerando apenas as temperaturas do ar, em uma análise geral, foi possível averiguar que P1 manteve um comportamento mais estável que P2, mostrando assim possuir um desempenho melhor, mantendo as temperaturas do ar interna mais amenas que o exterior em períodos de calor e mais quentes no frio. Vale ressaltar que estes valores absolutos se referem a duas edificações pequenas (protótipos). (FERRAZ, 2012).

2.5 SIMULAÇÃO DE SISTEMA HÍBRIDO

Um sistema híbrido eólico-hídrico foi proposto por Pimenta e Assireu (2015) para melhorar o uso do portfólio de energia renovável e enfrentar períodos de seca sem comprometer o armazenamento ou a geração de energia hidrelétrica no Brasil. No esquema, os ventos locais ou as fazendas de vento fornecem geração extra, de modo que a vazão hidrelétrica pode ser reduzida de acordo com a produção eólica. A economia de água gerada por este sistema pode levar a uma melhoria do armazenamento do reservatório em longo prazo. Um modelo simples baseado no balanço hídrico foi desenvolvido e aplicado ao reservatório hidrelétrico de Itumbiara (bacia hidrográfica do Rio Paraná) que fica localizado no centro-oeste do Brasil. Cenários para diferentes contribuições eólicas são comparados ao conjunto de dados históricos de 1994 a 2011 para avaliar o desempenho do sistema híbrido. Os resultados sugerem que, se implementado, o sistema híbrido deve melhorar a segurança energética do país. Reservatórios hidrelétricos podem ser capazes de confrontar variabilidade climática sem riscos para o fornecimento de energia. Um impacto positivo no uso múltiplo de reservatórios é esperado para a piscicultura, irrigação, recreação, navegação e abastecimento de água (PIMENTA; ASSIREU, 2015).

Outra pesquisa similar à realizada por Pimenta e Assireu (2015) analisou a possibilidade de regular o nível do reservatório hidrelétrico de Itumbiara através da complementaridade solar. O estudo cria um cenário hipotético onde a área de telhado disponível no município de São Paulo é coberta por painéis solares, que no esquema analisado, fornecem geração extra. A inserção da energia solar resultante foi aplicada a um modelo híbrido solar-hídrico, em que o fluxo de saída da turbina é reduzido em conformidade com a produção de energia solar, sendo alcançado assim um armazenamento em longo prazo (MOURIÑO; ASSIREU; PIMENTA, 2016).

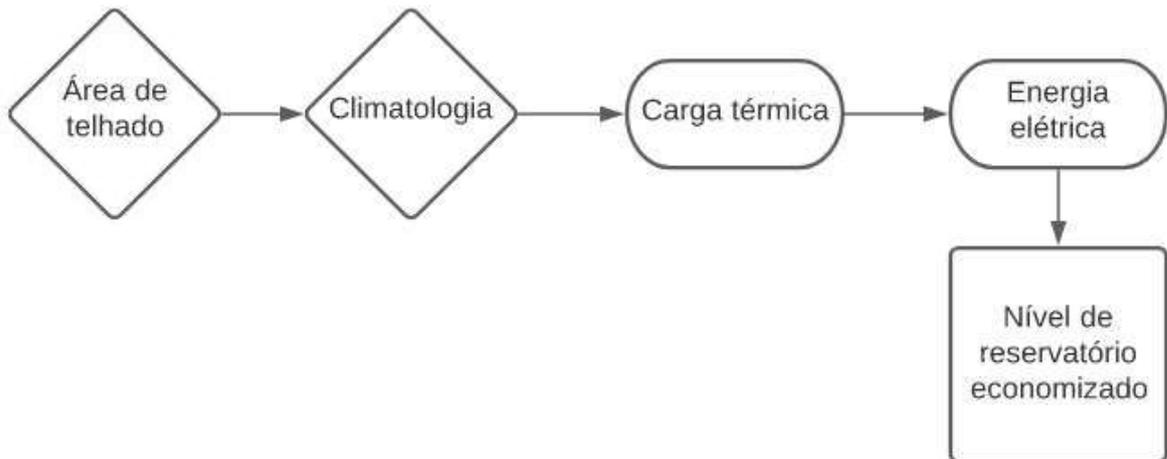
A fim de converter a energia solar em economia de água para o reservatório, foram efetuados alguns cálculos. Foi estimada a área de cobertura disponível utilizando a metodologia de Lange (2012) que é baseada na tipologia urbana e considera diferentes áreas médias de cobertura por tipo de habitação. A taxa de uso do telhado para geração fotovoltaica levou a dois cenários diferentes, um otimista e outro pessimista. Os valores da área de cobertura em cada tipo de domicílio foram utilizados valores médios, sendo 85 m² para casa e 15m² para apartamento. Com os dados disponíveis no censo demográfico foi possível descobrir o número de domicílios existente de cada tipo, podendo assim estimar a área útil do telhado no município de S.P. Dados diários de radiação solar e cobertura das nuvens foram fornecidos pela estação

meteorológica do IAG/USP de São Paulo, sendo estes dos anos de 1961 a 2012 em MJ/m², onde se avaliou a variabilidade da energia solar nas escalas sazonais e interanuais. Foi utilizada também a variação da precipitação em S.P estudada pela série histórica da estação pluviométrica da USP, sendo esta fornecida pela ANA (Hidroweb). Para melhor comparação com as informações hídricas, a radiação solar média diária foi determinada com os dados do período comum entre os dois estudos, abril de 1993 e agosto de 2008. Foram adaptadas as equações propostas por Pimenta e Assireu (2015) para estimar o volume de água economizado pela integração da energia solar e variação do nível de água. Os resultados sugerem que este sistema híbrido deve melhorar a capacidade do reservatório para enfrentar a variabilidade climática interanual (MOURIÑO; ASSIREU e PIMENTA, 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia do presente trabalho está definida em etapas, a fim de cumprir todos os objetivos específicos expostos anteriormente, conforme pode ser observado no fluxograma da Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma de projeto



Fonte: Autor, 2020.

A metodologia de Lange (2012) permitiu estimar a área de telhado disponível na cidade de São Paulo.

Na intenção de analisar a economia anual, realizou-se a climatologia, sendo utilizadas para tal, as medidas de temperatura de bulbo seco coletadas em 30 anos (1989 a 2018) e disponibilizadas pelo IAG.

Com finalidade de quantificar a energia poupada em climatização devido a instalação do telhado verde, foi analisada a carga térmica poupada pela construção do telhado verde no trabalho efetuado por Ferraz (2015) e, posteriormente, para estimar a energia elétrica que seria consumida, utilizou-se da equação do coeficiente de performance do ciclo. Com essas informações em mãos, um modelo híbrido foi alimentado com intuito de finalmente converter a energia elétrica economizada no período de um ano em nível de água poupada no reservatório piloto.

Utilizou-se o município de São Paulo por possuir dados experimentais da pesquisa efetuada por Ferraz (2015), e também o reservatório de Itumbiara devido modelo híbrido ter sido alimentado com os dados do mesmo, sendo possível replicar a pesquisa para outras regiões de interesse.

3.1 REGIÃO DO ESTUDO

O município de São Paulo (Figura 5) possui uma área de unidade territorial de 1.521,110 km² com população estimada em 12.252.023 pessoas (IBGE, 2019).

Figura 5 - Mapa do Município de São Paulo

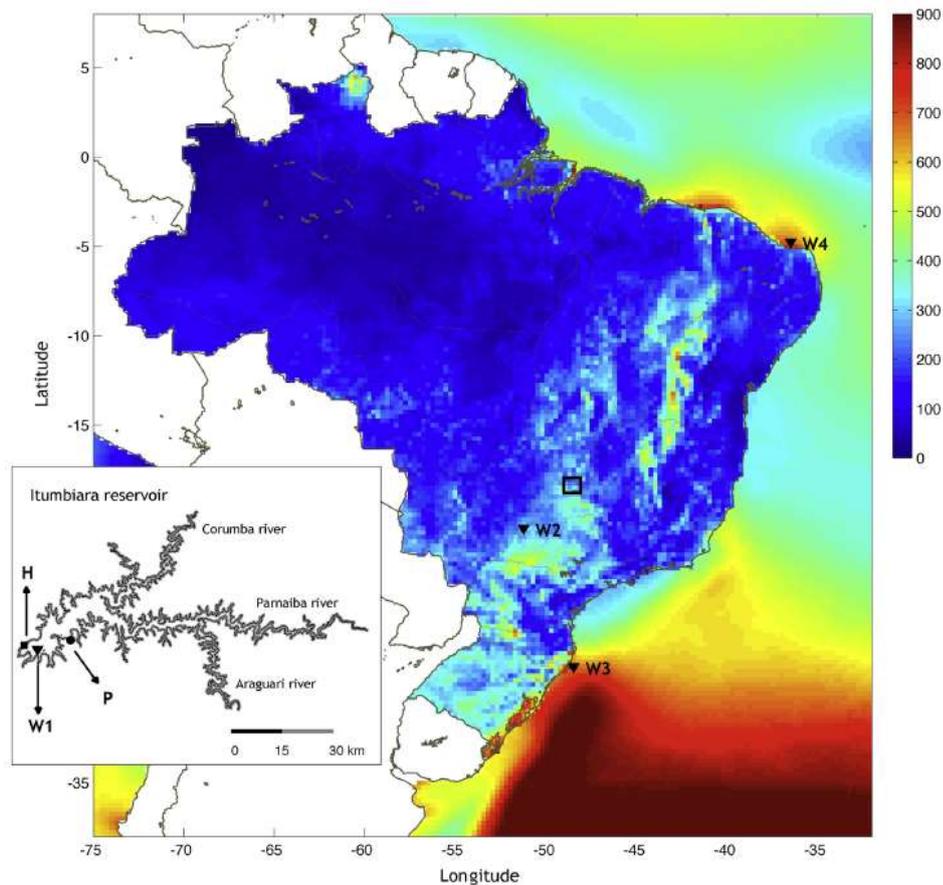


Fonte: IBGE, 2019.

O reservatório de Itumbiara, reservatório piloto no qual efetuou-se os cálculos do projeto, fica localizado entre as cidades de Itumbiara (GO) e Araporã (MG). O corpo d'água compreende uma área de 778 km² e possui volume útil de 12,450 km³, sendo alimentado pela bacia hidrográfica do Rio Paraná (8,8x10⁵ km²).

A altura do nível de água médio do reservatório é de 76m, com máximo de 85m e o mínimo 60m, monitorado pela estação H (Figura 6). A entrada de água é feita pelo rio de Itumbiara tendo como principais afluentes os rios Paranaíba, Corumbá e Araguari. A geração de energia é realizada por seis turbinas do tipo Francis (347 MW) com capacidade total de geração igual a 2,1 GW (PIMENTA; ASSIREU, 2015).

Figura 6 - Localização do Reservatório de Itumbiara



Fonte: Pimenta e Assireu, 2015.

3.2 ÁREA DE TELHADO NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

Em primeiro momento, com o intuito de estimar a área de cobertura disponível para uso do telhado verde na cidade de São Paulo, assim como o trabalho efetuado por Mourião, Assireu e Pimenta (2016), foi utilizada a metodologia de Lange (2012) sendo a mesma baseada no censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A área de telhados referente a cada setor censitário é calculada através de dados dos tipos de domicílios do censo demográfico e estimativas da área total de telhados por tipo de domicílio.

Como o estudo do censo é realizado, normalmente, de dez em dez anos, para a pesquisa considerou-se o censo de 2010, como pode ser visto na Tabela 1, manipulada da tabela original do IBGE. No valor total de casas, foi considerada a soma de casas e casas de vila ou em condomínio.

Tabela 1 - Domicílios particulares permanentes

Resultados Preliminares do Universo do Censo Demográfico 2010							
Tabela 11.20 - Domicílios particulares permanentes, por tipo do domicílio, segundo os municípios - São Paulo – 2010							
Municípios	Domicílios particulares permanentes						Código da Unidade Geográfica
	Total (1)	Tipo do domicílio					
		Casa	Casa de vila ou em condomínio	Apartamento	Habitação em casa de cômodos, cortiço ou cabeça de porco	Oca ou maloca	
São Paulo	3 574 286	2 470 248	51 439	1 009 636	42 892	71	3550308
Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2010.							
(1) Inclusive os domicílios sem declaração do tipo do domicílio.							

Fonte: IBGE, 2010.

Os valores da área de cobertura para cada tipo de domicílio, assim como no trabalho de Mourião, Assireu e Pimenta (2016), foram utilizados os propostos por Ghisi, Montibeller e Schmidt (2006) na pesquisa efetuada com intuito de quantificar o potencial de economia de água potável com uso de água da chuva, onde foi estimado uma área média de cobertura de 85 m² para casas e 15 m² para apartamentos. Sendo, portanto, estes os valores utilizados como referência para o cálculo da área de telhado nesta pesquisa.

Embora a estimativa da área de telhado disponível em São Paulo tenha sido efetuada de forma similar ao trabalho de Mourião, Assireu e Pimenta (2016), os valores encontrados se diferem devido ao fato da pesquisa efetuada aqui analisar apenas a área de telhado, enquanto o estudo citado tinha como foco a taxa de aproveitamento para painéis solares.

Pensando no fato de que em edifícios apenas a cobertura possuía o telhado vegetado e consequentemente o ganho térmico se dará apenas nesse último andar, a pesquisa analisa três cenários diferentes: um otimista que leva em consideração as áreas de telhado de casas e apartamentos, um pessimista em que se considera apenas as áreas de telhado das casas e um intermediário que é a média dos anteriores.

Portanto, a partir dos dados disponíveis no censo demográfico do IBGE (IBGE, 2010), foi possível estimar a área útil do telhado na cidade de São Paulo a partir das Equações 3, 4 e 5.

O cenário otimista (C1):

$$A_{Casa} = N^{\circ}_{Casa} \cdot \text{Área_Telhado}_{Casa} \quad (1)$$

$$A_{Apart.} = N^{\circ}_{Apart.} \cdot \text{Área_Telhado}_{Apart.} \quad (2)$$

$$A_{total} = A_{Casa} + A_{Apart.} \quad (3)$$

O cenário pessimista (C2):

$$A_{Casa} = N^{\circ}_{Casa} \cdot \text{Área_Telhado}_{Casa} \quad (4)$$

O cenário Intermediário (C3):

$$A_{Interm.} = \frac{(A_{Casa} + A_{Total})}{2} \quad (5)$$

Onde:

A_{Casa} = Total da área de telhado para casas (m²);

$A_{Apart.}$ = Total da área de telhado de apartamentos (m²);

$A_{Interm.}$ = Total da área de telhado intermediário (m²);

A_{total} = Total da área de telhado total (m²);

N°_{Casa} = Número de casas construídas;

$N^{\circ}_{Apart.}$ = Número de apartamentos construídos;

$\text{Área_Telhado}_{Casa}$ = Área de telhado por casas (m²);

$\text{Área_Telhado}_{Apart.}$ = Área de telhado por apartamento (m²).

3.3 CLIMATOLOGIA

No intuito de ter maior confiabilidade dos dados, foi executada a climatologia das temperaturas do ar dos últimos 30 anos (1989 à 2018), dados estes que foram cedidos pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo - IAG/USP.

Efetuuou-se a média aritmética dos trinta anos de dados com a finalidade de encontrar um valor de temperatura de bulbo seco horária para comparar com a temperatura encontrada nos protótipos e avaliar os horários que as mesmas convergem. Devido fato da pesquisa de Ferraz (2012) ter encontrado apenas dias representativos para verão e inverno para proceder

com a análise anual os meses de Março a Agosto, que são definidos como Outono e Inverno pelo IAG, foi denominada como Estação Fria e de Setembro a Fevereiro, que são os meses definidos pelo IAG como Primavera e Verão, foi denominada como Estação Quente, uma vez que na primavera existem horários em que a temperatura do ar é tão alta quanto no verão e no outono é tão baixa quanto inverno.

De porte da temperatura de bulbo seco horária externa do dia característico de verão (20/01/2012) e inverno (25/07/2011), analisou-se na climatologia quais valores de temperatura estão dentro dos valores mínimos aceitáveis. Os dados de temperatura foram medidos a cada 5 minutos e para proceder com a comparação e análise, foi efetuada a média dos valores encontrados para a temperatura do ar externa com intuito de possuir um único valor por hora.

Com intenção de dar continuidade aos os cálculos, seguiu-se o raciocínio lógico para análise do aquecimento: tendo em vista que uma temperatura do ar X alcançou Y de carga térmica, qualquer valor de temperatura igual ou inferior a X terá o mesmo valor de Y ou até mesmo superior. Já para análise do resfriamento, se com uma temperatura do ar X foi alcançado Y de carga térmica, qualquer valor de temperatura igual ou superior a X terá o mesmo valor de Y ou superior.

Com isso, foi possível quantificar o ganho térmico alcançado em aquecimento e resfriamento caso toda a área de telhado dos domicílios em São Paulo possuísse cobertura vegetada.

3.4 CARGA TÉRMICA POUPADA

Como evidenciado no trabalho de Ferraz (2012), existe um ganho energético com a estrutura do telhado verde tanto para resfriamento como para aquecimento. Para quantificar o valor poupado em aquecimento e resfriamento, foram utilizados os dados de temperatura cedidos pela pesquisadora, dando assim continuidade ao projeto executado por ela. Com o intuito de calcular o aquecimento na estação quente levou-se em consideração o parâmetro do dia característico de verão e na estação fria o dia característico de inverno. No entanto, para resfriamento foi levado em consideração apenas o parâmetro do dia característico de verão, pois no inverno não constou valores para resfriamento; porém, se a temperatura estiver dentro da faixa estipulada, ainda é possível obter ganho, uma vez que mesmo estando no inverno, ao buscar pelo conforto térmico, se faz uso de climatização.

Conforme NBR 16401-2:2008 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 4) a temperatura operativa de verão situa-se entre 22,5 e 26°C e no

inverno entre 21 e 24°C. Assim como no trabalho de Ferraz (2012) foi considerada 24°C a temperatura de conforto ideal para proceder com a análise (referência de conforto indicado pela NBR 16401/08). Porém, apenas com o intuito de comparação, foram efetuadas também as temperaturas de 21, 22, 23, 25 e 26°C.

Como já visto anteriormente, no trabalho de Ferraz (2012) foi efetuado o cálculo da carga térmica total (Equação 5) que é um método simplificado, de acordo com a NBR 16401-1:2008, considerando a penetração de calor por condução, convecção e radiação, desprezando a contribuição de calor de pessoas e equipamentos, computando apenas a contribuição das coberturas. O valor da infiltração também foi desprezado.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta t \quad (5)$$

Onde:

Q = Carga térmica (W);

U = Coeficiente global de transferência de calor (W/m².K);

A = Área (m²);

Δt = Diferença de temperatura do ar (K).

O usual para obter a carga térmica é utilizar a diferença entre a temperatura externa do ar e a temperatura interna do ambiente, devido a troca de calor que ocorre entre os ambientes.

Deste modo, no cálculo da carga térmica para manter o interior em 24°C (ou 21, 22, 23, 25 e 26°C), a diferença de temperatura se dá entre a temperatura do ar externa e a temperatura de 24°C (ou 21, 22, 23, 25 e 26°C). Então a Equação 5 assume a seguinte forma:

$$Q_{24^\circ\text{C}} = U \cdot A \cdot (T_{\text{Ext}} - 24) \quad (6)$$

Na carga térmica obtida dentro da edificação, a diferença de temperatura se dá entre as temperaturas do ar externa e interna. Conforme segue na Equação 7.

$$Q_{\text{Obtida}} = U \cdot A \cdot (T_{\text{Ext}} - T_{\text{Int}}) \quad (7)$$

A diferença entre o valor da carga térmica para 24°C e da carga térmica obtida resulta na carga térmica necessária para mudança de temperatura que ocorrerá no interior do ambiente e que será de fato processada pelo equipamento condicionador de ar. Ao efetuar essa diferença nas Equações 6 e 7, tem-se as Equações 8 a 10:

$$Q_{24^\circ\text{C}} - Q_{\text{Obtida}} = U \cdot A \cdot (T_{\text{Ext}} - 24) - U \cdot A \cdot (T_{\text{Ext}} - T_{\text{Int}}) \quad (8)$$

$$Q_{24^\circ\text{C}} - Q_{\text{Obtida}} = U \cdot A \cdot (T_{\text{Ext}} - 24 - T_{\text{Ext}} + T_{\text{Int}}) \quad (9)$$

$$Q_{24^\circ\text{C}} - Q_{\text{Obtida}} = U \cdot A \cdot (T_{\text{Int}} - 24) \quad (10)$$

Portanto, ao se considerar as temperaturas que irão efetivamente sofrer alteração no ambiente interno, chegou-se a uma relação entre a carga térmica e a diferença entre as

temperaturas interna e a temperatura de 24°C (ou 21, 22, 23, 25 e 26°C). Esta relação será utilizada para proceder com os cálculos a partir deste momento e está representada na Equação 11.

$$Q = U \cdot A \cdot (T_{Int} - 24) \quad (11)$$

Assim como no trabalho de Ferraz (2012), foi considerado o coeficiente global de transferência de calor (U) igual a 1,75 W/m².K para a cobertura cerâmica e forro de PVC, e de 0,2W/m².K para a cobertura verde; não sendo considerado na pesquisa o efeito da evapotranspiração da vegetação do telhado verde. Para descobrir a economia de P1 sobre P2, foi feito o cálculo da diferença entre as cargas térmicas encontradas para cada protótipo (QP2-QP1).

Como os dados da pesquisa de Ferraz foram medidos com intervalos de 5 minutos, para dar seguimento à análise, foi efetuada a média dos valores encontrados para carga térmica com intuito de possuir um único valor por hora.

Como o valor da carga térmica poupada é dado em Watts (W) e conhecendo o intervalo de amostragem, pôde-se obter a energia relacionada ao processo em Wh, visto que os dados foram coletados em fração de segundo, então bastou multiplicar por 3600.

Por se tratar da economia referente ao uso de equipamento para climatização do ambiente interno, Ferraz (2012) utilizou a área interna do protótipo (5,94m²) para efetuar o cálculo da carga térmica. Devido ao fato da área de telhado média por tipo de domicílio levar em consideração a área externa do telhado, para proceder com os cálculos e descobrir a economia em Wh/m² os valores encontrados foram divididos pela área externa do protótipo (13,85m²), resultando então na economia alcançada referente a área externa de telhado do protótipo. Após efetuar estes cálculos foi feita a soma dos valores encontrados por hora (24 horas), sendo possível quantificar a economia diária (W/m²).

Com o intuito de efetuar o cálculo da carga térmica poupada em todo município de São Paulo, foi multiplicada a área encontrada em C1, C2 e C3 (m²) pelo valor de carga térmica economizada por dia (W/m²), o que nos leva a carga térmica poupada (W) por dia. Através da soma destes valores diários foi possível encontrar a economia mensal e finalmente a anual em aquecimento e resfriamento devido a instalação da cobertura vegetal em todo município de São Paulo.

3.5 ENERGIA ELÉTRICA POUPADA

O aparelho de ar condicionado considerado para o projeto foi do modelo Split, e para os cálculos foi desprezado o valor da infiltração.

A Equação 12, referida ao coeficiente de performance do ciclo (COP), relaciona a quantidade de energia térmica “movida” por quantidade de energia elétrica consumida. Após manipulação matemática resultante na Equação 13, foi possível efetuar o cálculo da energia elétrica poupada utilizando o valor da carga térmica economizada. (MARQUES; HADDAD; MARTINS, 2006). Sendo:

$$COP = \frac{\text{Energia Útil}}{\text{Energia Consumida}} = \frac{Q}{W} \quad (12)$$

Então, a Equação 12 sofre a seguinte transformação:

$$W = \frac{Q}{COP} \quad (13)$$

Onde:

W = Energia consumida (W);

Q = Carga térmica (W);

COP = Coeficiente de performance do ciclo (W/W).

Portanto, bastou dividir a carga térmica encontrada pelo coeficiente de performance do ciclo, que equivale à eficiência energética do aparelho de ar condicionado. Por se tratar de uma simulação e cada ambiente possuir uma dimensão diferenciada, para proceder com os cálculos foi necessário chegar a um modelo padrão. A fim de obter o valor da eficiência energética único, foi efetuada a média dos aparelhos do tipo reverso (Aquece / Resfria) listados na tabela do Inmetro de condicionadores de ar (INMETRO, 2018). Deste modo, optou-se nesta pesquisa por eleger o aparelho condicionador de ar Split Hi-wall do tipo Reverso com capacidade de refrigeração nominal de 12.000 Btu/h e eficiência energética para 220V de 3,24 (W/W).

3.6 MODELO HÍBRIDO

Similar ao trabalho efetuado por Mouriño, Assireu e Pimenta (2016), as equações propostas por Pimenta e Assireu (2015) foram adaptadas a um sistema híbrido econtv-hidro (Equação 14) para estimar a potencial economia de água pela economia em aparelho de aquecimento e resfriamento advindo da cobertura de telhado verde.

$$Q_{econtv} = \frac{P_{econtv}}{\eta \cdot \varepsilon^h \cdot \rho \cdot g \cdot h^h} \quad (14)$$

Onde:

Q_{econtv} = vazão de água economizada pela economia em aparelho de aquecimento e resfriamento advindo da cobertura de telhado verde (mm/dia);

P_{econtv} = é a energia economizada em aquecimento e resfriamento (W), existindo três cenários;

η = eficiência da turbina (0.85);

ε^h = eficiência da turbina (0.9);

ρ = massa específica da água (998 kg/m³);

g = aceleração da gravidade (9,81 m/s²);

h^h = nível médio de água do reservatório (76 m).

Após efetuar o cálculo do Q_{econtv} , com os dados do reservatório de Itumbiara fornecidos por Furnas Centrais Elétricas S.A., é possível definir o volume de água economizado pela integração da energia poupada em aquecimento e resfriamento devido ao telhado verde instalado na cobertura das construções.

Uma simplificação do modelo hidrológico pode ser representada pela Equação 15, na qual é considerada a variação do volume do reservatório.

$$\frac{dV}{dt} = Q_{river} + Q_{prec} - Q_{evap} - Q_{hydro} \quad (15)$$

Onde:

Q_{river} = tributário de vazão do rio que chega ao reservatório (m³/s);

Q_{prec} = contribuição da precipitação (m³/s);

Q_{evap} = fluxo de água evaporada na superfície do reservatório (m³/s);

Q_{hydro} = fluxo de saída incluindo a parte que passa pelas turbinas e que é liberada pelo vertedouro (m³/s);

Considerando que o volume do reservatório pode ser representado pela Equação 16.

$$V(t) = h(t).A_r \quad (16)$$

Onde:

A_r = área superficial (m²);

h = nível do reservatório (m).

Deste modo, a Equação 15 assume a seguinte forma, no qual $q = Q/A_r$ (mm/dia).

$$\frac{dh}{dt} = q_{river} + q_{prec} - q_{evap} - q_{hydro} \quad (17)$$

A Equação 17 foi adaptada para valores médios, a fim de comparar o balanço hídrico do reservatório operando sozinho e em complementaridade com a energia poupada em

resfriamento e aquecimento, conforme apresentado na Equação 18. Em seguida, foi incluída a economia em aquecimento e resfriamento devida cobertura vegetal (para os três cenários), sendo apresentada na Equação 19.

$$\left(\frac{dh^c}{dt}\right) = A\bar{q}_{river} + B\bar{q}_{prec} - C\bar{q}_{evap} - D\bar{q}_{hydro} \quad (18)$$

$$\left(\frac{dh^h}{dt}\right) = \left(\frac{dh^c}{dt}\right) + \bar{q}_{econtv} \quad (19)$$

O sobrescrito “c” é referente ao sistema clássico, que considera apenas a energia hidrelétrica, enquanto “h” identifica as equações para o sistema híbrido. Os índices A, B, C e D são utilizados para ajustar a equação de balanço para Itumbiara e foram adotados os mesmos valores propostos pelos referidos autores. Segundo Pimenta e Assireu (2015), análises de tributários de Itumbiara sugerem que $A \sim 1$, uma vez que a área hidrográfica da bacia a jusante da estação de monitoramento é muito pequena em comparação com a área de captação a montante do rio. O fluxo de saída é bem conhecido, sendo $D = 1$. O relevo circundante sugere que a área de captação de chuvas locais é 50% maior que a área do reservatório, deste modo $B \sim 1,5$. O coeficiente C foi determinado minimizando os erros entre a equação proposta e as observações, resultando em $C \sim 0,5$.

Deve-se notar que essas equações resultam em uma condição temporal média para o sistema. Assim, foram utilizados os valores médios propostos pelos autores, segundo os quais os índices, em mm/dia, são: $\bar{q}_{prec} = 4,4$; $\bar{q}_{evap} = 5,4$; $\bar{q}_{river} = 146,1$; $\bar{q}_{hydro} = 147,7$.

Após a determinação da quantidade de água economizada em cada cenário, foi possível estimar o volume armazenado pela associação da energia hidrelétrica e energia economizada em aquecimento e resfriamento devido a cobertura vegetal, a partir dos dados fornecidos por Furnas Centrais Hidrelétricas S.A para cada cenário. A potência hidráulica disponível após esta associação pode ser calculada pela Equação 20.

$$P = \frac{g \cdot \rho \cdot \eta \cdot \varepsilon \cdot Q_d \cdot H_L}{1000} \quad (20)$$

Onde:

P = energia elétrica gerada (kW);

η = eficiência da turbina;

H_L = altura de queda líquida (m);

Q_d = taxa de fluxo de saída (m³/s).

As equações propostas foram implementadas em um código de programação executado em ambiente do *software* MATLAB[®] com finalidade de fornecer como resultado os níveis alcançados pelo reservatório em metros. Deste modo, para cada cenário, bastou efetuar a subtração do nível alcançado em aquecimento, resfriamento e total pelo nível médio histórico do reservatório, obtendo assim o nível economizado em metros de coluna d'água.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 ÁREA DE TELHADO NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

Os valores calculados das áreas de telhado no município de São Paulo para os três cenários podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Área de telhado no Município de São Paulo

Cenário Otimista (C1)			
Tipo de domicílio	Unidade	Área (m ²)	Área de telhado (m ²)
Casas	2.521.687	85	214.343.395
Apartamentos	1.009.636	15	15.144.540
Total			229.487.935
Cenário Pessimista (C2)			
Casas	2 521 687	85	214.343.395
Total			214.343.395
Cenário Intermediário (C3)			
Cenário	Total		Área de telhado (m ²)
Otimista	229.487.935		229.487.935
Pessimista	214.343.395		214.343.395
Total (Média)			221.915.665

Fonte: Autor, 2020.

Após efetuar os cálculos para obtenção da energia elétrica necessária para a climatização dos ambientes nos protótipos, foi possível obter o valor total desta energia consumida em todo o município, efetuando o produto entre a energia calculada e as áreas obtidas em cada cenário.

4.2 ECONOMIA ALCANÇADA EM POTÊNCIA

O cálculo da energia elétrica necessária em uma hora, para manter o ambiente interno na temperatura desejada, possibilitou a soma destes valores com o propósito de possuir o valor diário; a soma dos valores diários para possuir o valor mensal; e finalmente a soma dos valores mensais com o intuito de possuir um único valor anual.

A fim de demonstrar as diferentes temperaturas e seu desempenho, serão apresentados apenas os resultados do cenário intermediário.

A Tabela 3 apresenta os valores da potência elétrica que seriam consumidos por um aparelho de ar condicionado, necessário para manter o interior nas temperaturas simuladas em ambos protótipos analisados, e a respectiva economia alcançada caso todos os domicílios permanentes da cidade de São Paulo tivessem teto verde.

Tabela 3 - Economia anual das diferentes temperaturas

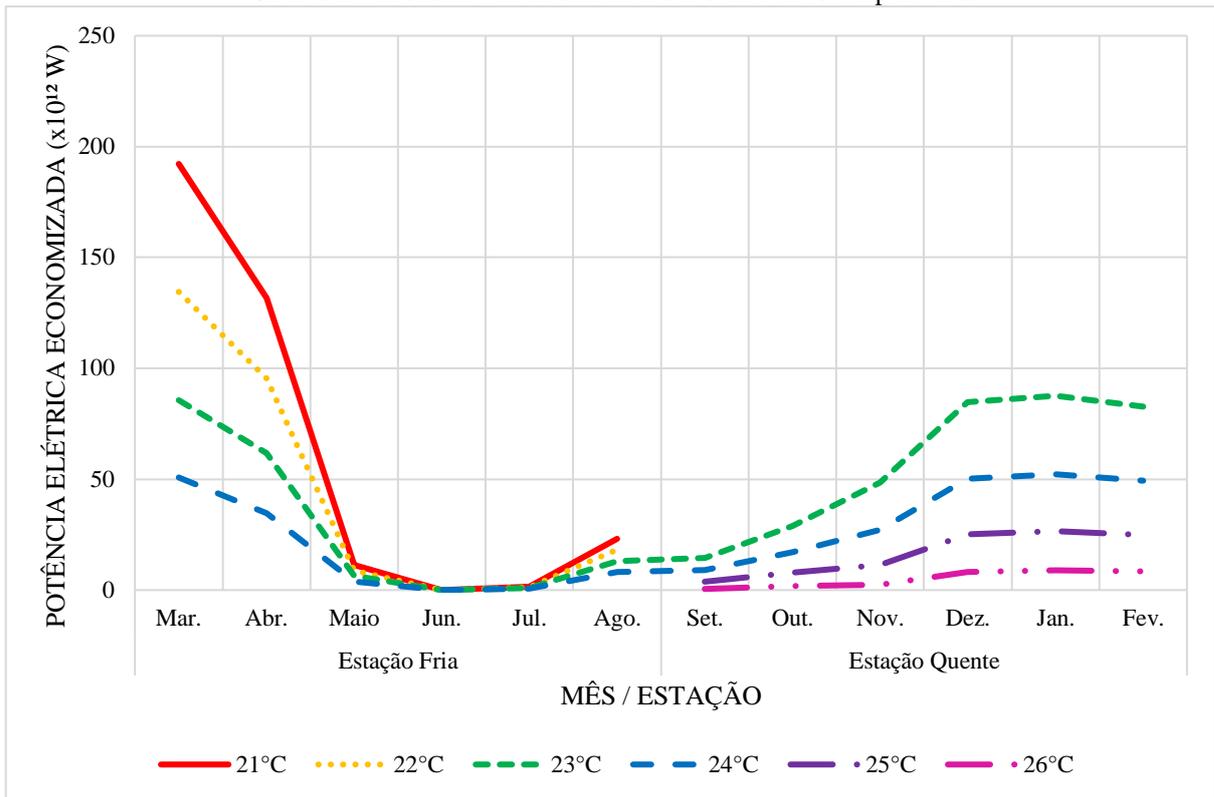
Temperatura	Potência Elétrica (TW)								
	Telhado Cerâmico (P2)			Telhado Verde (P1)			Economia		
	Aquec.	Resf.	Total	Aquec.	Resf.	Total	Aquec.	Resf.	Total
21°C	925	407	1332	88	47	135	837	360	1197
22°C	1369	292	1661	139	34	173	1230	258	1488
23°C	1951	576	2526	190	64	254	1768	514	2283
24°C	2698	333	3032	265	31	296	2434	303	2737
25°C	803	106	909	66	6	72	738	100	838
26°C	1231	28	1259	119	0	119	1113	30	1143

Fonte: Autor, 2020.

Conforme pode ser observado na Tabela 3, se utilizado o aparelho de ar condicionado em todas as residências do município, com as coberturas cerâmicas haveria um gasto muito superior, tanto para aquecer, quanto resfriar em todas as temperaturas simuladas. Portanto, é evidente a economia alcançada se as coberturas fossem projetadas com a estrutura de telhado verde. Deste modo, para análise do projeto, serão demonstrados apenas os valores dessa economia alcançada.

Anualmente, em aquecimento, a temperatura de 24°C demonstra alcançar maior economia, estando na ordem de 2434 TW. Já em resfriamento, a economia mais expressiva se dá à temperatura de 23°C, chegando na ordem de 514 TW. Vale ressaltar que estes valores levantados são aproximações, uma vez que se trata de uma simulação e não valores absolutos.

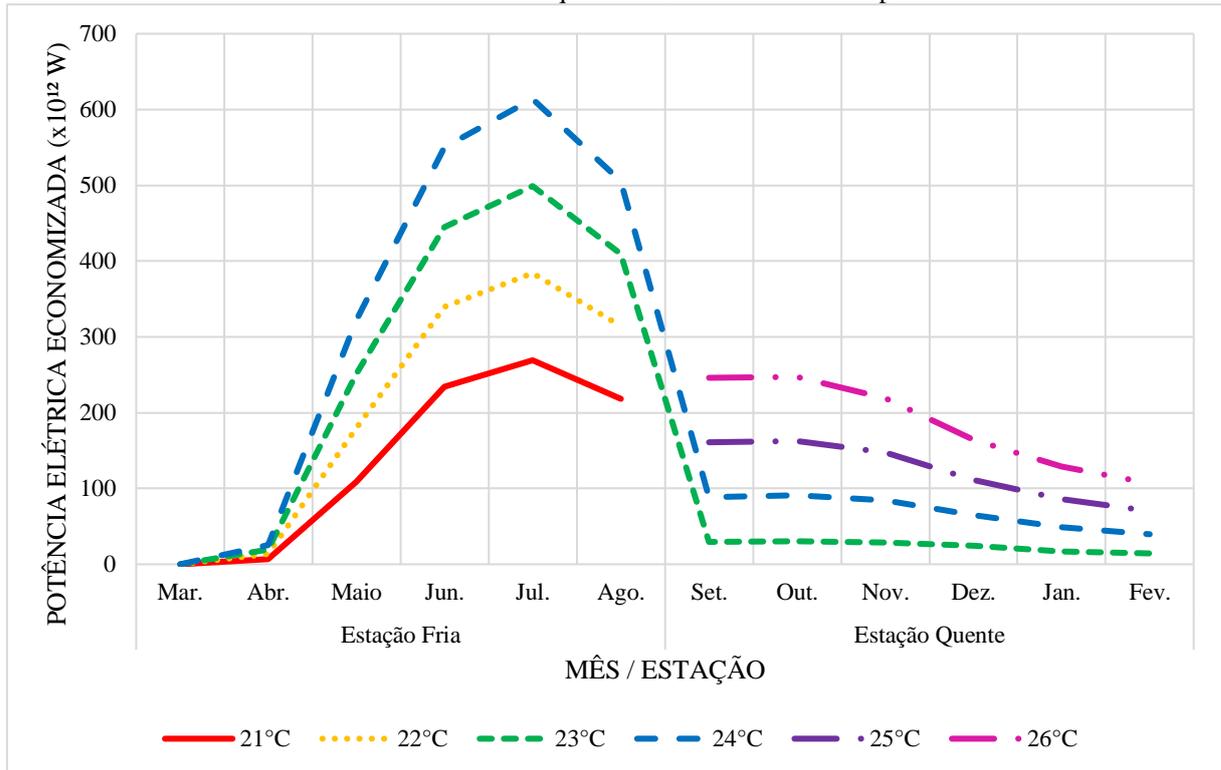
Gráfico 1 - Economia em Resfriamento nas diferentes temperaturas



Fonte: Autor, 2020.

Para melhor observação destes valores, basta imaginar que a temperatura interna obtida seria de 27°C e o aparelho de ar condicionado seria utilizado para chegar nas temperaturas de 21°C a 26°C . Deste modo, é possível verificar no Gráfico 1 que para resfriamento na estação fria o ambiente estando em 21°C seria a maior economia, entretanto também o maior gasto em potência elétrica. No ambiente mantido em 24°C , temperatura usada como conforto, é possível verificar que houve o menor gasto, provando assim ser também a temperatura ideal do ponto de vista energético. Na estação quente, a maior economia, e conseqüentemente gasto, seria para manter o ambiente em 23°C seguido da temperatura de 24°C . Já o menor gasto seria para manter em 26°C .

Gráfico 2 - Economia em Aquecimento nas diferentes temperaturas



Fonte: Autor, 2020.

No Gráfico 2 é possível constatar que com aquecimento ocorre o inverso ao resfriamento, sendo na estação fria, para manter o ambiente em 24°C, a maior economia e gasto e para manter em 21°C, as menores. Na estação quente para manter em 26°C seria o maior gasto e para manter o ambiente em 23°C o menor, seguido da temperatura de 24°C.

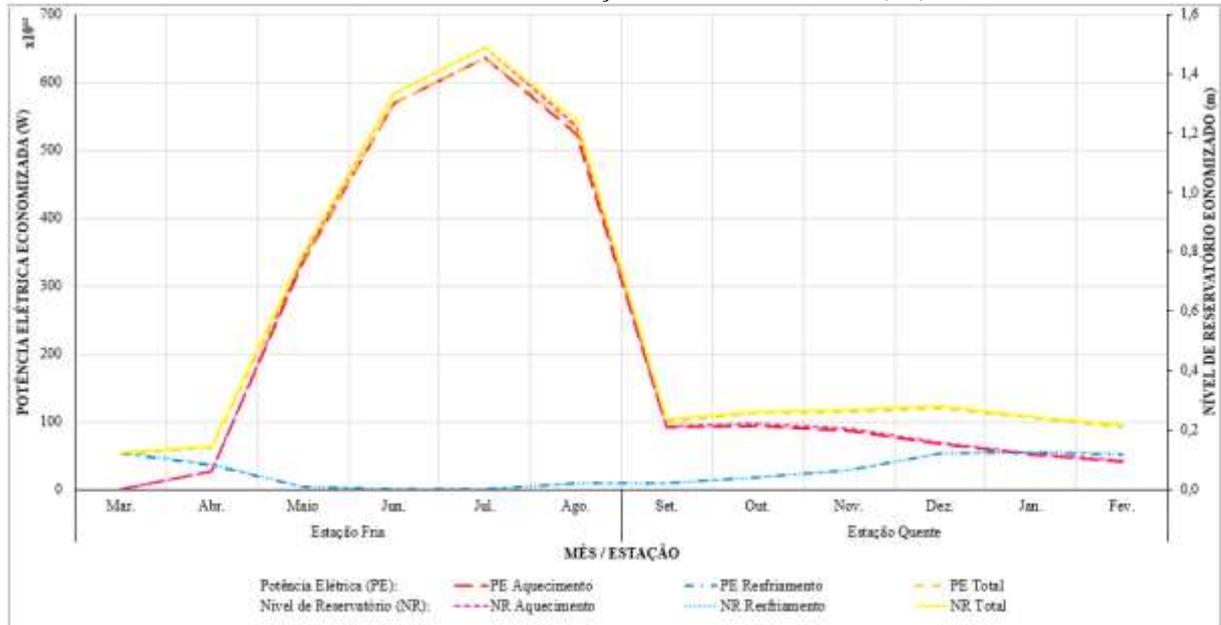
A seguir, serão mostrados os cenários simulados e suas respectivas economias para manter o ambiente interno na temperatura de 24°C. Vale ressaltar que para processar os dados, foram calculados os valores horários da economia e para efetuar a análise estes foram somados no período de 1 ano, que é o período no qual foi efetuada a análise com o intuito de obter o valor de economia anual. Por se tratar de economia em potência elétrica e sua influência no nível do reservatório, os gráficos, conforme poderá ser visto, foram gerados com eixos opostos por se tratar da economia de grandezas proporcionais, uma estando demonstrada em potência elétrica e a outra na influência no nível do reservatório piloto que seria poupado com a não utilização da energia que seria gasta com equipamento de climatização artificial do ar.

4.2.1 Cenário Otimista para manter o ambiente em 24°C

No cenário otimista, a economia em potência elétrica chegou na ordem de 2517 TW com aquecimento, 314 TW com resfriamento o que totalizou em 2830 TW economizados no período de 1 ano. Já no nível do reservatório essa economia equivale a 5,90 metros com

aquecimento, 0,73 com resfriamento o que totalizou em 6,63 metros de coluna d'água economizados no período de 1 ano.

Gráfico 3 - Economia alcançada no Cenário Otimista (C1)



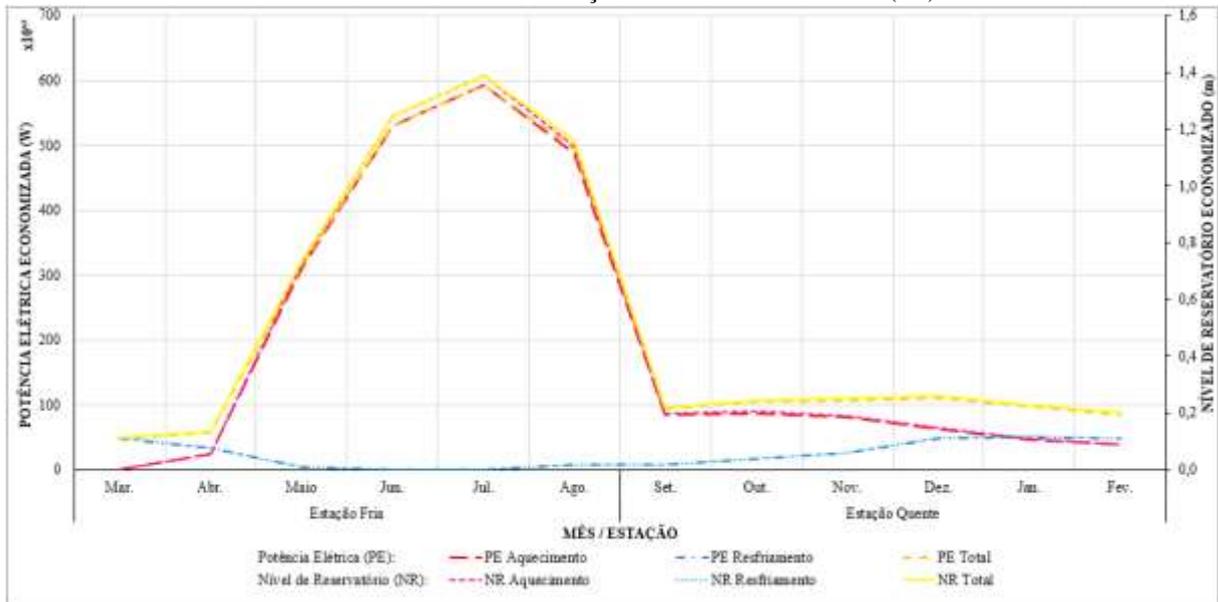
Fonte: Autor, 2020.

É possível analisar no Gráfico 3 que a maior economia em aquecimento se dá na estação fria no mês de julho, chegando na ordem de 635 TW e 1,5 metros. Porém em resfriamento se dá na estação quente no mês de janeiro, alcançando a ordem de 54 TW e 0,1 metros. Portanto, como aquecimento é responsável pela maior economia alcançada, o mês de julho obteve maior economia total, estando na ordem de 635 TW e 1,5 metros de coluna d'água. Considerando uma área média de 750 km² do reservatório, percebe-se que o volume da água poupado é significativo.

4.2.2 Cenário Pessimista para manter o ambiente em 24°C

No cenário pessimista, a economia em potência elétrica chegou na ordem de 2351 TW com aquecimento, 293 TW com resfriamento, totalizando em 2643 TW economizados no período de 1 ano. Já no nível do reservatório essa economia equivale a 5,51 metros com aquecimento, 0,69 com resfriamento, o que totalizou em 6,19 metros de coluna d'água economizados no período de 1 ano.

Gráfico 4 - Economia alcançada no Cenário Pessimista (C2)



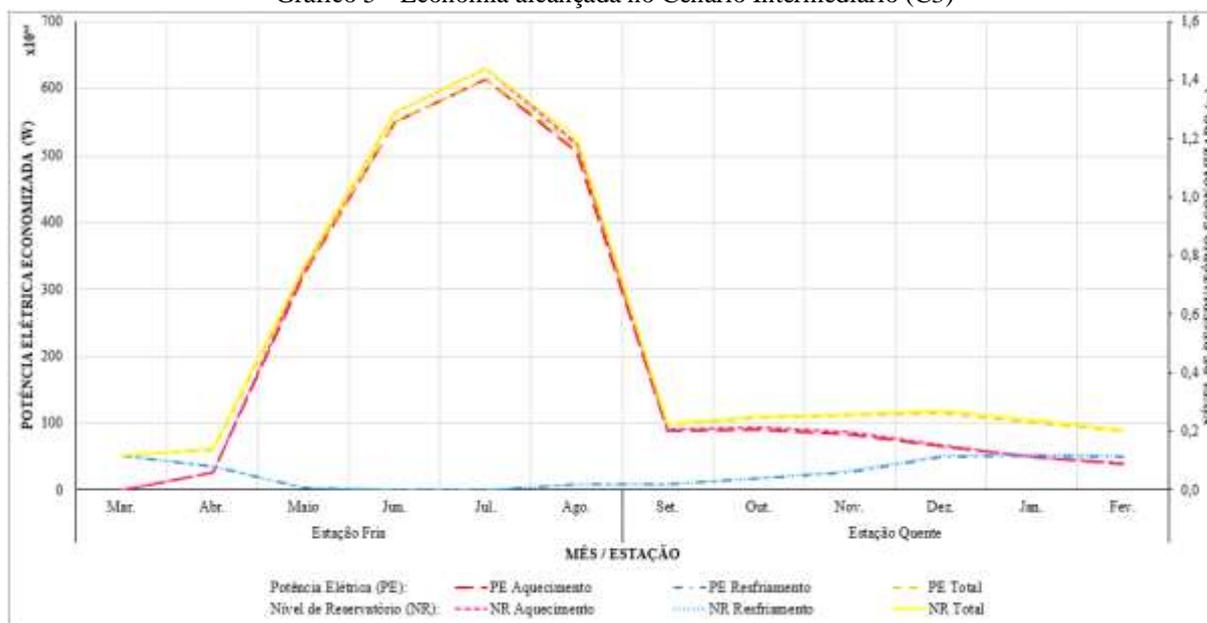
Fonte: Autor, 2020.

No Gráfico 4 é possível perceber que a maior economia em aquecimento ainda se encontra na estação fria no mês de julho, chegando na ordem de 593 TW e 1,4 metros. Em resfriamento ocorre também no mês de janeiro da estação quente, alcançando a ordem de 50 TW e 0,1 metros. Portanto, como aquecimento é responsável pela maior economia alcançada, o mês de julho obteve maior economia total, estando na ordem de 594 TW e 1,4 metros. Considerando uma área média de 750 km² do reservatório, percebe-se que o volume da água poupado é significativo.

4.2.3 Cenário Intermediário para manter o ambiente em 24°C

No cenário intermediário, a economia em potência elétrica chegou na ordem de 2434 TW com aquecimento, 303 TW com resfriamento, o que totalizou em 2737 TW economizados no período de 1 ano. Já no nível do reservatório essa economia equivale a 5,70 metros com aquecimento, 0,71 com resfriamento, totalizando em 6,41 metros de coluna d'água economizados no período de 1 ano.

Gráfico 5 - Economia alcançada no Cenário Intermediário (C3)



Fonte: Autor, 2020.

De forma similar aos cenários anteriores, no Gráfico 5 é possível perceber que a maior economia em aquecimento ainda se encontra no mês de julho da estação fria, chegando na ordem de 614 TW e 1,4 metros. Em resfriamento ocorre também no mês de janeiro da estação quente, alcançando a ordem de 52 TW e 0,1 metros. Portanto, como aquecimento é responsável pela maior economia alcançada, o mês de julho obteve maior economia total, estando na ordem de 614 TW e 1,4 metros. Considerando uma área média de 750 km² do reservatório, percebe-se que o volume da água poupado é significativo.

Vale ressaltar que em todos os cenários foi possível constatar que durante todo o ano há contribuição no nível do reservatório advinda da economia energética promovida pelo telhado verde e que sua máxima ocorre entre os meses de abril a setembro, período de déficit hídrico.

4.3 ECONOMIA ALCANÇADA EM CUSTO

Sem a estrutura do telhado verde na cobertura dos domicílios do município de São Paulo, para manter o ambiente interno na temperatura de 24°C, no período de 1 ano, o aparelho de ar condicionado estaria em funcionamento para aquecer por 4155 horas e para resfriar por 1130 horas a mais na cobertura de telhado cerâmico que na estrutura contendo o telhado verde. O que totalizaria 10967 kW gastos em aquecimento e 1366,1 kW gastos em resfriamento por m² de telhado construído.

Portanto, seria gasto em 1 ano por m² construído 2,64 kWh em aquecimento e 1,21 kWh em resfriamento a mais em energia elétrica sem a técnica da estrutura verde.

A energia elétrica em São Paulo é distribuída pela ENEL e sua tarifa residencial convencional é de 0,534 R\$/kWh (ANEEL, 2020). Então, a economia alcançada com a estrutura seria de aproximadamente R\$ 1,409 em aquecimento e R\$ 0,645 em resfriamento por m² construído; o que no período de 1 ano seria de aproximadamente R\$ 5.856,210 em aquecimento e R\$ 729,504 em resfriamento por m² construído de telhado verde.

5 CONCLUSÃO

Devido ao aumento do consumo de energia elétrica e a crise hídrica observada nos últimos anos é de grande importância a busca por alternativas que venham a minimizar este quadro, tendo em vista que a maioria da energia gerada no Brasil é proveniente das usinas hidrelétricas.

Mediante a pesquisa desenvolvida ficou claro que com a implementação de telhado verde em toda área de telhado dos domicílios do município de São Paulo é possível economizar com refrigeração e aquecimento dos ambientes tanto em potência energética quanto em nível de reservatório o que torna a técnica estudada de grande importância para atenuar o quadro hidroenergético do país.

Em um cenário intermediário constatou-se que a economia em potência elétrica com aquecimento chegou na ordem de 2434 TW e com resfriamento na ordem de 303 TW totalizando em 2737 TW economizados no período de 1 ano. Já em nível de reservatório com aquecimento chegou na ordem de 5,70 metros e com resfriamento na ordem de 0,71 metros o que totalizou em 6,41 metros economizados no mesmo período. Considerando uma área média de 750 km² do reservatório, percebe-se que o volume da água poupado é significativo. Ficando comprovada, que a técnica aqui estudada pode ser uma medida sustentável que pode vir a auxiliar o déficit energético que o país enfrenta durante os episódios de estiagem, pois nesse mesmo período foi onde houve maior contribuição.

O trabalho possibilitou comprovar que a estrutura tanto do ponto de vista térmico quanto energético demonstrou ser benéfica, resultando em economia hídrica. Porém, um aspecto que não pode deixar de ser mencionado é que com toda essa área de telhado coberta por vegetação, como visto na literatura, haverá um atraso no fluxo da água devido a capacidade de sorção da estrutura e uma possível alteração na dinâmica de escoamento. Esse atraso, em épocas de cheia pode ser benéfico devido aos alagamentos em algumas regiões, mas em época de seca ainda não se sabe qual sua extensão e consequências. Deste modo, se fazem necessário futuros experimentos in loco para investigar as alterações no balanço hídrico advindas da instalação do telhado verde.

REFERÊNCIAS

ANA – AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. 2018. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2017_rel-1.pdf. Acesso em: 1 jan. 2019.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Ranking das Tarifas**. 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>. Acesso em: 1 ago. 2020.

ARAÚJO, S. R. de. **As funções dos Telhados Verdes no Meio Urbano, na Gestão e no Planejamento de Recursos Hídricos**. 28 f. Dissertação – Curso de Engenharia Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007.

ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO. **Lei em Recife obriga instalação de telhados verdes em prédios com mais de quatro pavimentos**, 2015. Disponível em: <http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2015/abril/lei-em-recife-obriga-telhados-verdes-em-predios>. Acesso em: 19 out. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-2:2008. Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico**. Rio de Janeiro. 2008.

BERNDTSSON, J. C. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. **Ecological Engineering**, Flórida (Amsterdam) v. 36, n. 4, p. 351-360, abr. 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857410000029>. Acesso em: 20 out. 2016.

BIANCHINI, F.; HEWAGE, K. How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. **Building and Environment**, Indiana (Amsterdam), v. 48, p. 57-65, 2012.

BRASIL, E. Comissão aprova incentivo fiscal para prédio que instalar telhado verde. **Agência Câmara Notícias**, Brasília, 17 jul. 2015. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/CIDADES/492570-COMISSAO-APROVA-INCENTIVO-FISCAL-PARA-PREDIO-QUE-INSTALAR-TELHADO-VERDE.html>. Acesso em: 20 set. 2017.

CATUZZO, H. **Telhado verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O caso da cidade de São Paulo**. 2013. 206 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2013.

FERRAZ, I. L. **O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Université de São Paulo, São Paulo, 2012. doi:10.11606/D.3.2012.tde-07062013-144209. Acesso em: 05 jun. 2018.

GHISI, E.; MONTIBELLER, A.; SCHMIDT, R. W. Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 41, n. 2, p. 204-210, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132305000132>. Acesso em: 25 jul. 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010: São Paulo**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados_preliminares/preliminar_tab_municipio_zip.shtm. Acesso em: 6 set. 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados**. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sao-paulo.html>. Acesso em: 20 mar. 2020.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Condicionadores de ar Split hi-wall**. Rio de Janeiro. 2018. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores_ar_split_hiwall_indicenovo.pdf. Acesso em: 15 mar. 2020.

LANGE, W. J. Metodologia de mapeamento da área potencial de telhados de edificações residenciais no Brasil para fins de aproveitamento energético fotovoltaico. Rio de Janeiro: **TerraGIS**, 2012.

MARQUES, M. C. S.; HADDAD, J.; MARTINS, A. R. S. Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações. **Itajubá, MG: FUPAI**, 2006.

MORUZZI, R. B.; MOURA, C. C. de; BARBASSA, A. P. Avaliação do efeito da inclinação e umidade antecedente na qualidade e quantidade das parcelas escoadas, percoladas e armazenadas em telhado verde extensivo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 59-73, jul./set. 2014.

MOURIÑO, G. L. de; ASSIREU, A. T.; PIMENTA, F. Regularization of hydroelectric reservoir levels through hydro and solar energy complementarity. **RBRH**, v. 21, n. 3, p. 549-555, 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2318-03312016000300549&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 19 jul. 2018.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Carga e geração, 2019**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/energia-agora/carga-e-geracao>. Acesso em: 24 ago. 2019.

PIMENTA, F. M.; ASSIREU, A. T. Simulating reservoir storage for a wind-hydro hybrid system. **Renewable energy**, v. 76, p. 757-767, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148114007629>. Acesso em: 19 jul. 2018.

PUCHERT, Erik. **Instalação de telhado verde diminui a temperatura em ponto de ônibus**, 2016. Disponível em: <http://www.tetovivo.com.br/instalacao-de-telhado-verde-diminui-a-temperatura-em-ponto-de-onibus/>. Acesso em: 19 out. 2016.

RIGHI, D. P.; KÖHLER, L. G.; LIMA, R. C. A. de.; SANTOS NETO, A. B. da S.; MOHAMAD, G. Cobertura Verde: um uso sustentável na Construção Civil. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 2, n. 2, p. 29-36, 2016.

SÃO PAULO. Secretaria de Energia. **Eletricidade**. São Paulo, 2018. Disponível em: www.energia.sp.gov.br/portal.php/eletricidade. Acesso em: 10 ago. 2018.

SILVA, Neusiane da Costa. **Telhado Verde: Sistema Construtivo de Maior Eficiência e Menos Impacto Ambiental**. 60 f. Monografia – Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

VIJAYARAGHAVAN, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Colorado (Amsterdam), v. 57, p.740-752, maio 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115015026>. Acesso em: 20 out. 2016.