

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

ISABELA DE ARAÚJO OLIVEIRA

**PETROLINA-PE FRENTE AOS OBJETIVOS 6 E 7 DO DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL: UM ESTUDO SOBRE ÁGUA E ENERGIA NA ESCALA URBANA
E DO EDIFÍCIO**

Maceió - AL

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

ISABELA DE ARAÚJO OLIVEIRA

**PETROLINA-PE FRENTE AOS OBJETIVOS 6 E 7 DO DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL: UM ESTUDO SOBRE ÁGUA E ENERGIA NA ESCALA URBANA
E DO EDIFÍCIO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Juliana Oliveira Batista

Maceió – AL

2022

**Catálogo na Fonte Universidade
Federal de Alagoas Biblioteca Central**

Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

O48p Oliveira, Isabela de Araújo.
Petrolina -PE frente aos objetivos 6 e 7 do desenvolvimento sustentável : um estudo sobre água e energia na escala urbana e do edifício / Isabela de Araújo Oliveira. – 2022.
175 f. : il. color.

Orientadora: Juliana Oliveira Batista.
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 162-175.

1. Nações Unidas. Assembleia Geral. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 2. Agenda 2030. 3. Sustentabilidade urbana. 4. Água - Uso. 5. Energia - Conservação. 6. Certificação ambiental. I. Título.

CDU: 721:504

Folha de Aprovação

ISABELA DE ARAÚJO OLIVEIRA

PETROLINA-PE FRENTE AOS OBJETIVOS 6 E 7 DO DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL: UM ESTUDO SOBRE ÁGUA E ENERGIA NA ESCALA
URBANA E DO EDIFÍCIO

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas (área de concentração: Dinâmicas do Espaço Habitado), como requisito para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Maceió, 01 de Novembro de 2022.



Documento assinado digitalmente
JULIANA OLIVEIRA BATISTA
Data: 30/01/2023 22:18:54-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.^ª Dr.^ª, Juliana Oliveira Batista, Universidade Federal de Alagoas (Orientadora)

Banca examinadora



Documento assinado digitalmente
FERNANDO ANTONIO DE MELO SA CAVALC/
Data: 26/01/2023 09:39:42-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr., Fernando Antônio de Melo Sa Cavalcanti, UFAL (Examinador Interno)



Documento assinado digitalmente
RICARDO VICTOR RODRIGUES BARBOSA
Data: 30/01/2023 22:09:21-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr., Ricardo Victor Rodrigues Barbosa, UFAL (Examinador Interno)



Documento assinado digitalmente
Maria Andrea Triana Montes
Data: 31/01/2023 17:46:31-0300
CPF: ***.620.909-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Dr.^ª, María Andrea Triana Montes (Examinador Externo)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por todos os milagres que perpassaram esse caminho e tornaram possível seu início, meio e fim.

Aos meus pais, Fátima e Galdino, por terem me ensinado os melhores valores e sempre dado o melhor de si para que eu tivesse uma vida cheia de possibilidades. A vocês eu devo cada conquista.

Às minhas irmãs, Maysa e Letícia, por me enxergarem com os melhores olhos, acreditarem em mim e serem sempre fonte de força. Poder dividir a vida com vocês é benção divina.

Aos meus cunhados, Marcelo e Wolney, pela parceria e por me proporcionarem alegrias constantes. Tenho-os como irmãos.

Às minhas amigas de infância, Jéssica, Larissa e Bárbara, por terem tornado mais leve essa caminhada (e todas as demais) através da partilha de sorrisos, escutas e abraços sinceros.

Aos meus amigos de faculdade, em especial a Vitor, Sudário e Rafa, por terem se mantido presentes mesmo em meio à pandemia e contribuído para que eu conseguisse concluir esse ciclo.

À minha amiga de mestrado, Oriana, pelas congruências neste percurso e por ter sido fonte de confiança, inspiração e companheirismo. Fui feliz em dividir esta experiência com você.

Aos meus avós, Valdir, Maria da Graças e Avelina, por sempre me receberem de braços abertos e serem meu melhor descanso. O amor paciente de vocês me enche de luz.

À minha orientadora, Juliana Batista, pela afabilidade que, unida à sua inegável competência, deu espaço à realização humana de um trabalho de qualidade.

À família que tornou possível a realização desta pesquisa: Ana Aglaê, Aglairton, Aglaíse e Ana Clara. A amável receptividade, solicitude, disposição e disponibilidade de vocês abraçou a mim e todo o estudo de caso.

A minha psicóloga Aline, por ter acompanhado as minhas dificuldades durante o processo e me ajudado a trilhar e chegar ao fim dessa caminhada.

Aos Doutores Fernando, Ricardo e Andrea por terem se disponibilizado à participação da banca e pelas contribuições oferecidas no desenvolvimento da pesquisa.

À Capes pelo incentivo financeiro e à Universidade Federal de Alagoas (em especial ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - PPGAU) pelo fomento à ciência e por terem viabilizado a continuidade do programa mesmo em realidade pandêmica.

A cada uma das pessoas que me apoiaram e acreditaram na minha capacidade, me dando forças para continuar, meu sincero agradecimento.

“O mais devagar de vocês está correndo.”

(Prof. Fábio Henrique, 2022)

RESUMO

Petrolina-PE frente aos Objetivos 6 e 7 do Desenvolvimento Sustentável: um estudo sobre água e energia na escala urbana e do edifício

A atual crise ambiental e econômica, o uso abusivo dos recursos naturais, as particularidades climáticas do semiárido brasileiro e do Submédio do São Francisco, a busca pela sustentabilidade urbana e a representatividade do setor residencial no consumo final de água e energia do país foram as principais motivações desta pesquisa. Buscou-se investigar a situação atual da cidade de Petrolina (PE) frente aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e à Agenda 2030 da ONU (referente à água e à energia), suas respectivas interferências no setor residencial e as possibilidades de otimização do consumo desses recursos. Para isso, foram realizados um levantamento documental e um estudo de caso numa residência unifamiliar de classe média da cidade. O uso de fontes como IDSC, MAPBIOMAS, PCS, SNIS, SNS, Instituto Trata Brasil, EPE, ANEEL, ONS, CRESESB, pesquisas regionais e publicações governamentais permitiram realizar a primeira etapa da pesquisa, onde investigou-se o nível de desenvolvimento da cidade frente à busca pela sustentabilidade, referente à gestão de água e energia. Na segunda etapa da pesquisa, caracterizou-se o consumo de água e energia da residência de estudo de caso e estudou-se possibilidades de melhorias segundo orientações dos selos Casa Azul + CAIXA; Processo AQUA-HQE e GBC Brasil Casa. A investigação do espaço urbano permitiu perceber que, embora 100% e 83,65% da população municipal seja atendida com serviços de água e esgotamento sanitário, respectivamente, a gestão de água da cidade ainda carece de melhorias: há perdas na distribuição, constantes paralizações e faltas de água nos domicílios, bem como descartes de lixo e esgoto bruto nas águas fluviais. Observou-se que a cidade sofre risco de desertificação e as interferências antrópicas têm causado impacto ambientais na bacia do São Francisco. No que se refere à energia, percebeu-se que, embora 99,21% dos domicílios da cidade tenham acesso à energia elétrica, a população ainda se depara com desafios relativos à vulnerabilidade energética, influenciada pelos efeitos das mudanças climáticas. Observou-se certas divergências entre os Índices de Desenvolvimento Sustentável (IDSC) da cidade e os dados oficiais, especialmente em relação à água. No estudo de caso, as possíveis medidas otimizadoras do consumo de água e energia poderiam ser: aproveitamento de água da chuva e de reuso (contribuição de 51,63L/dia e 120,35L/dia, respectivamente – sistemas que juntos supririam por completo a demanda de água não potável na residência e reduziriam em 57,7% a pressão que a residência exerce no sistema de abastecimento da cidade); substituição dos equipamentos elétricos por outros mais eficientes (redução de 12% da demanda energética residencial); incorporação de painéis fotovoltaicos na residência (supriria a demanda energética da família, com período de retorno financeiro de 38 meses). Impasses observados: necessidade de separação da instalação hidrossanitária em caso de instalação de sistema de reuso e de aquecimento de água. Notou-se que as orientações dos sistemas de certificação são úteis para residências em operação que não foram projetadas para atender a nenhuma certificação ambiental (embora com flexibilidade limitada), podendo contribuir com a otimização dos consumos familiares e com o alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável no espaço urbano.

Palavras-chave: ODS. Agenda 2030. Sustentabilidade urbana. Uso racional da água. Conservação de energia. Certificação ambiental.

ABSTRACT

Petrolina-PE in the face of Sustainable Development Goals 6 and 7: a study on water and energy in the urban and building scale

The current environmental and economical crisis, the abusive use of natural resources, the climatic particularities of the Brazilian semi-arid region and the São Francisco's Sub-medium, the search for urban sustainability and the residential sector representativeness in the final consumption of water and energy in the country were the main motivations of this research. The current situation of Petrolina(PE) in relation to the Sustainable Development Goals (SDGs) and the UN 2030 Agenda (regarding water and energy) was investigated, their respective interferences in the residential sector and the consumption optimizing possibilities. For this, a documentary research and a case study were carried out in a middle-class single-family residence in the city. The use of sources such as IDSC, MAPBIOMAS, PCS, SNIS, SNS, Instituto Trata Brasil, EPE, ANEEL, ONS, CRESESB, regional research and government publications allowed the first stage of the research to be carried out, where the level of development of the city was investigated, referring to water and energy management. In the second stage of the research, the case study residence consumption pattern was characterized and possibilities for improvement were studied according to the guidelines of the Casa Azul + CAIXA seals; AQUA-HQE and GBC Brasil Casa. The investigation of the urban space made it possible to perceive that, although 100% and 83.65% of the municipal population are served with water and sewage services, respectively, the city's water management still needs improvement: there are losses in distribution, constant stoppages and water shortages in households, as well as garbage and raw sewage disposal in river waters. It was observed that the city is at risk of desertification and human interference has caused environmental impact in the São Francisco basin. With regard to energy, it was noticed that, although 99.21% of households in the city have access to electricity, the population still faces challenges related to energy vulnerability, influenced by the effects of climate change. Certain divergences were observed between the Sustainable Cities Development Index and official data, especially in relation to water. In the case study, possible measures to optimize water and energy consumption could be: use of rainwater and water reuse (contribution of 51.63L/day and 120.35L/day, respectively - systems that together would completely supply the demand for non-potable water in the home and would reduce by 57.7% the pressure that the home exerts on the city's supply system); replacement of electrical equipment by more efficient ones (12% reduction in residential energy demand); incorporation of photovoltaic panels in the residence (it would supply the energy demand of the family, with a financial payback period of 38 months). Impasses observed: need to separate the hydrosanitary installation in case of installation of reuse and water heating system (solar panels). It was noted that the guidelines of the certification systems are useful for residences in operation that were not designed to meet any environmental certification (although with limited flexibility), and can contribute to the optimization of family consumption and the achievement of the Sustainable Development Goals. in urban space.

Keywords: SDGs. 2030 Agenda. Urban sustainability. Rational use of water. Energy conservation. Environmental certification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	14
Figura 2 - Mapa dos índices pluviométricos médios anuais do clima semiárido (1961-1990) 16	16
Figura 3 - Subdivisão e Abrangência da Bacia do São Francisco	17
Figura 4 - Rio São Francisco separando as cidades de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA).....	18
Figura 5 - Balanço hídrico superficial da bacia do São Francisco	18
Figura 6 - Consumo Final de água por Setor.....	19
Figura 7 - Consumo cativo por classe de consumo	21
Figura 8 - Pontuação geral das cidades brasileiras quanto ao nível de desenvolvimento	30
Figura 9 - Região de Influência de Petrolina PE	32
Figura 10 - - Região Ampliada do AP do Recife/PE - 2013/2021	34
Figura 11 - Porcentagem de uso interno per capita por acessório, 12 locais de estudo	46
Figura 12 - Perfil do consumo e usos finais da água (volumes acumulados), 12 locais de estudo.....	46
Figura 13 - Penetração de Sistemas de Aquecimento Solar nas Residências Brasileiras.....	56
Figura 14 - Curva de carga diária média do setor residencial por uso da energia final no Brasil	56
Figura 15 - Esquema metodológico da pesquisa	61
Figura 16 - Zonas de crescimento residencial da cidade de Petrolina PE (2015 a 2022).....	64
Figura 17 - Quantidade de economias ativas de água em 22 anos	65
Figura 18 - Pessoas e famílias por classes da renda familiar per capta, Brasil, 2017 - 2018 ...	66
Figura 19 - Distribuição espacial de consumo residencial de água e renda da população em 2010	67
Figura 20 - Localização da Residência de Estudo de Caso	67
Figura 21 – Térreo (a) e Primeiro Pavimento (b) da Residência de Estudo de Caso	68
Figura 22 - 3D Residência de Estudo de Caso	68
Figura 23 - Residência estudo de caso.....	69
Figura 24 - Medições realizadas nos pontos de uso de água	70
Figura 25 - Temperaturas mensais de Petrolina PE.....	71
Figura 26 - Amperímetro digital usado em auditoria energética.....	76
Figura 27 - Medição de consumo adaptada (condicionar de ar e bomba submersa).....	76
Figura 28- Posição geográfica do município de Petrolina (PE)	83
Figura 29 - Avaliação atual quanto ao desempenho por ODS de Petrolina (PE).....	84

Figura 30 - Climatologia da precipitação anual da Região Nordeste do Brasil (marcação em Petrolina PE).....	87
Figura 31 - Médias mensais das médias, medianas e desvio padrão da precipitação pluvial. .	87
Figura 32 - Valores dos índices de anomalia de chuva (IAC), para as respectivas classes de intensidade de categorias de seca meteorológica em Petrolina, PE	88
Figura 33 – Classificação climática segundo valores do Índice de Aridez	89
Figura 34 - Distribuição espacial do índice de aridez para o Estado de Pernambuco 2013-2016	89
Figura 35 - Distribuição espacial da susceptibilidade a desertificação global para o Estado de Pernambuco	90
Figura 36 - Sistema de degradação ambiental e configuração de núcleos de desertificação no Semiárido.....	91
Figura 37 - Crescimento dos bancos de macrófitas aquáticas nas margens do Rio São Francisco.....	94
Figura 38 - População urbana residente e atendida com água e esgoto em 20 anos	96
Figura 39 - População total residente e atendida com água e esgoto em 20 anos	97
Figura 40 - Água consumida, esgoto gerado e tratado em 20 anos	98
Figura 41 - Índice de perdas na distribuição (%) de Petrolina PE.....	100
Figura 42 - Relação entre classe social e acesso a saneamento.....	101
Figura 43 - Variação de Geração Elétrica em GWh entre 2020 e 2021	102
Figura 44 - Geração Média da UHE Sobradinho	103
Figura 45 - Geração Média Anual da Companhia Energética de Petrolina.....	104
Figura 46 - Irradiação Solar de Petrolina (PE) no plano inclinado	106
Figura 47 – Uso de Energia Fotovoltaica nas residências em Petrolina PE	107
Figura 48 - Consumos mensais de água nos anos de ocupação da residência (m ³).....	111
Figura 49 - Média de consumo de água por horário.....	114
Figura 50 - Consumo diário de água por ponto de uso.....	115
Figura 51 - Cenário de escassez de água	116
Figura 52 - Baixa vazão nos pontos de utilização ligados à rede de abastecimento	117
Figura 53 - Água de abastecimento com elevada turbidez e presença de sedimentos	117
Figura 54 - Cisterna enterrada e caixas d'água da residência.....	118
Figura 55 - Distribuição espacial das ocorrências de falta de água.....	120
Figura 56 - Ocorrência de Falta de Água por Padrão Residencial	121

Figura 57 - Medição de Pressão de chegada de água (uso de manômetro).....	122
Figura 58 - Destaque em verde da área permeável na planta baixa térreo	124
Figura 59 - Jardim Residência Estudo de Caso (antes e após redução do fornecimento de água)	124
Figura 60 – Relação entre volume do reservatório e variáveis do sistema.....	127
Figura 61 – Distribuição mensal de volume de água pluvial	129
Figura 62 - Consumo energético mensal 2017-2022.....	131
Figura 63 - Média de consumo energético por horário	135
Figura 64 - Consumo diário de energia por equipamento	136
Figura 65 - Irradiação Solar de Petrolina (PE) no plano inclinado	142
Figura 66 – Cobertura da Residência	143
Figura 67 - Carta solar cidade de Petrolina/PE	145
Figura 68 - Insolação em cada fachada da residência	146
Figura 69 – Fluxos de vento no interior da residência	147
Figura 70 - Parede de vidro voltada à face oeste.....	148
Figura 71 - Tipologia de parede da residência do estudo de caso	150
Figura 72 - Delimitação de sombreamento do elemento transparente (ambiente em corte) ..	152
Figura 73 - Corredor dos fundos.....	152

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Metas dos Objetivos 6 e 7 dos ODS.....	15
Tabela 2 - Orientações à otimização do consumo de água em residências segundo 3 certificações.....	72
Tabela 3- Orientações à otimização do consumo de energia em residências segundo 3 certificações.....	78
Tabela 4 - Usinas em Petrolina (PE), Juazeiro (BA) e Sobradinho (BA)	105
Tabela 5 - Vazões dos aparelhos sanitários	111
Tabela 6 - Volumes consumidos por ciclo	112
Tabela 7 - Consumo de água da família por dia e horário.....	113
Tabela 8 - Consumo por ponto de uso separado por dia	115
Tabela 9 – Valores médios associados ao volume do reservatório	128
Tabela 10 - Volume de água residuárias cinza clara gerada e demandada por dia	129
Tabela 11 - Potência Média dos Equipamentos.....	132
Tabela 12 - Potências nominais das lâmpadas	133
Tabela 13 - Consumo de energia da família por dia e horário	134
Tabela 14 - Consumo por equipamento separado por dia	136
Tabela 15 - Equipamentos escolhidos para substituição teórica	139
Tabela 16 - Quadro comparativo do consumo diário após substituição teórica dos equipamentos.....	140
Tabela 17 - Consumos mensais de energia elétrica nos anos de ocupação da residência	141
Tabela 18 - Áreas de abertura de ambientes de permanência prolongada.....	149

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contribuição ao Campo Disciplinar.....	23
1.2	Objetivos	25
1.2.1	Objetivo Geral	25
1.2.2	Objetivos Específicos	25
1.3	Estrutura da dissertação	25
2	REVISÃO DE LITERATURA	27
2.1	Sustentabilidade em escala global e local.....	27
2.1.1	Certificações ambientais.....	35
2.2	Sustentabilidade na escala do edifício	44
2.2.1	Água	44
2.2.2	Energia.....	52
2.3	Síntese da revisão bibliográfica	59
3	METODOLOGIA	61
3.1	Investigação do cenário de Petrolina PE frente à Agenda 2030 e aos ODS	61
3.1.1	Água no espaço urbano.....	62
3.1.2	Energia no espaço urbano.....	62
3.2	Estudo da escala do Edifício: estudo de caso.....	63
3.3	Investigação do Padrão de Consumo de Água.....	69
3.4	Estudo da otimização do consumo de água	71
3.5	Investigação do Padrão de Consumo de Energia.....	75
3.6	Estudo da otimização do consumo de energia	77
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	82
4.1	Escala Urbana	82
4.1.1	Água	85
4.1.2	Energia.....	101

4.2	Escala do edifício: estudo de caso	108
4.2.1	Água	110
4.2.2	Energia.....	130
5	CONCLUSÕES.....	154
5.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	159
	REFERÊNCIAS	162

1 INTRODUÇÃO

A Constituição Federal (CF/88), em seu artigo 225, estabelece o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e o traz como bem de uso comum do povo, sendo, portanto, garantia mínima de toda a coletividade. Para o efetivo exercício do referido direito, a CF/88 determina ser ônus do Estado e de toda sociedade a defesa e a preservação do meio ambiente para as presentes e futuras gerações. No mesmo sentido, o Estatuto da Cidade, estabelecido pela Lei 10.257/2001, estipula ser objetivo da política urbana o pleno desenvolvimento das funções da cidade e da propriedade e, para que isto seja alcançado, elenca diversas diretrizes. Desse modo, como uma das linhas de orientação está a adoção de padrões de produção e consumo de bens e serviços e de crescimento urbano que estejam em harmonia com o limite da sustentabilidade ambiental, social e econômica do Município e de área por ele influenciada, conforme inciso VIII, do artigo 2º, do referido Estatuto.

Como estabelecido pela Constituição Federal e pelo Estatuto da Cidade, é imprescindível que exista equilíbrio entre a preservação do meio ambiente e as ações antrópicas, a exemplo da exploração dos recursos e do desenvolvimento urbano. Segundo o relatório Bruntland (*Our Common Future*, 1987), o atendimento das necessidades do presente sem o comprometimento das necessidades das gerações futuras faz parte do conceito da sustentabilidade (MONTES, 2016). O padrão de produção e consumo da atualidade não tem garantido, entretanto, a preservação de um meio ambiente ecologicamente equilibrado. A pós modernidade trouxe vigorosas transformações socioambientais por vezes associadas à poluição urbana, às mudanças climáticas e a perda da biodiversidade (SBPC, 2019).

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022), entre 2010 e 2019 houve aumento de emissões antropogênicas líquidas totais de Gases de Efeito Estufa (GEE), bem como de CO₂ desde 1850. Observou-se maiores valores de emissões médias anuais de GEE entre 2010 e 2019 do que na década anterior, embora a taxa de crescimento tenha se reduzido. Foi observado que, embora tenham sido conseguidas reduções de emissões de CO₂ de combustíveis fósseis e processos industriais, os aumentos de emissões decorrentes do crescimento dos níveis de atividade global na indústria, abastecimento de energia, transportes, agricultura e edifícios apresentaram valores superiores. Foi percebido que os atuais planos climáticos nacionais (Contribuição Nacionalmente Determinada, da sigla inglês NDCs) associados ao Acordo de Paris (tratado internacional contra as mudanças climáticas causadas por ações antrópicas) não garantirão aquecimento global menor que 1,5°C até 2030, sendo

necessário rápidos, profundos e, na maioria dos casos, imediatos esforços para limitar o aquecimento abaixo desse valor. Sem um fortalecimento de políticas para além daquelas implementadas até o final de 2020, a tendência é que as emissões sigam aumentando e resultem num aquecimento global médio de 3,2°C até 2100. Embora já tenha havido uma expansão consistente de políticas e leis que tratam da mitigação desde o AR5 (5º Relatório do IPCC, de 2014), aumento de investimento em tecnologias e infraestrutura de baixo GEE (Gases de Efeito Estufa) e prevenção de algumas emissões, ainda há consideráveis desafios a serem vencidos (IPCC, 2022).

A Agenda 2030, adotada pelos 193 Estados membros da Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, defendeu a necessidade de se acompanhar e avaliar desempenhos nacionais, regionais e locais quanto às ações climáticas, aos padrões de desenvolvimento e seus níveis de sustentabilidade (SBPC, 2019). Foram traçados, assim, 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) a serem cumpridos até 2030, estruturados a partir de um posicionamento global histórico e atual entre junho de 2012 e setembro de 2015, Figura 1. Estas metas são significativamente relevantes para reunir o mundo em uma agenda de desenvolvimento comum (NHAMO; DUBE; CHIKODZI, 2020).

Figura 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



(Fonte: UNITED NATIONS, 2022)

É importante pontuar, entretanto, que em meio aos desafios do alcance à sustentabilidade, há, ainda, questões globais emergentes que têm impedido a expansão mundial de implementação dos ODS. A pandemia de COVID-19 e a guerra na Ucrânia, por exemplo, atrasaram ainda mais a incorporação de padrões sustentáveis de desenvolvimento. Eventos como esses podem causar a regressão de séculos de desenvolvimento e reduzir significativamente as taxas de crescimento projetadas. Assim, é necessário um esforço urgente

de resgate dos ODS para que a situação seja revertida, permitindo uma melhor aproximação à sustentabilidade (UNITED NATIONS, 2022).

De acordo com Elkington (1994), a sustentabilidade é o equilíbrio entre três pilares: ambiental, econômico e social. A gestão dos recursos naturais (água, energia e fluxo de massa) faz parte do pilar ambiental. Metas relativas aos recursos Água e Energia são tratadas nos Objetivos 6 e 7 dos ODS, respectivamente. O Objetivo 6 almeja a garantia da disponibilidade e da gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos, enquanto o Objetivo 7 almeja a garantia do acesso a fontes de energia fiáveis, sustentáveis e modernas para todos. As metas de cada objetivo estão resumidas na Tabela 1 (UNITED NATIONS, 2018).

Tabela 1 - Metas dos Objetivos 6 e 7 dos ODS

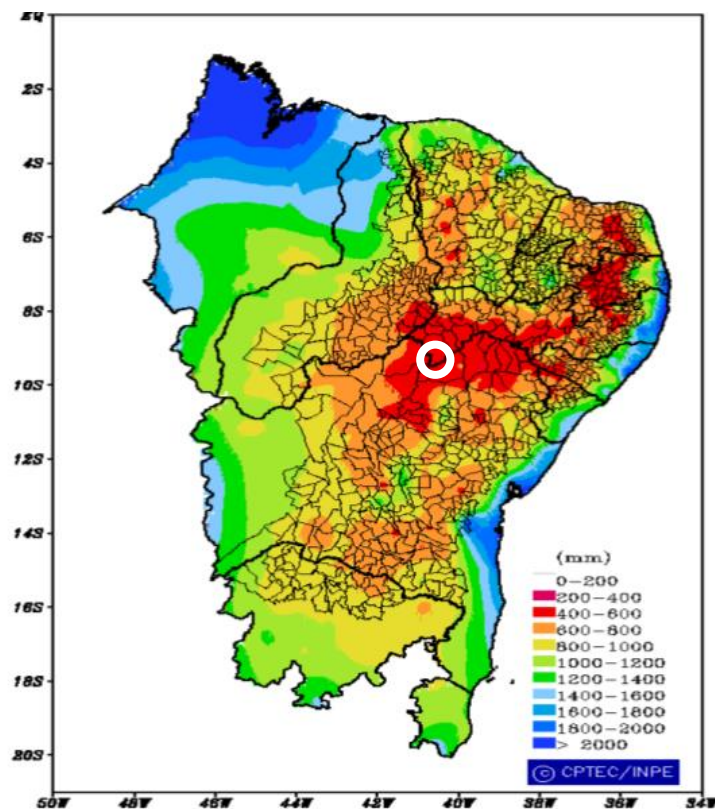
<i>Metas</i>	<i>Objetivo 6</i>	<i>Objetivo 7</i>
	<i>Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos</i>	<i>Garantir o acesso a fontes de energia fiáveis, sustentáveis e modernas para todos</i>
<i>1</i>	<i>Alcançar o acesso universal e equitativo a água potável segura e acessível para todos</i>	<i>Garantir o acesso universal a serviços de energia confiáveis e modernos</i>
<i>2</i>	<i>Alcançar o acesso a serviços adequados e equitativos saneamento e higiene para todos e acabar com a defecação a céu aberto</i>	<i>Aumentar substancialmente a participação de energia renovável no mix global de energia</i>
<i>3</i>	<i>Melhorar a qualidade da água reduzindo poluição, eliminando o despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos</i>	<i>Alcançar o dobro da taxa global de melhoria na eficiência energética</i>
		<i>3.1 - Reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso à pesquisa de energia limpa e tecnologia</i>
		<i>3.2 - Expandir a infraestrutura e atualizar tecnologia para fornecer energia moderna e sustentável serviços para todos nos países em desenvolvimento</i>
<i>4</i>	<i>Aumentar substancialmente o uso de água eficiência em todos os setores e garantir retiradas e fornecimento de água doce para atender escassez e reduzir substancialmente o número de pessoas sofre com a escassez de água</i>	
<i>5</i>	<i>Implementar recursos hídricos integrados gestões em todos os níveis</i>	
<i>6</i>	<i>Proteger e restaurar ecossistemas, incluindo montanhas, florestas, pântanos, rios, aquíferos e lagos</i>	
	<i>6.1 - Expandir a cooperação internacional e apoio de capacitação para países em desenvolvimento</i>	
	<i>6.2 - Apoiar e fortalecer a participação de comunidades na melhoria da água e do saneamento gestão</i>	

(Fonte: Autora, 2022 – baseado em UNITED NATIONS, 2018)

Para que seja possível aplicar essas metas e aproximar os desenvolvimentos socioeconômicos da sustentabilidade, é necessário que sejam conhecidos os cenários atuais, as atividades que geram degradação ambiental e suas possíveis correções. A partir do conhecimento das maiores pressões exercidas no meio ambiente, ações corretivas e preventivas podem ser orientadas.

Observado de perto o contexto do Nordeste brasileiro, segundo o IBGE, 60% deste território é composto pelo clima semiárido, marcado por chuvas irregulares e escassas (RAMALHO, 2013). As regiões com esse clima são caracterizadas por possuir balanço hídrico negativo (com precipitações médias anuais menores que 800 mm), evaporação de 2.000 mm/ano e valores médios de temperaturas anuais, insolação e umidade relativa do ar de 23° a 27° C, 2800 h/ano e 50% (por volta de), respectivamente (BRITO et. al, 2007). O mapa dos índices pluviométricos médios anuais do clima semiárido está exposto na Figura 2. A irregularidade no regime pluviométrico do clima semiárido pode ser notada, por exemplo, no município de Petrolina -PE (circulado na Figura 2), que apresentou valores de precipitação anual abaixo de 235,27 mm e acima de 791,62 mm em série histórica de 51 anos (LOPES et al., 2017).

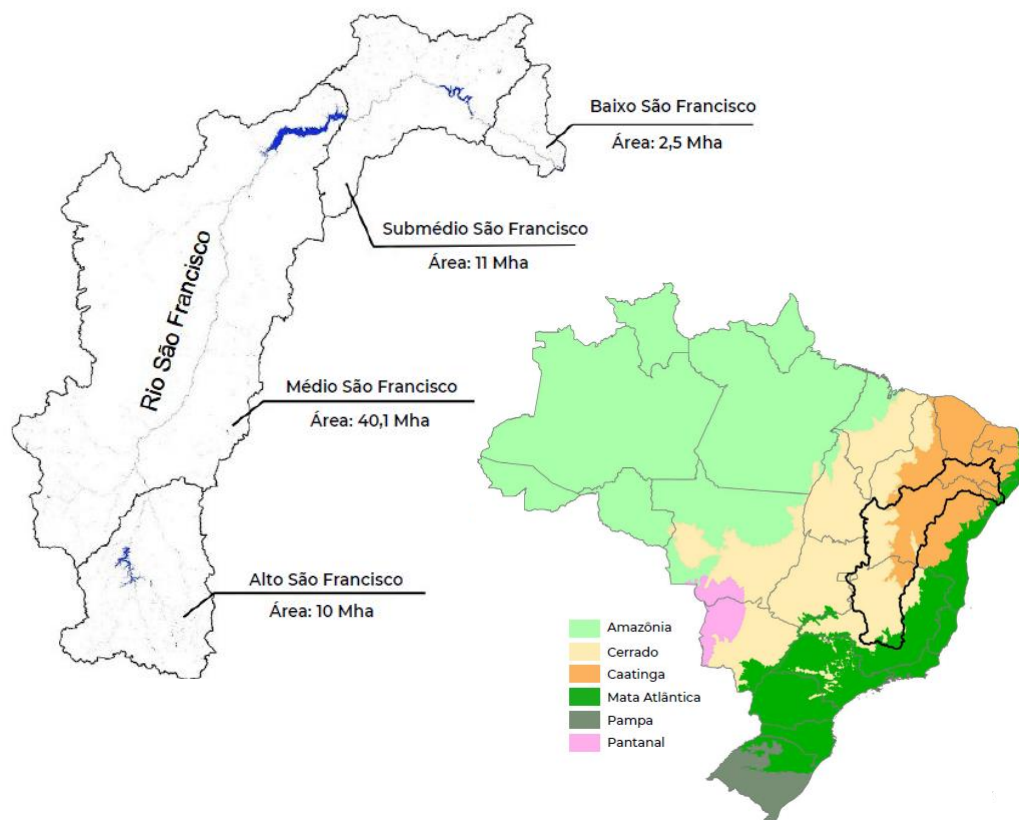
Figura 2 - Mapa dos índices pluviométricos médios anuais do clima semiárido (1961-1990)



(Fonte: BRASIL, 2007 – Adaptado - Destaque na cidade de Petrolina PE)

A maior parte da disponibilidade de água na região nordestina é proveniente do rio São Francisco, o qual teve crucial importância no seu desenvolvimento e ocupação populacional. A bacia do rio São Francisco tem área total igual a 63,6 Mha, passa por 7 estados brasileiros (MG, GO, DF, BA, PE, AL e SE), e é marcado em sua maior extensão pelo Cerrado e pela Caatinga. Como pode ser observado na Figura 3, esta bacia divide-se em quatro regiões principais: Alto, Médio, Submédio (onde está localizada a cidade de Petrolina PE, Figura 4) e Baixo São Francisco (MAPBIOMAS, 2020)

Figura 3 - Subdivisão e Abrangência da Bacia do São Francisco



(Fonte: MAPBIOMAS, 2020)

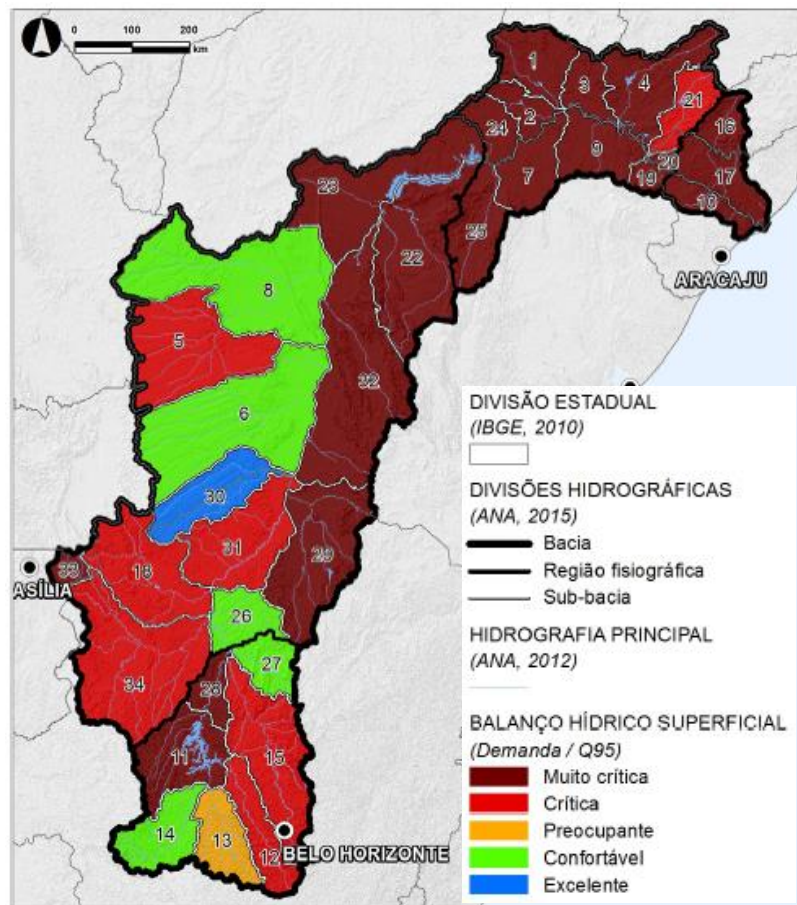
Como pode ser observado na Figura 5, as Sub-bacias do Submédio e do Baixo São Francisco apresentam destaque na sobre-exploração dos recursos (onde não é possível satisfazer a demanda de água para todos os usos, considerando a disponibilidade), o que reflete na degradação dos recursos hídricos no sentido jusante da bacia (BETTENCOURT et al., 2016). O crescimento da urbanização, a demanda hídrica abusiva, a prática intensiva da agricultura, a poluição e a impermeabilização do solo provocaram consideráveis impactos no São Francisco (BRASIL, 2000).

Figura 4 - Rio São Francisco separando as cidades de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA)



(Fonte: Leonardo Carvalho, 2021)

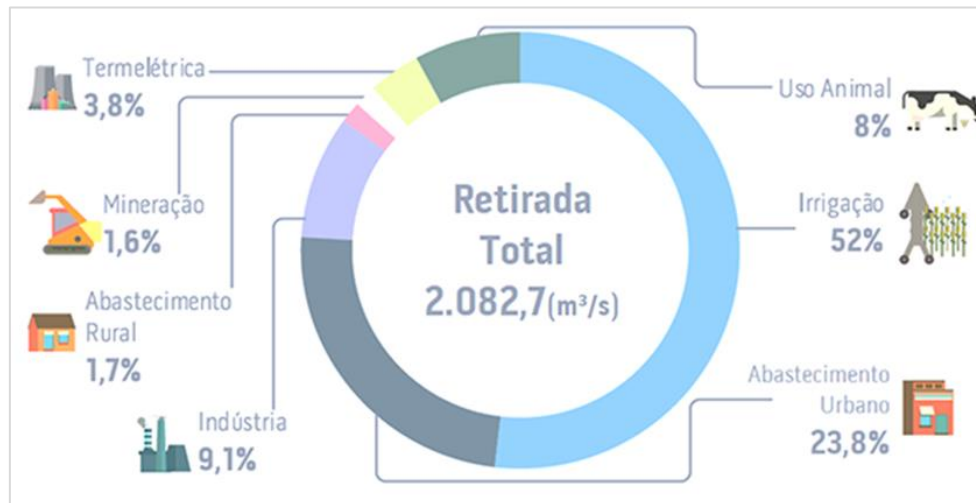
Figura 5 - Balanço hídrico superficial da bacia do São Francisco



(Fonte: BETTENCOURT *et al.*, 2016)

Para que a eficiência hídrica seja alcançada e que seja conseguido melhor equilíbrio entre demanda e disponibilidade, é importante que sejam conhecidos os destinos da água retirada dos corpos hídricos e os respectivos pontos que mais impactam no consumo final no país, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Consumo Final de água por Setor



(ANA, 2019)

Como pode ser observado, o abastecimento urbano é o segundo setor que mais demanda água no Brasil, consumindo 23,8% da água total distribuída (ANA, 2019). Dessa forma, é importante que cada cidade tenha seu ritmo de desenvolvimento urbano alinhado com a racionalização do consumo da água, a fim de reduzir a pressão exercida nos corpos hídricos.

Vale ressaltar que a água doce retirada para tais atividades faz parte de apenas 2,5% do total de água existente no planeta. Desse valor, apenas 0,3% está disponível em rios e lagos. Apesar do Brasil abrigar cerca de 13,7% das reservas mundiais de água doce, mais de 73% do seu volume está concentrado na bacia Amazônica, o que evidencia a desuniformidade na disponibilidade de água no país. Enquanto a região Norte dispõe de 68,5% da água doce do país, a região Nordeste dispõe de apenas 3,3% (MMA, 2006), sendo a primeira ocupada por 8,6% da população brasileira e a segunda por 27,2% (IBGE, 2020c). De acordo com Flörke et al. (2018), se o padrão de consumo humano continuar o mesmo, a demanda de água pode exceder a disponibilidade de água superficial até 2050 em quase um terço das maiores cidades do mundo.

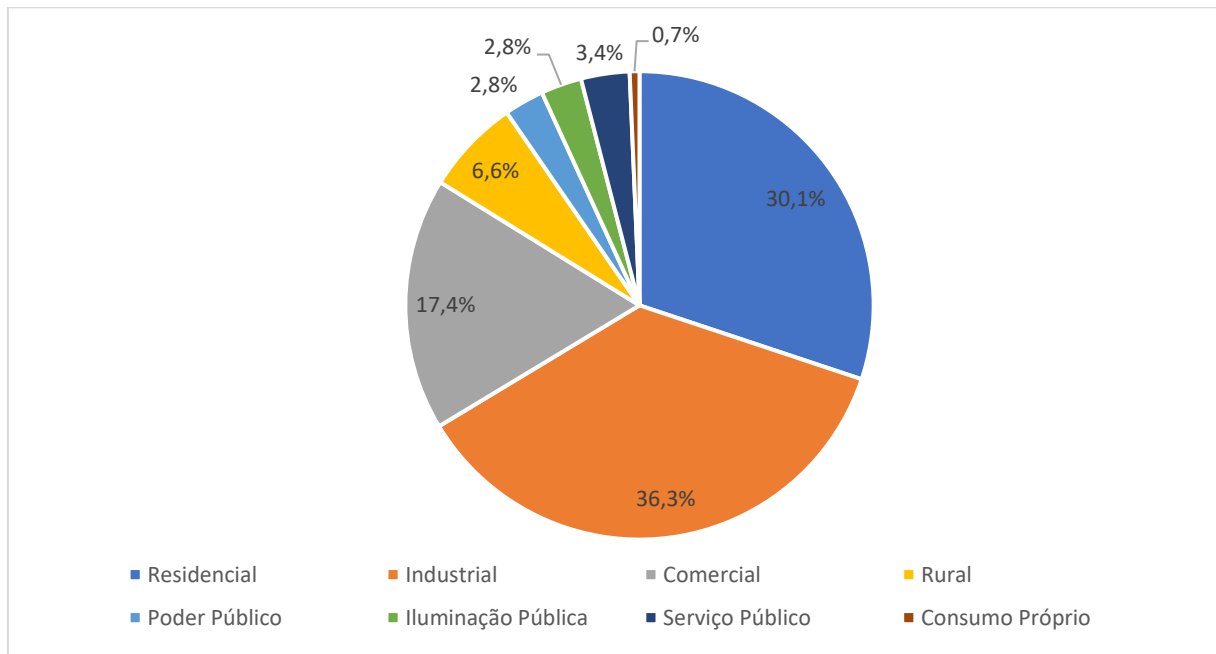
As desigualdades na distribuição dos recursos entre as regiões brasileiras também ocorre em relação à eletricidade. As regiões Norte e Nordeste, além de apresentarem menor renda per

capita entre os habitantes, apresentam menor consumo e acesso à eletricidade quando comparadas com a outras regiões do país (THIVES; GHISI; JÚNIOR, 2022).

A realidade hídrica do país possui estreita relação com a energética, uma vez que, em 2020, 60,7% da Oferta Interna de Energia Elétrica era proveniente de hidrelétricas (EPE, 2022b). Dessa forma, crises hídricas repercutem diretamente na geração de eletricidade do país, o que pôde ser notado em 2021, ano que houve redução da oferta de hidreletricidade para 53,4% devido à diminuição dos níveis dos reservatórios das principais hidrelétricas do país, provocada pela escassez de chuvas em 2021, a qual afetou principalmente as regiões Sudeste e Centro-Oeste com a pior seca do país em 91 anos. A crise hídrica ocasionou aumento da bandeira tarifária na conta de luz em setembro de 2021 (Bandeira Escassez Hídrica), dado pela intensificação do uso de usinas termoelétricas (Agência Brasil, 2021). Após superada a crise hídrica, aumentou-se a geração de energia por meio de hidrelétricas (devido ao aumento do nível nos reservatórios do sudeste e centro-oeste do país) e o Brasil passou a apresentar condições favoráveis de geração de energia elétrica, reduzindo a bandeira tarifária para patamar verde em julho de 2022 (ANEEL, 2022a).

De acordo com o Balanço Energético Nacional (EPE, 2022b), ano base 2021, a queda da geração de hidrelétricas neste ano repercutiu no aumento da oferta das fontes de carvão a vapor, gás natural, eólica e solar fotovoltaica, as quais tiveram um crescimento de 47,2%, 46,2%, 26,7% e 55,9%, respectivamente (EPE, 2022b). A evolução da geração eólica contribuiu com mais de 15TWh em relação a 2021, se destacando entre a relação à Biomassa e geração nuclear (outras fontes renováveis). A geração termelétrica, por sua vez, apresentou avanço de 24% em relação a 2021 (em especial gás natural, derivado de petróleo e gás a vapor). Devido à queda na oferta hidráulica, a participação de renováveis na matriz elétrica brasileira caiu de 83,8% em 2020 para 78,1% em 2021. Ainda assim, o Brasil se destaca entre os outros países quanto à renovabilidade energética (os países do mundo apresentaram uma média de 26,6% em 2019).

Para que seja possível melhorar a eficiência energética do país, com consequente redução de consumo, é preciso conhecer os setores de maiores potenciais de contribuição na redução da demanda final de eletricidade. A Figura 7 expõe o percentual de demanda de energia elétrica por classe de consumo brasileira (ano base 2021).

Figura 7 - Consumo cativo por classe de consumo

(Fonte: Autora, 2022, baseado em EPE, 2022a)

Como pode ser observado no gráfico, a segunda classe de consumo que mais demanda energia no Brasil é a residencial, com 30,1% (ano base 2021). Deste consumo, 21,4% está no Nordeste (EPE, 2022). De acordo com Tubelo (2014), a demanda de energia no setor residencial tende a crescer, principalmente considerando a expansão do número de moradias estimada para o futuro. Segundo EPE (2021), foi observado, entre 2000 e 2020, um crescimento de 19% na demanda de eletricidade por domicílio. Este aumento deu-se, principalmente, devido ao progresso econômico das famílias, estímulos para redução do déficit habitacional no Brasil, avanço de crédito para compra de eletrodomésticos, programas habitacionais e políticas governamentais de ligações na zona rural. Assim, o aumento da demanda por eletricidade do setor residencial evidencia a importância da adoção de padrões mais rigorosos de consumo de energia no setor, a fim de reduzir o impacto ambiental causado pela geração e pelo consumo de energia elétrica em esfera nacional (MME, 2018).

No intuito de melhorar a eficiência energética nas residências, políticas são implementadas desde 1984, a exemplo das etiquetagens de equipamentos, eletrodomésticos e de edificações (2009), as quais indicam índices mínimos de eficiência energética. O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) faz parte das primeiras iniciativas brasileiras executadas no intuito de estimular a fabricação de equipamentos mais eficientes e de educar o consumidor. Além da posterior criação do Selo PROCEL e CONPET (1993), passaram a existir também

iniciativas complementares para promoção da eficiência energética, como normas, certificações e programas que incluem, além dos equipamentos, o estudo do desempenho térmico das edificações e do uso de sistemas alternativos de geração de energia. (EPE, 2021). De acordo com PROCEL (2021), o consumo de cerca de 29,25 GWh foi evitado nas edificações construídas entre 2015 e 2020 devido ao Selo Procel Edificações.

Tais políticas têm se mostrado benéficas para a garantia do bem-estar das atuais e futuras gerações, para a preservação da saúde ambiental e para o melhoramento da trajetória dos espaços urbanos, os quais têm apresentado padrões insustentáveis de desenvolvimento. O uso abusivo de água e energia no espaço urbano expõe o atraso das cidades em termos de sustentabilidade. Segundo o professor e pesquisador Asher Kiperstock, ter indicadores que orientem o sentido da sustentabilidade nesses espaços é fundamental, pois além de permitirem a definição e medição das atividades que geram degradação ambiental, também contribuem nas suas correções. Assim, o uso de parâmetros é muito positivo tanto para a indicação do estado atual da realidade, quanto para a impressão de uma ação que resolva a situação atual e futura, considerando o nível de eficiência necessária. Dessa forma, é preciso identificar as atividades humanas que exercem maiores pressões no meio ambiente e prever onde chegarão essas atitudes, a fim de definir o que deve ser feito atualmente para que os resultados futuros sejam diferentes. Segundo o professor, a questão principal é saber se o ritmo de melhora das ações impressas é suficiente para reverter o dano ocasionado, considerando sua tendência constante de crescimento.¹

Conjuntos de métricas como aqueles propostos pela Agenda 2030 e pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), auxiliam a medição das condições atuais e orientam o alcance da sustentabilidade em escalas globais e locais, considerando históricos passados e perspectivas futuras dos ambientes estudados. Segundo o IPCC (2022), o alcance dos ODS pode ser fortemente reforçado pela construção/adaptação de edificações voltadas à aproximação da emissão zero de Gases de Efeito Estufa, pela implementação das políticas que estimulem eficiência energética e pelo uso de energias renováveis, por exemplo (IPCC, 2022).

Dessa forma, para vencer os desafios globais de sustentabilidade, é importante que sejam conhecidos os cenários atuais e as perspectivas futuras. O conhecimento dos padrões de consumo dos recursos naturais, bem como das suas respectivas possibilidades de mudança pode

¹ Posicionamento defendido em seminário pelo professor PhD Asher Kiperstock, da Universidade Federal da Bahia, na disciplina de Dinâmicas do Espaço Habitado, na Universidade Federal de Alagoas, em junho de 2021.

contribuir positivamente com o alcance da eficiência hídrica e energética do espaço urbano e do edifício. Traçar o panorama do recorte que se pretende estudar é, assim, o passo inicial para a aproximação com a sustentabilidade e alcance dos ODS. Ter o conhecimento dos dados climáticos, das particularidades regionais, do comportamento do usuário, das relações entre disponibilidades de recursos e demandas, da geração e consumo de energia, do abastecimento de água e do saneamento, por exemplo, permite que ações sustentáveis referentes à água e à energia sejam tomadas nas mais diversas escalas.

Dessa forma, este trabalho discute a situação atual da cidade de Petrolina-PE (localizada no Nordeste brasileiro, na região do Submédio do São Francisco, e submetida a clima semiárido) frente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, para escala urbana e do edifício.

1.1 Contribuição ao Campo Disciplinar

A crescente demanda hídrica e energética, o crescimento desorganizado das cidades, a deficiência de planejamento urbano e de gestão dos recursos evidenciam a importância da exploração de assuntos relacionados à sustentabilidade no espaço urbano e às possibilidades de melhoria. A região nordestina, especialmente aquela submetida ao clima semiárido, ainda carece de pesquisas que abordem temáticas acerca do desenvolvimento sustentável nas cidades. Além disso, diante das crises econômicas e ambientais enfrentadas atualmente, é importante que se garanta constante estudo e exploração da realidade atual e das perspectivas futuras, a fim de se garantir que o melhoramento possa ser alcançado.

O controle e a garantia do alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável dependem diretamente do constante acompanhamento e avaliação das situações presentes e das perspectivas futuras das cidades. Assim, é relevante que pesquisas na área sejam realizadas e estimuladas, uma vez que elas contribuem com a exploração dos dados disponibilizados no país, auxiliando na adequação dos espaços urbanos à sustentabilidade.

Além disso, a apresentação de dados experimentais que balizem estimativas confiáveis para o potencial de economia hídrica e energética, bem como a adequação às diretrizes da Agenda 2030, também se mostra relevante para o desenvolvimento das cidades e para preservação do meio ambiente. Dessa forma, conhecer o panorama da cidade de Petrolina (PE) quanto à gestão dos recursos hídricos e energéticos, bem como os padrões de consumo em

âmbito domiciliar da cidade, contribuiria com a região do ponto de vista científico e estimularia novas pesquisas na área. Além disso esta pesquisa também contribuiria positivamente com a seleção e disponibilidade de dados, os quais são de fundamental importância para a implementação dos ODS, tendo em vista que é através deles que se torna possível o monitoramento do progresso no cumprimento da Agenda 2030.

Como defende Crispim et al. (2016), é importante que a problemática ambiental da região não seja encarada de forma simplista e reducionista, como algo naturalmente aceitável. Estes pesquisadores defendem que as discussões devem ser baseadas

nas formas de elaboração de políticas públicas e sociais no semiárido, que trate a escassez hídrica também como um processo social, onde se deve pensar, primordialmente, em novas formas de políticas de redimensionamento dos recursos hídricos, trabalhando na perspectiva da melhoria socioeconômica da população no que condiz com a convivência com o semiárido. (CRISPIM et al., 2016, p. 57)

Dessa forma, a presente pesquisa pretende, além de trazer discussões acerca do avanço da cidade de Petrolina (PE) no cumprimento das metas da Agenda 2030, dos padrões de consumo no setor residencial e da gestão dos recursos hídricos e energéticos da cidade, contribuir com a discussão acerca de condutas sustentáveis no espaço urbano e da importância da adoção de melhores hábitos de consumo no âmbito residencial.

O enfrentamento dos problemas atuais e previstos podem minimizar a vulnerabilidade climática da região, beneficiando o meio ambiente e aumentando a resiliência regional aos futuros infortúnios climatológicos. Isto evidencia a importância da atualização dos dados e da existência contínua de pesquisas na área.

A necessidade de se estudar o panorama da cidade, bem como o padrão de consumo residencial situa-se, também, na atual crise econômica brasileira, intensificada pela pandemia da Covid 19, que assola o país desde 2020 (UNITED NATIONS, 2022). Em uma realidade de elevada inflação, altos preços de alimentos e energia, desemprego e crise hídrica que influencia diretamente na geração de energia elétrica brasileira, é imprescindível que haja estudos que apontem os pontos mais estratégicos de mudança para reduzir a criticidade da situação, considerando o curto e o longo prazo.

Assim, estudar questões relativas à sustentabilidade ambiental, eficiência energética, uso racional da água neste recorte regional poderia estimular a adoção de medidas economizadoras e auxiliar na mitigação dos efeitos negativos ocasionados no meio ambiente e

na saúde pública, a exemplo da emissão de poluentes (proveniente da geração de energia não renovável), da retirada de água dos corpos hídricos e do teor de esgoto lançado nos mananciais, podendo contribuir com o desenvolvimento do conceito de sustentabilidade no semiárido nordestino.

1.2 Objetivos

Diante do exposto, os objetivos desta pesquisa são apresentados a seguir.

1.2.1 Objetivo Geral

Estudar a atual situação de Petrolina (PE) frente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e à Agenda 2030 da ONU nos quesitos água e energia na escala urbana e do edifício (setor residencial).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Discutir acerca das particularidades climáticas do Submédio do São Francisco e suas relações com o consumo de água e energia em Petrolina (PE);
- Investigar padrão de consumo de água e energia de família de classe média residente no Nordeste e submetida a clima semiárido (estudo de caso);
- Discutir acerca da otimização do consumo de água e energia de residência unifamiliar em operação e não projetada para atender a nenhuma certificação ambiental;
- Investigar a contribuição que o uso dos indicadores dos sistemas de certificação Processo AQUA-HQE, Casa Azul + CAIXA e GBC Brasil Casa pode trazer ao consumo de água e energia de residência em operação;

1.3 Estrutura da dissertação

O **Capítulo 1** deste trabalho, a Introdução, se voltou à contextualização do tema estudado, envolvendo assuntos acerca da sustentabilidade ambiental, da Agenda 2030, dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), da gestão dos recursos naturais, das crises hídricas, do Rio São Francisco, da oferta e demanda de energia elétrica no país, da setorização do consumo hídrico e energético e do percentual demandado pelo setor urbano e residencial. Através deste capítulo, foi possível definir a problemática, a justificativa e relevância da pesquisa, a contribuição a ser trazida ao campo disciplinar e, por fim, os objetivos almejados.

No **Capítulo 2** é apresentada a revisão de literatura, que envolveu a sustentabilidade em escala global, local e do edifício. Tratou-se no capítulo acerca dos assuntos relacionados aos objetivos de Desenvolvimento Sustentável e à Agenda 2030 (da ONU), bem como ao Programa Cidades Sustentáveis (PCS) e aos sistemas de certificação ambiental. Propôs-se discorrer acerca relevância regional e representatividade da cidade de Petrolina (PE), a fim de garantir o embasamento necessário para traçar o panorama da cidade frente aos ODS e à agenda de sustentabilidade urbana. O capítulo também discorre acerca dos métodos de auditoria energética e de água e das possibilidades de otimização do uso destes dois recursos no setor residencial. A intenção deste capítulo foi dar subsídio à realização e compreensão do estudo e metodologia a ser empregada na pesquisa.

O **Capítulo 3** do trabalho voltou-se à caracterização da metodologia a ser empregada no estudo. Esta parte do trabalho dividiu-se na escala urbana e na escala do edifício. A primeira detalha como se deu a investigação da cidade de Petrolina (PE) frente à Agenda 2030 e aos ODS, enquanto a segunda traz a descrição de estudo de caso e detalha a investigação do padrão de consumo de água e energia da residência, bem como o estudo da otimização dos consumos através da orientação dos sistemas de certificação.

O **Capítulo 4**, expôs os resultados alcançados e as discussões levantadas para a escala urbana e do edifício da cidade de Petrolina (PE). Na escala urbana, foram discorridos temas acerca da gestão dos recursos hídricos e energéticos e do avanço da cidade no alcance das ODS. Na escala do edifício, os resultados do estudo de caso foram expostos e discussões acerca do padrão de consumo da família, das respectivas possibilidades de melhoria e da flexibilidade dos sistemas de certificação para situações como a de estudo de caso foram levantadas.

O **Capítulo 5**, por fim, traz a conclusão do trabalho, onde é discutida de forma resumida o alcance dos objetivos da pesquisa. Discorre-se, assim, sobre as relações entre as diretrizes da sustentabilidade ambiental, os avanços e os entraves da cidade quanto ao desenvolvimento sustentável, a gestão dos recursos hídricos e energéticos da cidade, a oferta e demanda desses recursos em relação ao consumidor final (residencial), o uso desse recurso e as possibilidades de melhoria.

2 REVISÃO DE LITERATURA

No presente capítulo é apresentada a revisão de literatura que serviu de fundamento para a realização da pesquisa. Neste capítulo são detalhados os sistemas de certificação ambiental voltados para edificações semelhantes ao objeto estudado nesta pesquisa, bem como seu contexto local. No capítulo, são detalhados também os métodos de investigação de consumo de água e energia no setor residencial e seus respectivos potenciais de economia.

2.1 Sustentabilidade em escala global e local

O desenvolvimento sustentável tem sido orientado, numa escala global, pela Agenda 2030, criada em 2015, com 17 objetivos e 169 metas em áreas importantes para a humanidade e para o planeta, a serem cumpridas até 2030 (UNITED NATIONS, 2015). Dentre os objetivos traçados pela Agenda 2030, estão os números 6 e 7, referentes à água e à energia, respectivamente. O primeiro deles, “garantir a disponibilidade e sustentabilidade da gestão da água e saneamento para todos”, tem como algumas de suas metas o alcance, até 2030, da universalidade e acesso equitativo e seguro à água potável, ao saneamento e à higiene para todos. O objetivo busca a melhoria da eficiência no uso da água em todos os setores e a redução substancial do número de pessoas que sofrem com a escassez de água, almejando a sustentabilidade nas retiradas e no fornecimento de água doce para a população. Intenciona-se, também, até 2030, implementar a integração da gestão de recursos hídricos em todos os níveis por meio, inclusive, da cooperação transfronteiriça e da participação das comunidades locais. O Objetivo 7, “garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos”, por sua vez, tem como algumas de suas metas o aumento substancial da participação das energias renováveis no mix global de energia, a melhoria da eficiência energética e a expansão da infraestrutura e atualização da tecnologia para fornecimento moderno e sustentável de serviços de energia para todos. Em resumo, esses objetivos envolvem a busca pelo acesso universal e equitativo à água e à energia para todos, redução substancial do número de pessoas que sofrem com suas faltas, uso de tecnologias de reúso de água, participação de energias renováveis na matriz energética global e melhoria da eficiência desses recursos (UNITED NATIONS, 2018).

Segundo a ONU (2022), é necessário que seja acelerado o ritmo do progresso para que as metas de sustentabilidade globais sejam atingidas. No que se refere à busca pela eficiência energética, embora o consumo total de energias renováveis tenha aumentado em um quarto

entre 2010 e 2019, neste último ano, a quota mundial de energias renováveis no consumo final total de energia ainda era apenas 17,7%. Além disso, as metas de água potável, saneamento e higiene pedem um aumento no ritmo de progresso quatro vezes maior para que sejam cumpridas até 2030. Observou-se que, em 2019, mais de 733 milhões de pessoas estavam vivendo em países com níveis críticos de estresse hídrico. Se as taxas atuais forem seguidas, em 2030 faltará saneamento seguro para 2,8 bilhões de pessoas, água potável para 1,6 bilhões e instalações que permitam higiene para 1,6 bilhões de pessoas. A água é fundamental para muitos outros aspectos da sustentabilidade e está sob ameaça. A demanda por água está aumentando devido ao rápido crescimento populacional, à urbanização e à crescente pressão da agricultura, da indústria e do setor de energia. O estresse hídrico global tem sido intensificado pela constante contaminação de água doce, por gestões deficientes e por décadas de uso indevido. Isso, por sua vez, afeta a saúde do ser humano, as atividades econômicas e os suprimentos de alimentos e de energia para a população. Uma ação urgente é necessária para mudar o cenário atual. São necessários esforços adicionais para aumentar o investimento em água e saneamento e para aprofundar a cooperação entre os países (UNITED NATIONS, 2022).

Além dos aspectos levantados, é importante pontuar também que a atual crise global enfrentada pelo mundo coloca constantemente em risco as aspirações estabelecidas na Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. O cenário da pandemia COVID-19, a guerra na Ucrânia, as crises humanitárias e todo o contexto de emergência climática repercutem negativamente no alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Atualmente, milhões de pessoas vivem em extrema pobreza e sofrem com o aumento da fome em comparação com os níveis pré-pandêmicos. A pandemia enfraqueceu avanços já alcançados. Os preços ascendentes de *commodities*², energia e frete aumentaram, por exemplo, o custo de produção e transporte de módulos solares fotovoltaicos, turbinas e biocombustíveis em todo o mundo, adicionando incertezas no alcance de objetivos que já se encontram muito abaixo do ambicionado (UNITED NATIONS, 2022).

Diante das necessidades de melhoria no ritmo de progresso da sustentabilidade, vê-se a necessidade de se incorporar as metas globalmente traçada naquelas realizadas localmente. O Programa Cidades Sustentáveis (PCS), por exemplo, oferece ferramentas para a implementação da Agenda 2030 em nível local e municipalização dos ODS; metodologia para levantamento de

² “Entende-se por *commodities* produtos intensivos em recursos naturais em estado bruto (primários) ou com pequeno grau de industrialização” (NAKAHODO; JANK, 2006, apud VERÍSSIMO; XAVIER, 2014, p.274).

dados e elaboração do diagnóstico municipal e metodologia para elaboração do Plano de Metas municipal. O programa funciona como uma agenda de sustentabilidade urbana alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e estruturada em 12 eixos temáticos (envolvendo dimensões social, ambiental, econômica, política e cultural). O PCS, assim, orienta a gestão pública e o planejamento urbano, atuando na sensibilização e mobilização de governos locais e sendo de essencial importância para a regionalização das ODS. A associação entre os objetivos previstos na Agenda 2030 e os eixos e indicadores do PCS, permite, assim, que haja diálogo entre o plano de natureza global e as políticas e ações locais (PCS, 2022a).

Dentre os assuntos tratados nos indicadores do PCS (2022a) estão: acesso permanente e sustentável à água potável; oferta/demanda do abastecimento urbano de água; perda de água tratada; planos de médio e longo prazos para recursos hídricos; rede de esgoto; área verde na zona urbana; implementação da Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P); Indicadores atualizados produzidos pela gestão; edifícios novos e reformados com certificação de sustentabilidade ambiental; fomento à eficiência energética local; acesso a serviço de coleta de lixo doméstico; coleta seletiva; consumo de água per capita; consumo de eletricidade per capita; economia por distribuição eficiente de energia; domicílios com acesso à energia elétrica; participação de fontes renováveis na matriz energética do município; políticas de estímulo ao consumo e geração de energias renováveis; total de emissões de CO_2 equivalente per capita.

A compreensão dos indicadores é essencial para o correto monitoramento da gestão pública. A orientação por meio do uso de indicadores faz parte da etapa 1 do ciclo do PCS, referente à produção e difusão do conhecimento, esta etapa também inclui metodologias, ferramentas e guias para a orientação da sustentabilidade em escala municipal. A etapa 2 envolve os diagnósticos locais e o plano de metas, enquanto a etapa 3 envolve a mobilização da sociedade civil e criação de espaços institucionais de participação. A etapa 4 relaciona-se com o incentivo à construção de políticas públicas enquanto a última etapa do ciclo (etapa 5), é formada pela avaliação e reconhecimento do progresso das cidades. Esta etapa permite que sejam levantados o índice de desenvolvimento sustentável das cidades (IDSC-BR), o relatório local voluntário (balanço do progresso das cidades no cumprimento da Agenda 2030) e os indicadores de referência temáticos. O IDSC-BR é um índice construído para monitorar os ODS nas cidades e visa estimular a evolução dos 5.570 municípios brasileiros nos objetivos e metas da Agenda 2030 (PCS, 2022b).

Segundo classificação do PCS (2022b), nenhuma cidade brasileira atingiu nível muito alto de desenvolvimento (com pontuação entre 80 e 100), estando a maior parte delas (56%) no nível baixo de desenvolvimento (entre 40 e 49,99 pontos). As cidades com nível médio de desenvolvimento (50 a 59,99 pontos) representam 28% das 5.570 cidades brasileira, enquanto as de nível muito baixo (0 a 39,99 pontos) e alto (60 a 79,99 pontos) representam 14% e 2%, respectivamente. A pontuação média das cidades brasileiras é, assim, 46,9 pontos, um valor ainda muito abaixo do desejável. Observou-se que as cidades com maiores pontuações se encontram concentradas no estado de São Paulo (Figura 8), enquanto as de menores pontuações concentram-se na região Norte do país.

Figura 8 - Pontuação geral das cidades brasileiras quanto ao nível de desenvolvimento



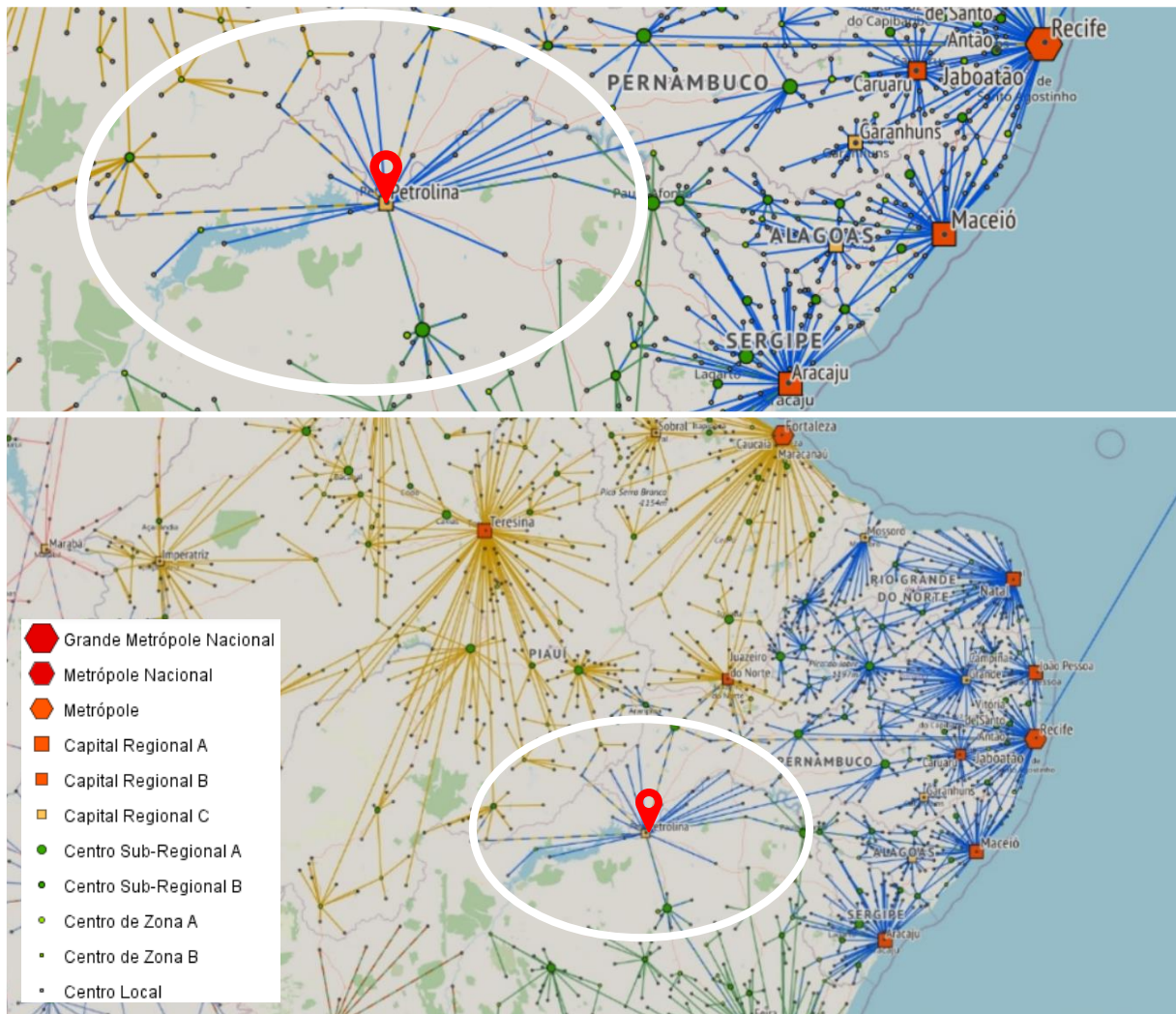
(Fonte: PCS, 2022b)

A cidade de Petrolina (PE), 77ª maior cidade brasileira (em termos da população calculada pelo IBGE, 2020b, segundo GO Associados, 2022a), apresenta um nível de desenvolvimento médio, com 52,6 pontos, um valor pouco acima do que é observado na região do Nordeste (42,21 pontos), de Pernambuco (42,74 pontos) e da Caatinga (42,86 pontos) – estas três de nível baixo de desenvolvimento. Esta diferença de aproximadamente 10 pontos entre Petrolina (PE) e o contexto em que está inserida evidencia o destaque da cidade na região, o qual pode ser melhor compreendido conhecendo-se a forma como a cidade se articula com os

outros centros, a sua relevância, a hierarquia e as regiões que exerce e sofre influência (IDSC, 2022).

De acordo com a pesquisa REGIC (Regiões de Influências das Cidades) de 2018, os vínculos estabelecidos entre os centros urbanos e suas hierarquias definem as respectivas regiões de influência. As atividades de gestão pública e empresarial dos territórios impactam no território como um todo e contribuem decisivamente para a criação dos centros hierárquicos nas redes urbanas. Dessa forma, tanto os polos de gestão pública, através das suas tomadas de decisões, quanto as empresas multilocalizadas são elementos estruturantes da rede urbana, influenciando nas definições de centralidade (nó) e de relação (ligação) das cidades, definindo suas respectivas capacidades de articulação, orientando os fluxos (dinheiro, informações, ordens, bens, serviços), incorporando hierarquia entre os agentes e definindo os destinos principais para busca de bens e serviços. Dessa forma, as ligações de gestão são integradas às ligações de proximidade, encadeamento da rede de Cidades e estabelecimento das regiões de influência (IBGE, 2020b). As regiões de influência da cidade de Petrolina (PE), dessa forma, estão expostas na Figura 9, onde é possível observar a hierarquia de alguns centros urbanos e as regiões de influência a eles associados. A Região de Influência da cidade possui um raio que chega a 640km e atinge 24 municípios (destinos finais da rede).

Figura 9 - Região de Influência de Petrolina PE



Nota: cidades que sofrem influência de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA): Sento Sé (BA), Remanso (BA), Pilão Arcado (BA), Campo Alegre de Lourdes (BA), Sobradinho (BA), Casa Nova (PE), Senhor do Bomfim (BA), Uauá (BA), Macururé (BA), Paulo Afonso (BA), Recife (PE), Chorrochó (BA), Belém do São Francisco (PE), Abaré (BA), Cabrobó (PE), Orocó (PE), Santa Maria da Boa Vista (PE), Lagoa Grande (PE), Ouricuri (PE), Santa Filomena (PE), Dormentes (PE), Afrânio (PE), Queimada Nova (PE), Paulistana (PE).

(Fonte: IBGE, 2020b – Adaptado – Destaque em Petrolina PE)

É possível entender a forma como um município se articula com os demais através da Divisão Urbano-Regional, a qual identifica a articulação das cidades segundo três escalas distintas: Ampliada, Intermediária e Imediata. Segundo o IBGE (2021), o Brasil é formado por 5.570 Municípios, divididos em 17 Regiões Ampliadas de Articulação Urbana que se subdividem em 140 Regiões Intermediárias. Tais regiões intermediárias são divididas em 379 Regiões Imediatas. Além desses três níveis de articulação urbana, há também os subnúcleos (539 Municípios que funcionam de modo complementar aos Núcleos de suas Regiões Imediatas). De acordo com a pesquisa REGIC (IBGE, 2020b), os centros urbanos são divididos

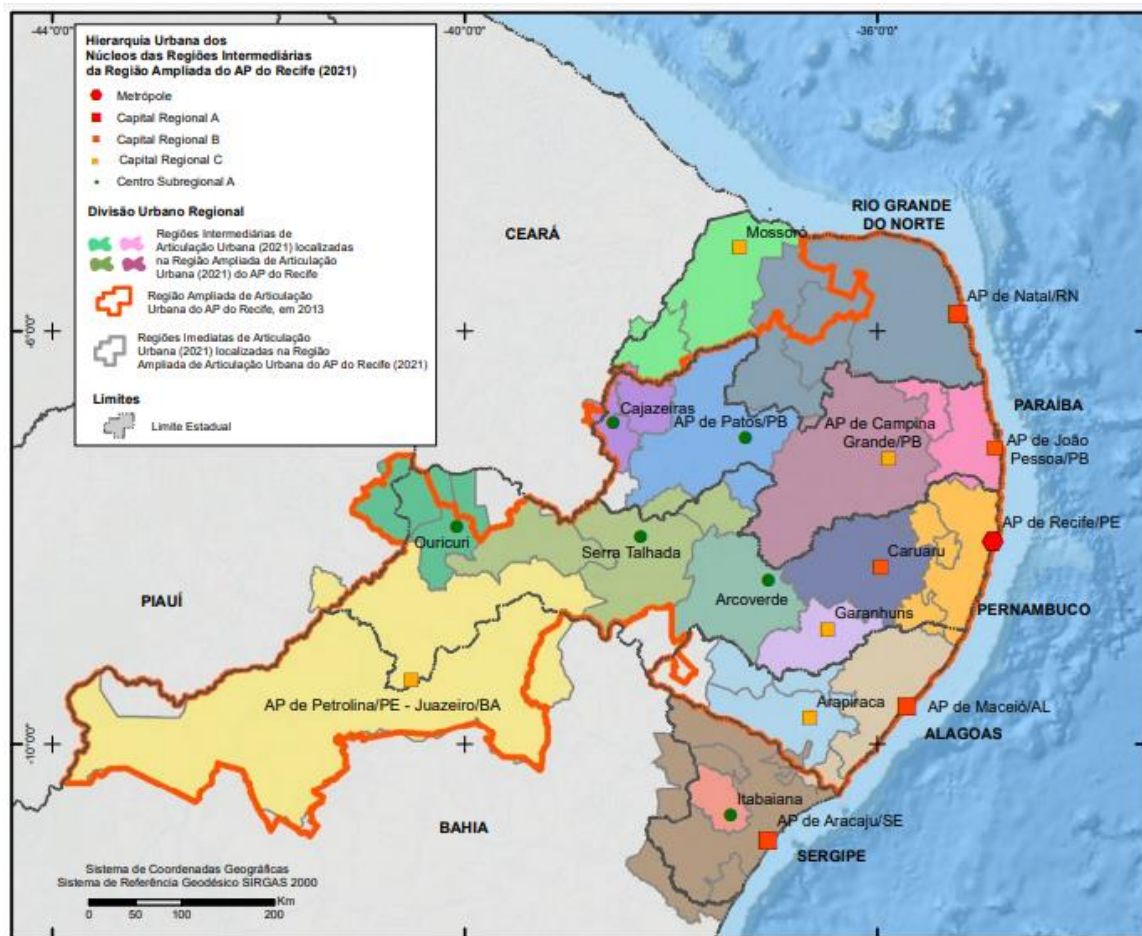
em cinco grupos, de acordo com o nível de hierarquia: Centro Local; Centro de Zona; Centro Sub-Regional; Capital Regional; Metrópole (ordem crescente).

As Regiões Intermediárias de Articulação Urbana podem possuir centros urbanos nos níveis de Capital regional A, B, C ou Centro sub-regional A e formam regiões com centralidades medianas no conjunto da classificação. O Arranjo Populacional (AP)³ formado pela cidade de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA) faz parte de uma das 140 Regiões Intermediárias de Articulação Urbana do Brasil, possui nível de Capital Regional C e é subordinado à Metrópole pernambucana (Recife-PE). Isto pode ser observado na Figura 10, onde é possível perceber também a considerável centralidade da Região Ampliada do AP do Recife (PE), a qual engloba vastas porções do território nordestino (IBGE, 2021).

As relações existentes entre as cidades, suas respectivas hierarquias e regiões de influência interferem diretamente no alcance da sustentabilidade urbana. Uma parte importante no nível de desenvolvimento de uma cidade e no cumprimento das metas da Agenda 30 é o setor da Construção Civil, uma vez que ele tem papel fundamental na economia do país e gera considerável impacto ambiental através da extração de recursos naturais e da alta geração de resíduos (KITA, 2018). Dessa forma, o uso de indicadores para orientação e classificação do setor das edificações quanto ao nível de sustentabilidade mostra-se de crucial importância para a obtenção desta. Neste quesito, orientações globais como àquelas dos ODS são referências confiáveis que, ainda que dialoguem diretamente com políticas e ações locais, pedem regionalização. Dessa forma, certificações ambientais adaptadas às necessidades locais são criadas por países interessados em melhorar o desempenho ambiental das suas edificações, baseado no que se julga mais relevante (AMARAL, 2013). Tais sistemas de certificação podem contribuir com as metas da Agenda 30, considerando fases de projeto, construção e operação de edificações, ajudando a mitigar os impactos ambientais e a promover o desenvolvimento econômico e social do setor.

³ “Unidades territoriais compostas por mais de um Município, que apresentam integração significativa em razão da contiguidade das áreas urbanizadas ou da presença de deslocamentos frequentes dos habitantes para trabalhar ou estudar.” (IBGE, 2020, p.5)

Figura 10 - - Região Ampliada do AP do Recife/PE - 2013/2021



(Fonte: IBGE, 2021)

Segundo Kita (2018), 16 das 169 metas da Agenda 30 são influenciadas positivamente pelas certificações ambientais LEED, GBC Brasil, AQUA-HQE e Casa Azul + CAIXA. Dentre as 16 metas listadas estão aquelas relacionadas à saúde e bem-estar, à educação de qualidade, à gestão sustentável da água, à eficiência energética, ao trabalho decente, ao fomento de inovação, às cidades sustentáveis, ao consumo e produção sustentáveis, às mudanças climáticas e aos ecossistemas terrestres. Infelizmente, quando comparado ao crescente número de construções surgentes, o número de edificações certificadas ainda é muito pequeno, entretanto as certificações, ainda que não utilizadas como forma de classificação de um empreendimento, podem contribuir positivamente na orientação de padrões mais sustentáveis de projeto, construção e operação, podendo ser incorporada mesmo naquelas edificações que não buscam a obtenção do selo. Dessa forma, os sistemas de certificações ambientais podem contribuir substancialmente com a sustentabilidade das cidades e suas edificações, uma vez que orientam o desenvolvimento sustentável no setor da construção civil (KITA, 2018).

2.1.1 Certificações ambientais

É importante que haja um entendimento claro do conceito de desenvolvimento sustentável e suas relações com o ambiente construído. As certificações ambientais direcionadas à construção civil são uma ferramenta de auxílio no melhoramento das práticas construtivas e operacionais das edificações. Através delas é possível classificar os empreendimentos de acordo com critérios de sustentabilidade, funcionando como um instrumento de incentivo para implantação de práticas ambientalmente saudáveis nas edificações e promovendo a conscientização de todos os envolvidos no processo (CASAGRANDE, 2019).

O processo de certificação de uma edificação acontece mediante a concessão de pareceres e respectiva avaliação da adequação aos parâmetros e pré-requisitos definidos nos sistemas de avaliação. Se a edificação atender aos critérios estabelecidos, considera-se que ela promove a otimização dos recursos naturais e energéticos aplicados na sua construção e operação. Os selos indicam, assim, o uso de recursos de sustentabilidade nas edificações (SARAMAGO; LOPES, 2019).

Sabendo que a Agenda 2030 é construída numa escala universal que envolve diferentes cenários, é importante que sejam conhecidas orientações mais regionalizadas, que levem em consideração a especificidade de cada caso e da realidade local. Dessa forma, os sistemas de certificação que possuem maior proximidade com a realidade brasileira e com o objeto que se pretende estudar foram selecionados para fim de estudo e comparação. De acordo com Buoro et al. (2015), dentre os sistemas de certificação mais utilizados no Brasil estão o sistema BREAM Homes, o AQUA-HQE, o LEED, o PBE Edifica e o Selo Casa Azul + Caixa.

O selo BREAM (*Building Research Stablishment Environmental Assessment Method*) foi criado no Reino Unido e adaptado de acordo com as normas e regulamentos brasileiros, tornando-se BREAM Brasil. A certificação é voltada para empreendimentos imobiliários e divide-se em 10 critérios de análise, são eles: Energia, Gestão, Bem-estar e Saúde, Transportes, Eficiência no consumo de água, Materiais, Resíduos, Poluição, Uso da terra e Ecologia (BUORO, et al, 2015).

No que se refere às certificações brasileiras, o PBE Edifica (Programa Brasileiro de Etiquetagem de Eficiência Energética em Edificações) é uma etiquetagem do Inmetro,

coordenado pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e tem foco principal na eficiência energética das edificações (LAMBERTS et al., 2015). É importante pontuar, entretanto, que a PBE Edifica está passando por um processo de revisão. Por uma ação conjunta do Procel Edifica com o CB3E (Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações), o RTQ-R (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais) será substituído pelo INI-R (Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais), a fim de trazer melhorias ao atual método de avaliação da eficiência energética de edificações residenciais. A intenção da nova atualização é compatibilizar a INI-R com o método de avaliação do desempenho térmico da NBR 15575-2021; melhorar o indicador de desempenho e permitir a quantificação da economia conseguida através do emprego da eficiência energética nas edificações; e incluir a avaliação de residências de energia quase zero e de energia positiva (PBE Edifica, 2021).

O sistema LEED, por sua vez, foi originado nos Estados Unidos, pode ser aplicado em qualquer tipo de construção e se destina a qualquer das fases (construção, uso e manutenção). Esta certificação é formada por quatro níveis: Certificado (40 a 49 pontos), Prata (50 a 59 pontos), Ouro (60 a 79 pontos) e Platina (acima de 80 pontos). Segundo o *Green Building Council* (2019), dentre as tipologias utilizadas no Brasil, tem-se a LEED O+M, voltada para a avaliação da operação e manutenção de edificações como escolas, hospitais e armazéns e seus respectivos espaços internos, há pelo menos um ano ocupados. Além desse sistema, existe também certificações derivadas da LEED, cuja criação foi baseada em normas brasileiras: GBC Brasil Casa®, GBC Brasil condomínio® e a GBC Brasil LIFE. Considerou-se que seria relevante comentar neste trabalho acerca do GBC Brasil Casa®, uma certificação voltada para residências unifamiliares, e do GBC Brasil LIFE, voltada para interiores residenciais.

A GBC Brasil LIFE® fornece ferramentas para o alcance de alto desempenho em projeto, construção e operação de ambientes internos residenciais. A certificação é realizada por meio de créditos classificados em 6 categorias: Saúde e Bem-estar; Conforto; Qualidade Interna do Ar; Responsabilidade Social, Consumo Consciente e Altruísmo; Materiais; e Uso Eficiente dos Recursos Naturais. Este último é dividido em 4 créditos: Uso Eficiente de Água.; Medição Individualizada; Uso Eficiente da Iluminação Artificial; e Equipamentos Eletrodomésticos Eficientes. Percebeu-se nessa certificação uma semelhança muito grande com os critérios encontrados na Certificação GBC Brasil Casa® (detalhada no tópico 2.1.3), porém um número bem menor deles (GBC BRASIL, 2021).

Outras três tipologias da certificação LEED relevantes de serem pontuadas é a LEED *Homes*, voltada para casas e edifícios residenciais até 6 andares, a LEED *Zero Energy* e a LEED *Zero Water Certification*. Segundo o guia do LEED *Zero* (2018), a certificação LEED *Zero Energy* é voltada para os projetos que apresentaram saldo zero no balanço energético do ano anterior à análise, considerando a energia consumida e energia gerada. A LEED *Zero Water Certification*, de forma semelhante, certifica os projetos que tenham demonstrado saldo zero no balanço hídrico do último ano, considerando consumo de água potável, consumo de água alternativa e quantidade de água devolvida à fonte de origem (através do tratamento de efluentes e descarte em local adequado). Considera-se, nesta certificação, que o edifício não dependerá de concessionárias de saneamento, uma vez que captará internamente toda a água que consumirá e tratará 100% de seus resíduos (seria feito uso, assim, de poço artesiano, água da chuva, água de condensação gerada nos sistemas de ar-condicionado, águas cinzas e negras tratadas para reuso, por exemplo).

Apesar dos sistemas de certificação terem inegável importância na orientação da sustentabilidade nas edificações, algumas vezes eles são usados apenas como um simples instrumento de mercado. Por este motivo, Kiperstock (2021) defende que é importante que seja feita uma investigação crítica em relação à honestidade dos indicadores e pede que a sustentabilidade não seja banalizada. Esta banalização, segundo o pesquisador, é característica das corporações que estão mais preocupadas com a própria rentabilidade e sucesso de mercado do que com a mudança dos seus padrões de produção e consumo. Dessa forma, é necessário que a criticidade acompanhe todo o processo de implementação de certificações, a fim de que o objetivo não seja perdido de vista. Ter indicadores é fundamental para enfrentar o desafio da sustentabilidade, pois permitem que atividades que geram degradação sejam medidas e orientam o sentido das ações que devem ser tomadas para reverter a situação.

Dentre as metodologias de certificação ambiental, existe também aquelas construídas por pesquisadores em diversas regiões de estudo, como é o caso do estudo realizado por Lima (2018), que teve sua metodologia testada em Garanhuns (PE), cidade submetida ao clima semiárido. Esta pesquisa se deu a partir de uma investigação bibliográfica e aplicação de questionários, e resultou na criação de uma nova certificação voltada a conjuntos habitacionais. Além das questões ambientais tratadas nas certificações estudadas, a autora também avaliou critérios relacionados a princípios bioclimáticos. Segundo a autora, a certificação que melhor atendeu aos requisitos de sustentabilidade ambiental foi o selo Casa Azul + CAIXA, estando a certificação AQUA-HQE entre as demais que se destacaram de forma secundária. A

metodologia criada pela autora possui 4 objetos de análise, são eles: Entorno Urbano; Conjunto Habitacional; Habitação e Moradores/Empregados.

Quanto às certificações do processo AQUA-HQE, do Selo Casa Azul + Caixa e do GBC Brasil Casa®, considerando o fato de serem, optou-se por fazer uma melhor aproximação dos seus respectivos indicadores dos quesitos água e energia, a fim de se ter uma melhor orientação do que se espera de uma habitação com consumo racional desses recursos.

2.1.1.1 Selo Casa Azul + Caixa

Para o detalhamento da certificação neste subtópico, foi feito uso do Guia Selo Casa Azul + Caixa, publicado pelo CAIXA (2022).

Esse sistema de certificação foi criado em 2009 e desde então tem passado por atualizações, estando na fase 4 desde abril de 2022. O Selo é aplicável a qualquer projeto habitacional nas linhas de financiamento da CAIXA e busca incentivar as construções sustentáveis e a redução de custos e despesas referentes ao uso e à manutenção dos edifícios. O empreendimento certificado por esse sistema pode ser classificado segundo 4 níveis: Cristal (50 pontos e 16 critérios obrigatórios), Topázio (60 pontos e 17 critérios obrigatórios), Safira (80 pontos e 17 critérios obrigatório) e Diamante (100 pontos, identificador #mais e 24 critérios obrigatórios).

O Selo Casa Azul + Caixa possui 51 critérios de avaliação distribuídos em 6 categorias (Qualidade Urbana e Bem-Estar; Eficiência Energética e Conforto Ambiental; Gestão Eficiente da Água; Produção Sustentável; Desenvolvimento Social; e Inovação). Dentre os subitens usados para pontuação da categoria “Eficiência Energética e Conforto Ambiental”, estão:

1. Dispositivos economizadores de energia
2. Sistema de aquecimento solar (SAS)
3. Geração de energia renovável

Dentro desses itens, a certificação atribui pontuação ao empreendimento que fizer uso de dispositivos economizadores (sensores de presença e minuterias), lâmpadas e equipamentos eficientes (3 pontos para o atendimento dos 3 critérios e 2 pontos para o atendimento dos 2 primeiros). Vale ressaltar que as lâmpadas e os equipamentos eficientes devem ter Selo Procel ou Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) com Nível de Eficiência A do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE INMETRO).

Para a obtenção de pontuação quanto à presença de aquecimento solar, exige-se que esse sistema seja dotado de coletores com Selo Procel ou Etiqueta com Nível de Eficiência A ou B do PBE (INMETRO); possua fração solar entre 60% e 80% e um sistema de aquecimento auxiliar com reservatório dotado de resistência elétrica, termostato, timer ou chuveiro elétrico ou aquecedor a gás. Pontua-se os empreendimentos que possuem SAS para atendimento das áreas comuns (2 pontos), para atendimento de 100% das unidades habitacionais (3 pontos), ou ambos (4 pontos).

No que se refere à geração de energia renovável, o indicador consiste em verificar painéis fotovoltaicos, captador de energia eólica, dentre outros. A pontuação vai de 3 a 5 pontos, sendo a maior pontuação conferida aos casos que houver geração de energia para áreas comuns e privativas com economia de energia de, no mínimo, 25% da energia total consumida.

Dentre os subitens usados para pontuação da categoria “Gestão Eficiente da água”, estão:

1. Dispositivos economizadores de água
2. Reuso de águas cinzas
3. Aproveitamento de águas pluviais

O primeiro critério consiste no emprego, em toda a unidade habitacional, de bacia sanitária com descarga de duplo acionamento, torneiras com arejadores (para casos de pressão hidráulica superior a 100 kPa) e registro regulador de vazão no chuveiro e torneiras (dispensável para casos de pressão hidráulica inferior a 40 kPa). Quando esses requisitos forem atendidos, atribui-se pontuação 3 à habitação. Quanto ao sistema de reuso de água cinzas e o de aproveitamento de água da chuva, exige-se que os sistemas incluam captação, tratamento e reservação. A pontuação do sistema de reuso varia de 2 a 5, enquanto a pontuação do sistema de água pluvial varia de 2 a 4 (a depender se sistema abrange as áreas comuns ou/e as unidades habitacionais).

2.1.1.2 Processo AQUA-HQE

Para o detalhamento da certificação neste subtópico, foi feito uso do Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios Residenciais em Construção, desenvolvido pela Fundação Vanzolini no âmbito de um convênio de cooperação entre a Fundação Vanzolini e Cerway (2021).

A certificação AQUA-HQE™ foi desenvolvida a partir de uma certificação francesa chamada *Démarche* HQE™. A adaptação considerou a cultura, o clima, as normas técnicas e as regulamentações brasileiras e foi desenvolvida pela Fundação Vanzolini em parceria com a Escola Politécnica da USP.

A certificação se divide em dois ciclos: ciclo construção (edificações novas) e ciclo operação (edificações existentes). Observou-se que os documentos de referência do ciclo operação dessa certificação disponíveis no site da fundação não eram voltados especificamente para edificações residenciais. Encontrou-se referencial de avaliação apenas para caso de residências em construção, havendo documentação sobre ciclo operação apenas para condomínios residenciais (voltado mais para áreas comuns, e não para as particularidades internas à residência).

Quanto às exigências relativas à Qualidade Ambiental dos Edifícios Residenciais em construção, a certificação se divide em 4 temas (Meio Ambiente, Energias e Economias, Conforto, Saúde e Segurança), subdivididos em 14 categorias. Nas categorias referentes à Energia e à Água (categoria 4 e 5, respectivamente, do tema Energia e Economia.), encontra-se uma série de exigências (8 para energia e 5 para água).

Cada tema é avaliado em uma escala de 1 a 5 estrelas. Para a definição do número de estrelas, há a classificação de cada categoria por três níveis: BASE (B), BOAS PRÁTICAS (BP) e MELHORES PRÁTICAS (MP). Para o nível B, o edifício deve atender às exigências de todos os níveis BASE da categoria (pré-requisitos obrigatórios). Para o nível BP e MP é necessário obter certa percentagem a mais, especificada por cada categoria. O nível global do certificado é obtido através da soma das estrelas obtidas em todos os temas (que vai depender dos níveis atingidos – valor tabelado). Há cinco classificações possíveis: HQE PASS (4 estrelas e atendimento a todos do base); HQE GOOD (5 a 8 estrelas); HQE VERY GOOD (9 a 12 estrelas); HQE EXCELLENT (13 a 15 estrelas); HQE EXCEPTIONAL (16 ou mais estrelas, sendo pelo menos 4 estrelas no tema energia).

Quanto às exigências referentes à energia, é pedido, como quesito obrigatório, que seja estimado o consumo de energia do edifício, referente a, pelo menos, aquecimento, resfriamento, iluminação, água quente e sistemas auxiliares. A edificação pode ser pontuada de 1 a 6 a

depender do quanto seu consumo for menor que a edificação de referência⁴ (em valores percentuais). Outro critério de pontuação da certificação é a existência de instalação de energias renováveis e a utilização de equipamentos para resfriamento, aquecimento, ventilação e exaustão de ambientes eficientes. São pontuados em 1 ou 2 para a utilização de equipamentos Nível B ou A da ENCE, respectivamente. O uso de energia térmica solar e painéis fotovoltaicos também é pontuado pela certificação, sendo obrigatória a análise de viabilidade técnica e econômica do uso deste recurso e a justificativa da pertinência da modalidade escolhida.

Além dos quesitos listados, outro critério avaliado é o nível de eficiência do sistema de água quente instalado, tendo como pré-requisito o atendimento ao regulamento estabelecido pela RTQ-R, com pontuação variando de 1 a 6 conforme o nível de eficiência. A certificação estabelece também níveis mínimos de eficiência para a iluminação artificial (ex.: lâmpadas LED com eficiência entre 30 e 50 lm/W para quesito obrigatório ou eficiência maior que 75lm/W para pontuação 2) e para bombas centrífugas, segundo classificação da ENCE (tabelas do PBE).

Quanto às exigências referentes à água, a certificação especifica que a pressão dinâmica não seja superior 300kPa (quesito obrigatório) e que haja nas instalações sanitárias caixas de descargas com duplo acionamento, devendo esta ter capacidade não superior a 6L. Além disso, a certificação pontua as edificações que fizerem uso de componentes economizadores de água. Como requisito obrigatório é pedido também que sejam informados os consumos anuais de água potável e não potável (caso exista) e seus respectivos pontos de uso.

A indicação de redução de consumo em relação a unidade habitacional de referência também é quesito obrigatório (podendo ser pontuada de 2 a 6, a depender do nível de redução), bem como a produção de água quente. Além disso, o aproveitamento de água da chuva e o reuso de águas servidas entram como critérios a serem pontuados (3 pontos cada), devendo esta ser instalada com o devido sistema de tratamento e utilizada de forma apropriada.

⁴ A edificação de referência seria um modelo construído através de simulação termo-energética realizada conforme metodologia e diretrizes da ABNT NBR 15575-1:2021 ou conforme Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R) do PBE Edifica.

2.1.1.3 GBC Brasil Casa®

Para o detalhamento da certificação neste subtópico, foi feito uso do Guia Rápido da certificação GBC Brasil Casa®, desenvolvido pelos Comitês Técnicos do GBC Brasil (2017).

A Certificação GBC Brasil Casa fomenta práticas sustentáveis no setor residencial na fase projeto, construção e operação. A certificação divide sua classificação em 8 categorias: Implantação (IMP), Energia e Atmosfera (EA), Uso Eficiente da Água (UEA), Materiais e Recursos (MR), Qualidade Ambiental Interna (QAI), Requisitos Sociais (RS), Inovação e Projeto (IP) e Créditos Regionais (CR).

Para que o projeto seja elegível para certificação, ele deve atender a uma série de pré-requisitos. À parte desses critérios obrigatórios, a certificação lista os créditos cuja combinação definirá o nível da certificação conseguido. A cada crédito está associado um número específico de pontos e sua soma permite classificar a certificação nos seguintes níveis: Verde (40 a 49 pontos); Prata (50 a 59 pontos); Ouro (60 a 79 pontos) e Platina (80 a 110 pontos).

A categoria referente à água é composta por 7 critérios, dentre eles, estão:

1. Uso eficiente da água;
2. Uso de fontes alternativas não potáveis;
3. Sistema de irrigação eficiente;

Como requisito obrigatório, pede-se que se faça uso de produtos hidrossanitários eficientes; que as bacias sanitárias tenham mecanismo de descargas seletiva e que as torneiras e os chuveiros não tenham vazão maior que 0,15 L/s e 0,20 L/s, respectivamente. A pontuação ocorre em situações em que as vazões apresentarem valores menores que esse: 0,10 L/s para torneiras (1 ponto), e 0,13 L/s (1 ponto) ou 0,10 L/s (2 pontos) para chuveiros. Outro critério trazido pela certificação é a utilização de fontes alternativas não potáveis para a abastecimento das bacias sanitárias das residências (1 ponto) ou para irrigação e manutenção geral (2 pontos).

No caso do sistema de irrigação eficiente, são listadas 4 situações. A primeira é voltada para sistemas de irrigação que possuam coeficiente de uniformidade de distribuição de água maior ou igual 0,75, qualquer que seja o sistema. A segunda situação é voltada para sistemas automatizados de irrigação com dispositivos capazes de suspender a irrigação em dias chuvosos. A terceira situação se refere à utilização de válvula de retenção em aspersores instalados nos pontos mais baixos da área a ser irrigada. E a quarta situação se refere à ocorrência de programações de rega durante períodos diários menos propícios à evaporação da

água. Pontua-se com 1 ponto os projetos que atenderem a no mínimo 2 dessas situações, ou 3 pontos os que atenderem a todas.

A categoria referente à energia é composta por 13 critérios, dentre eles, estão:

1. Fontes de Aquecimento de Água Eficientes
2. Iluminação Artificial -Básica e Otimizada
3. Fontes Eficientes de Aquecimento Solar
4. Equipamentos Eletrodomésticos Eficientes
5. Energia Renovável

Como requisito obrigatório, pede-se que na residência existam fontes de aquecimento de água eficientes que garantam a redução do consumo energético na residência. Outro requisito também obrigatório da certificação é ter instalado, em pelo menos 50% dos pontos de luz da residência, lâmpadas que possuam o selo PROCEL (INMETRO) ou eficiência superior a 75 lm/W.

A utilização de fontes de aquecimento solar para água é um dos critérios que podem contribuir com a classificação da residência: 1 ponto para situações onde 40% da água quente é proveniente de fonte térmica solar, ou 2 pontos para o caso desse valor ser 70%. A otimização da iluminação artificial também entra como critério de pontuação, que ocorre quando 80% da iluminação interna for formada por lâmpadas que possuam o selo PROCEL (INMETRO) ou eficiência superior a 75 lm/W (1 ponto); ou quando 100% das luzes externas tiverem sensor de presença ou possuírem fotocélulas instaladas.

Um outro crédito relevante desta certificação é referente ao uso de equipamentos eletrodomésticos eficientes, sendo pontuadas as residências que possuírem pelo menos 80% dos equipamentos da residência com nível A da etiqueta Procel ou com o selo CONPET (para fogões e fornos a gás). Ocorre pontuação também nos casos em que houver sistema de geração de energia renovável no local ou fora do terreno, com a pontuação variando de 1 a 4 a depender da porcentagem de geração, podendo ser considerada de desempenho exemplar se esse percentual for maior que 90% quando a energia for produzida no terreno ou 100% quando for produzida fora.

De acordo com Azevedo (2008), para a implantação de indicadores de uso dos recursos naturais (água, energia e gás), é necessário que seja possível realizar monitoramentos de consumo individual destes, a fim de definir o modo de uso e viabilizar o uso racional de água,

a manipulação dos resíduos gerados e o emprego de fontes alternativas de energia. Para isso, foram estudados métodos de observação e caracterização de consumo, listados nos tópicos a seguir.

2.2 Sustentabilidade na escala do edifício

Sabendo da responsabilidade que tem a construção civil na escassez de recursos, nos impactos do aquecimento global, nas mudanças no uso da terra e na perda da biodiversidade, bem como suas implicações socioeconômicas diretas e indiretas, é intuitivo que a sustentabilidade também seja estudada na escala do edifício (JANJUA; SARKER; BISWAS, 2019). O alcance de um espaço urbano sustentável passa, dessa forma, pelo melhoramento da eficiência do ambiente edificado. Este é, assim, um trabalho coletivo, que envolve desde planejamento urbano maiores até o consumidor final, em seu domicílio (GOULART, 2007).

2.2.1 Água

De acordo com Ghisi et. al. (2015), a caracterização dos usos finais dos recursos é o que viabiliza o desenvolvimento de estratégias eficientes para reduzir o consumo. Tendo isso em vista, os tópicos a seguir dissertam sobre as auditorias de água e de energia que permitem essa caracterização.

2.2.1.1 Auditoria de água

De acordo com Alcantara et. al (2021), o processo de auditoria de água envolve a investigação qualitativa e quantitativa dos fluxos de água em um determinado contexto. A avaliação quantitativa compreende a medição do volume de água consumida em diferentes tipos de usos, enquanto a qualitativa relaciona-se à investigação das características físicas, químicas e biológicas. Essas auditorias permitem identificar ineficiências no sistema analisado, gerar indicadores de desempenho, prever a demanda de uso, dimensionar sistemas e auxiliar na adoção de estratégias de conservação de água, sendo de primordial importância para a gestão sustentável deste recurso. Quando observado o uso de água em edificações, a auditoria

é capaz de caracterizar os usos finais de água, gerando informações de consumo, frequência, tempo de uso, vazão de equipamentos hidrossanitários, hábitos de uso de água e rotinas de manutenção predial, padrão de consumo predial, vazamentos e ineficiências do sistema hidráulico (ALCANTARA et al., 2021, p. 143).

Um dos primeiros trabalhos voltados à caracterização de usos finais da água em edificações foi realizado por Thackray, Cocker e Archibald (1978), numa investigação do consumo doméstico em famílias residentes de Malvern e Mansfield. O método utilizado envolveu leituras diárias de hidrômetros, anotação dos moradores de cada consumo e ensaios

dos equipamentos domésticos, com posterior cruzamento dos dados. Em pontos de consumo em que a medição não era possível ser feita de forma direta, utilizou-se análise de regressão para estimar os volumes consumidos.

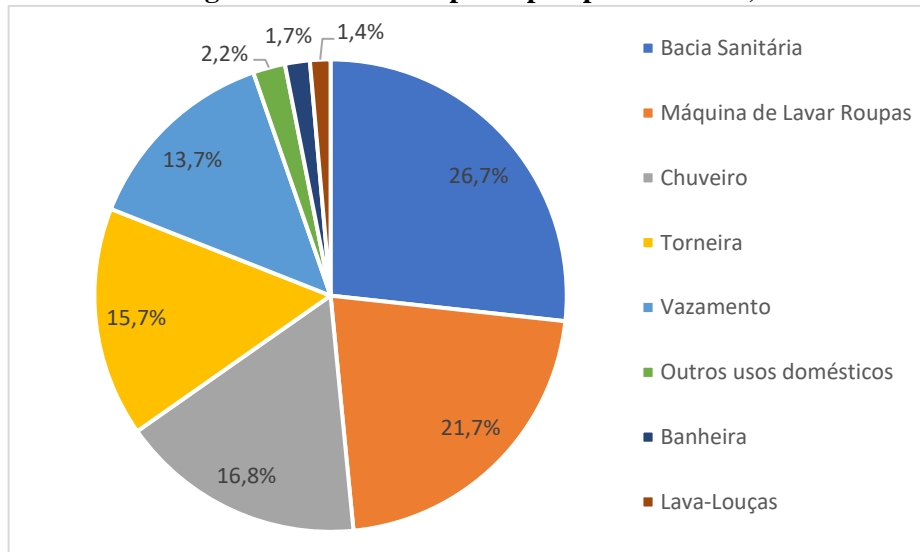
Outro trabalho com tema semelhante foi o realizado por DeOreo, Heaney e Mayer (1996). Nesta pesquisa, o monitoramento de consumo residencial de água ocorreu através da instalação de um hidrômetro associado a um *data logger*. A técnica utilizada foi não intrusiva, com determinação de perfil de consumo através da análise de traço, onde é possível reconhecer, num gráfico contínuo de vazões, os aparelhos sanitários responsáveis por cada demanda de água. De acordo com Barreto (2008), o *data logger* acoplado ao hidrômetro registra os pulsos de volume em intervalos regulares de tempo, a partir disso define-se o consumo de cada aparelho sanitário, reconhecido através do seu perfil característico de vazão.

Dentre as pesquisas precursoras brasileiras, pode-se citar a realizada por Rocha e Barreto (1999). Os autores investigaram o perfil de consumo doméstico de água de um conjunto habitacional de São Paulo, através da observação dos pontos de utilização (descarga, chuveiro, lavatório, pia, tanque, lavadora de roupas), fazendo-se uso de transdutores de vazão nos pontos de utilização. A técnica de medição utilizada foi intrusiva (medição direta, com introdução de um equipamento nas instalações), teve como objetivo o teste da metodologia desenvolvida para futura replicação e obteve resultados promissores (foi possível determinar, de forma direta, o perfil de consumo da habitação estudada).

Uma outra investigação de usos finais da água em ambientes residenciais unifamiliares foi detalhada em relatório publicado pela *AWWA Research Foundation* (AWWARF, 1999). Esta pesquisa, realizada na América do Norte, buscou fornecer dados específicos sobre os usos finais da água em ambientes residenciais em todo o continente, identificar variações na água demandada em cada aparelho de acordo com diversos fatores e desenvolver modelos para prever a demanda residencial de água. Assim, no intuito de melhorar a compreensão do uso residencial da água, foi realizada uma tabulação de dados levantados em doze localidades, criando uma amostra estatisticamente representativa para cada um deles. Esta pesquisa contou com o apoio de concessionárias de serviços públicos e fornecedores de água nos Estados Unidos e Canadá e as coletas de dados incluíram: registros históricos de faturamento de contas residenciais unifamiliares; detalhamento de informações a nível domiciliar requeridas a cada uma das famílias; quatro semanas de coleta de dados em 1.188 domicílios (em períodos de verão e de inverno); investigação de dados climáticos e informações específicas para cada

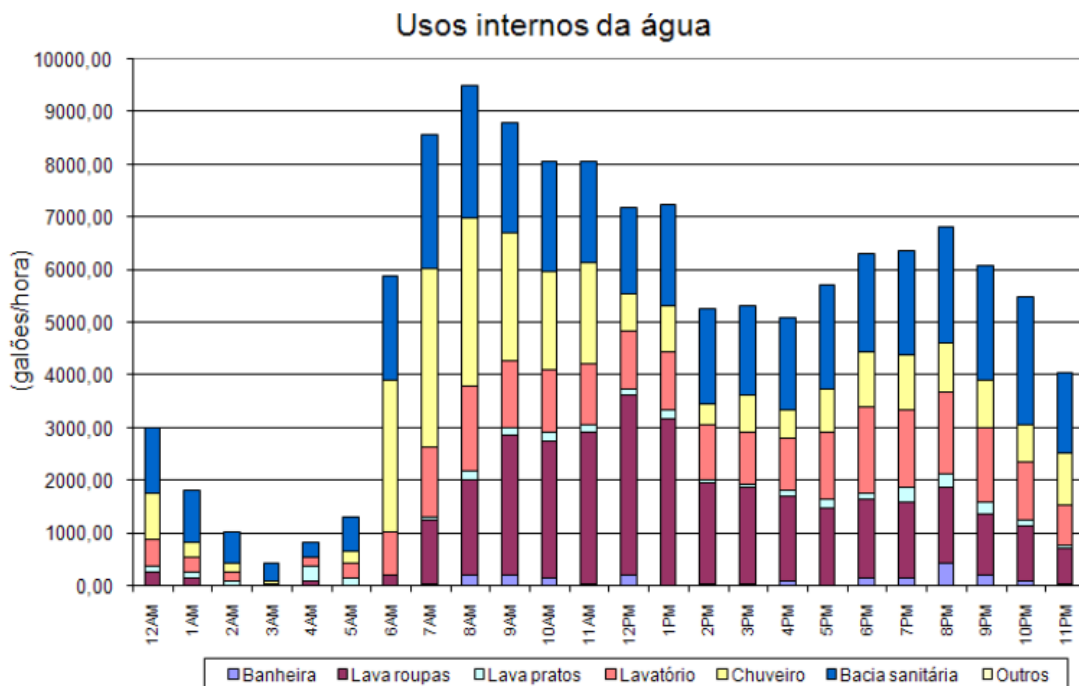
concessionária participante. Neste estudo, o consumo de água foi registrado através de *data loggers* em conjunto com o *software Flow Trace Analysis®*, um programa de computador capaz de reconhecer os eventos individuais de uso de água através da desagregação do perfil de consumo. Os gráficos das Figuras 11 e 12 representam parte dos resultados encontrados nesta pesquisa, podendo-se perceber que o estudo conseguiu definir os pontos de maior consumo de água, os volumes demandados em cada um deles e seus respectivos horários.

Figura 11 - Porcentagem de uso interno per capita por acessório, 12 locais de estudo



(Fonte: AWWARF, 1999, Adaptado - traduzido)

Figura 12 - Perfil do consumo e usos finais da água (volumes acumulados), 12 locais de estudo



(Fonte: DeOreo, Lander e Mayer, 1999, apud Barreto, 2008)

Outras três pesquisas realizadas nos Estados Unidos foram detalhadas em relatório publicado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2005). O assunto tratado neste relatório é semelhante ao citado anteriormente: investigação do padrão de uso de água e o estudo da contribuição trazida pelas melhores práticas tecnológicas disponíveis na conservação de água em residências unifamiliares. A pesquisa envolveu um procedimento sistemático de amostragem aleatória com 1.000 contas unifamiliares, além de informações demográficas e opiniões dos usuários. O monitoramento de consumo unifamiliar ocorreu em 37 residências em Seattle, 33 em East Bay (EBMUD) e 26 em Tampa, durante o período de 2000 a 2003. Foi determinado em cada amostra de residências o uso de água a partir de um monitoramento de duas semanas, realizado por meio de *data loggers* acoplados a hidrômetros. Em seguida, cada casa foi reformada com chuveiros, torneiras e lavadoras de roupas de alta eficiência, com posterior rastreamento de fluxo com a mesma duração da observação anterior. Para essas análises foram considerados quatro tipos de equipamentos: vasos sanitários, lavadoras de roupas, arejadores de torneiras e chuveiros. Através da comparação entre os custos totais e incrementais dos novos dispositivos instalados e a economia de água e energia conseguida, a pesquisa calculou um período de retorno igual a 5,8 anos e uma redução de 39% no consumo doméstico médio diário para os três grupos através da adoção de tais medidas.

Observou-se que, no decorrer dos anos, o método de investigação de consumo que faz uso de *data loggers* associados a hidrômetros seguiu sendo muito utilizado em pesquisas com objetivos semelhantes, incluindo as brasileiras. A exemplo destas têm-se a pesquisa realizada por Botelho (2015), que avaliou o consumo de água total e setorial de residências localizadas em Salvador-BA. O estudo dividiu-se em três períodos: (1) avaliação do consumo de água com o mínimo de interferência na rotina dos moradores; (2) avaliação do consumo racional de água por parte dos moradores; (3) avaliação do consumo de água após a substituição de alguns aparelhos. A pesquisa demonstrou que os pontos de consumo que podem ter maior contribuição na redução do consumo, devido à sua representatividade na demanda total de água, são a bacia sanitária, os chuveiros e os tanques da área de serviço.

Dentre as pesquisas que envolvem medição direta em cada ponto de utilização, pode-se citar a realizada por Barreto e Medeiros (2008), que determinou a vazão típica e a frequência de uso dos aparelhos sanitários a partir de sete dias de monitoramento em sete residências localizadas na cidade de São Paulo. O estudo envolveu a instalação dos equipamentos de monitoração nos pontos de uso, a aplicação de questionário de caracterização; a análise da consistência dos dados coletados; e a elaboração dos histogramas. Outra pesquisa que teve

metodologia semelhante foi a realizada por Cohim et. al (2009), que caracterizou o consumo em residências de condomínio popular localizado na cidade de Simões Filho (BA). O monitoramento consistiu na instalação de hidrômetros em cada ponto de consumo e contou com a participação dos moradores no levantamento de dados.

Entre as pesquisas mais recentes acerca do uso racional da água, pode-se citar a realizada por Bertuzzi e Ghisi (2021), que tinha como objetivo avaliar o potencial de economia de água potável devido ao uso da água da chuva em uma fábrica de concreto pré-moldado no sul do Brasil. Para realizar as análises, os pesquisadores coletaram dados de precipitação diária (obtidos pelo INMET e disponível no BDMEP⁵) e determinaram a demanda de água na fábrica separadas em duas categorias: a que requer água potável e a que não necessita de potabilidade (podendo ser substituída por água da chuva). Foi determinado também as áreas do telhado onde a água da chuva seria coletada e seus coeficientes de escoamento. Através da estimativa de consumo mensal da fábrica, foi possível definir a demanda de água da chuva. A pesquisa contou com simulação computacional realizada através do programa de computador Netuno®, que contribuiu com a estimativa da capacidade ideal do tanque de água da chuva, do potencial de economia de água potável e da análise de viabilidade econômica para os cenários simulados (considerando período de retorno de investimento). Para análise financeira de cada cenário (realizada também através do *software*), foram estimados a quantidade e os diâmetros necessários para calhas; tubulação; conexões de tubos; tanque de água da chuva; e outros acessórios como válvula solenoide e interruptor de boia, entre outros.

Uma outra pesquisa recente, realizada por Rosa e Ghisi (2021), que estudou a possibilidade de aproveitamento da água da chuva na mesma localidade foi realizada em uma residência unifamiliar. Esta pesquisa, entretanto, avaliou o sistema combinando de águas pluviais e cinzas, o qual demonstrou potencial significativo de economia de água potável na edificação. Assim, com o objetivo de avaliar a instalação de um sistema que combina água da chuva para lavar roupas e água cinza para descarga de vasos sanitários, foi realizada comparação da conta mensal de água e esgoto, antes e depois da instalação do sistema. Esta comparação foi realizada tomando como base a conta mensal de água/esgoto fornecida pelos proprietários da casa e o monitoramento do consumo realizado. O desenvolvimento da pesquisa também contou com auxílio do *Software* Netuno® para a determinação da capacidade do tanque para armazenamento da água da chuva. A partir dos levantamentos, os pesquisadores apuraram

⁵ Banco de Dados Meteorológicos de Ensino e Pesquisa

a redução do consumo de água potável da residência e realizaram análise financeira considerando os benefícios financeiros, os custos operacionais, os custos de instalação do sistema e as tarifas locais de água (ROSA; GHISI, 2021).

Os métodos de auditoria de água apresentados neste tópico servirão de embasamento para a escolha da abordagem metodológica desta pesquisa, considerando a particularidade do objeto estudado e as possibilidades de análise.

2.2.1.2 Economia de água

Para que seja possível otimizar o consumo de água no setor residencial, é importante que seja compreendido como funciona o uso eficiente desses recursos, quais as formas de aplicá-lo e o impacto positivo trazido por sua aplicação.

Há uma série de medidas economizadoras de água que podem ser tomadas a fim de possibilitar o uso racional desse recurso em edificações residenciais, são elas: aproveitamento de água da chuva, reuso de águas residuárias, uso de equipamentos economizadores de água (ex.: reguladores de vazão, arejadores, redutores de pressão e descargas com duplo acionamento) e medição individualizada (CAIXA, 2022).

A Resolução do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos (CNRH) nº 54/2005, baseada nas diretrizes empregadas pela Organização das Nações Unidas (ONU), defende o uso de águas de qualidade inferiores em situações que não haja exigência da utilização de águas de maiores graus de pureza. A Resolução enfatiza que esta medida regula a oferta e demanda dos recursos hídricos, além de ser vantajosa frente ao estresse hídrico, aos altos custos de tratamento de água e ao elevado grau de descarga de poluentes em corpos receptores.

Os aspectos apontados pela CNRH também são citados por Balassiano (2018) ao defender que há desperdício de água quando ela é mandada de volta ao ambiente em forma de esgoto após ser consumida, enquanto poderia ser tratada e reaproveitada no local. Vale ressaltar que a atitude de misturar águas de baixa carga poluidora (oriundas de tanques, chuveiros, lavatórios e máquinas de lavar roupa) com esgoto primário (proveniente de dejetos humanos), além de elevar o teor de esgoto lançado nos mananciais, obriga as estações de tratamento a trabalharem de forma intensiva com um volume muito maior, repercutindo no consumo energético e gerando demais dispêndios associados.

Segundo Vianna (2013), no setor residencial, entende-se por águas cinzas aquelas provenientes do esgoto secundário e águas negras do primário. O esgoto secundário é aquele que não possui dejetos humanos em sua composição, podendo ser dividido em águas cinzas claras - livre de gorduras - e águas cinzas escuras – proveniente de pias de cozinha, por exemplo. Dessa forma, o reúso de água geralmente proposto em residências é o que se utiliza de águas cinzas claras (oriundas de tanques, chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar roupa), explicada pela inexistência de gorduras de trabalhosa remoção, o que possibilita seu uso em descargas de vasos sanitários, lavagens de pisos, automóveis e irrigação, após tratamento simples. De acordo com o autor, a maior parte do consumo de água em residências concentra-se no chuveiro e nas bacias sanitárias, demandando mais da metade da água total consumida na habitação.

Em um estudo realizado em residência de 3 habitantes no Reino Unido, Liu et al. (2010) demonstrou um potencial de reúso em bacias sanitárias em 60% se os efluentes provenientes de lavadoras de roupas, lavatórios, chuveiros e banheiras forem reservados por 48h após tratamento em *wetland*⁶. A pesquisa concluiu que poderia ser conseguido uma economia de água potável de 16,8% da demanda total com a adoção dessa estratégia.

Segundo Santana et al. (2017), a instalação de um sistema de tratamento de águas cinzas domiciliares pode contribuir com uma redução de 27% no consumo final de água. Em conformidade a tal dado, Ribeiro (2015) demonstrou que o aproveitamento de água pluvial e águas cinzas em habitação da cidade de Florianópolis (SC) pode apresentar um potencial médio de economia de água potável de 41,9%, com redução de 40% no teor de esgoto. É aconselhável que estas águas sejam usadas para fins que não exijam potabilidade, sendo suficiente, nesses casos, um tratamento simples de retirada de detritos.

De acordo com a NBR 10.844 (1989), para realizar a captação de água da chuva, é importante conhecer área de contribuição (soma das áreas superficiais que recolhe a água da chuva e a direciona para determinado ponto da instalação), as séries históricas das precipitações da região de estudo e o coeficiente de aproveitamento superficial da cobertura (relação entre volume de chuva disponível e volume que pode ser aproveitado, considerando as perdas dos milímetros iniciais, a absorção e a evapotranspiração que ocorre com a água ao entrar em

⁶ O sistema de Wetland é uma ecotecnologia que faz uso de plantas aquáticas e microrganismos para recuperar a qualidade da água, conseguida através da assimilação e conversão de matéria orgânica e nutrientes. Este sistema apresenta pequeno custo de implantação, operação e manutenção, aliado à baixa demanda energética e à aceitação de diferentes valores de vazões de entrada (MATHEUS et. al., 2018).

contato com o substrato). O aproveitamento da água da chuva, dessa forma, é proveniente de um sistema formado por telhados/coberturas, calhas, tubulações, reservatório e rede de distribuição (ZARDINI, 2014).

A simulação do sistema de captação de água da chuva pode ser realizada através do programa computacional Netuno®, disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética da UFSC. Este software, a partir de dados como precipitação local, área de captação e demanda total de água, gera resultados que permitem avaliar a instalação do sistema na edificação. É possível, a partir do *software*, obter o potencial de economia de água potável da residência (através da substituição por água pluvial); o consumo diário de água da chuva; a porcentagem de dias em um ano em que a demanda de água da chuva é totalmente atendida, parcialmente atendida e não atendida; e a capacidade ideal do reservatório, bem como o volume de água extravasado. Além de gerar esses resultados, o programa também permite que seja realizada a análise econômica do sistema (GHISI e CORDOVA, 2014).

Pesquisa realizada por Rosa e Ghisi (2021), em residência localizada na cidade de Florianópolis (SC), indicou que a instalação do sistema de aproveitamento de água da chuva na edificação provocou uma redução de 38,0% no consumo mensal de água potável (que representou 7,00 m³ no consumo final). É importante ressaltar que esse percentual de economia conseguido tem influência direta do índice pluviométrico da cidade, não podendo ser usado como parâmetro para cidades de climas diferentes.

Em situações de precipitação média anual igual a 800 mm, como ocorre na cidade de Petrolina/PE (SHAW 2018), é levantado o questionamento da viabilidade da instalação do sistema de aproveitamento no local, em âmbito domiciliar. Acredita-se que, apesar do balanço hídrico negativo e da irregularidade das chuvas na região, a aplicabilidade do sistema poderia se justificar devido à concentração das chuvas em um mesmo período do ano ⁷(BRITO et. al., 2007).

Além da instalação de sistemas a serem instalados na habitação, existe também as alternativas mais simples, conseguidas através da mudança de hábitos, como: reduzir tempo de banho, usar máquina de lavar roupa na capacidade máxima; lavar carros e jardins com balde (em substituição das mangueiras); reduzir a frequência de lavagem de pisos e calçadas; fechar

⁷ Segundo Lopes et al (2017), os meses de concentração pluviométrica para a região de Petrolina são de novembro até abril.

a torneira ao escovar os dentes, lavar as mãos ao se ensaboar; remover as sujidades das louças antes de lavá-las; entre outras medidas.

2.2.2 Energia

2.2.2.1 Auditoria energética

A auditoria energética permite que seja avaliado o desempenho energético de edifícios através da investigação do consumo energético que ocorre em seu espaço, tornando possível a detecção de problemas operacionais e a otimização do uso de energia. Assim, esse método de investigação é uma ferramenta muito útil para tomada de decisões e auxilia no processo de obtenção de eficiência energética numa edificação (BENAVIDES, 2014).

Dentre os trabalhos precursores que fizeram uso deste método, pode-se citar o realizado por Cavalcanti (2002), que investigou consumo residencial de Campo Grande (MS) através da observação de equipamentos eletrodomésticos, hábitos de consumo, consciência quanto uso racional de energia e consumos finais por categoria e faixa de consumo (de 100kWh a mais de 500kWh). A pesquisa envolveu estudo em 85 residências e buscou diagnosticar o perfil do consumidor residencial através de entrevistas. O estudo contou com o auxílio do censo 2000 do IBGE e com a comprovação dos dados através da comparação com informações fornecidos pela Eletrobrás. A pesquisa demonstrou que as categorias que possuem maior representatividade no consumo energético são a refrigeração, o aquecimento de água e a iluminação, representando 43,35%, 18,41% e 17,98% do consumo final, respectivamente.

Em 2009, uma análise baseada em dados obtidos através de uma pesquisa de amostragem realizada pela PROCEL/Eletrobrás em 5625 residências foi realizada para estimar os usos finais de energia elétrica no setor residencial brasileiros (nas regiões geográficas e Zonas Bioclimáticas). Este estudo, realizado por Fredigo, Gonçalves e Lucas (2009), envolveu a manipulação dos dados de consumo energético dos seguintes equipamentos: refrigerador, freezer, ar condicionado, televisor, iluminação, aparelho de som, micro computador, ferro elétrico, lava roupa, lava louça, secadora de roupa, forno micro-ondas, forno elétrico e torneira elétrica. A estimativa do consumo de energia elétrica mensal e diário por residência foi calculado através da Equação 1:

$$C = P * t \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

C é o consumo do equipamento (kWh);
 P é a potência do equipamento (kW);
 t é o tempo de utilização do equipamento (h).

Em 2019, a Eletrobrás divulgou nova Pesquisa de Posse e Hábitos de Consumo de Energia (PPH). A pesquisa baseou-se em 18.775 entrevistas distribuídas em todo o território nacional, e traçou perfil de posse e hábitos de consumo de equipamentos elétricos, para os setores industrial, comercial e residencial. A pesquisa possui papel fundamental no auxílio das ações do Procel, das pesquisas acadêmicas, bem como dos investimentos e formulação de planos do setor elétrico (PROCEL, 2019).

Dados sobre usos finais de eletricidade e rotinas de consumo também foram levantados por Silva et. al (2013), através de auditoria energética realizada em uma amostra de 60 habitações de interesse social da região de Florianópolis-SC. Para isso, foram aplicados questionários aos moradores (acerca da situação socioeconômica e rotinas de uso dos equipamentos) e realizadas medições do consumo de energia (caracterização dos equipamentos e lâmpadas, determinação do consumo e do tempo de uso). Para as medições, dois equipamentos foram utilizados: PowerBall T8 e CEM 1000. O primeiro mediu o tempo total de uso do equipamento e a eletricidade total consumida no período, enquanto o segundo mediu a potência instantânea, o fator de potência, a tensão e a corrente das lâmpadas. Para a determinação da potência média dos equipamentos eletroeletrônicos e do consumo total diário de eletricidade com cada equipamento, foram utilizadas as Equações 2 e 3, respectivamente.

$$PM = \frac{CE}{T} \quad (\text{Equação 2})$$

$$CEd = \sum_0^{24} PM * t \quad (\text{Equação 3})$$

Onde

PM é a potência média do equipamento i em cada habitação (W)

CE é o consumo de eletricidade do equipamento i em cada habitação (Wh)

CEd é o consumo de eletricidade diário de cada equipamento i em cada habitação (Wh/dia)

T é o tempo total de uso do equipamento i em cada habitação (h)

t é o tempo de uso de fracionado em cada hora do dia, entre 0 e 1 (horas/dia).

Uma pesquisa de auditoria energética realizada por Kumar et al. (2015), na Índia, contou com metodologia um pouco diferente das últimas apresentadas, pois fez uso de simulação

computacional. Na pesquisa, foram inspecionadas 25 casas, 2 indústrias e 2 edifícios comerciais. Foi realizada uma inspeção local que envolveu a caracterização dos equipamentos, seus usos, desempenhos e demandas máximas. Através da manipulação desses dados, foram montados diagramas de linhas únicas através do *software* de simulação ETAP®. Em seguida, foram definidos os pontos de desperdício, as respectivas oportunidades de conservação e as recomendações para otimização do consumo energético.

Outra análise de consumo energético, e consequente estudo de eficiência energética, foi realizada por Leal (2018), na cidade de Maceió. A pesquisa procurou identificar medidas de redução do consumo energético através de análises paramétricas de composição da envoltória de um hotel econômico de pequeno porte. Para isso, inicialmente, foram aplicados questionários e realizadas entrevistas com os usuários do objeto de estudo. Em seguida, foi realizada simulação computacional com *software* EnergyPlus®, a fim de definir quais mudanças realizadas na envoltória da edificação resultariam em maior redução de consumo energético.

Dentre as pesquisas mais recentes acerca de auditoria energética, pode-se citar a realizada por Teixeira (2020), que aplicou o método *Bottom-Up* para estimativa de usos finais de energia elétrica no setor residencial brasileiro. O termo “*Bottom-Up*” significa “de baixo para cima” e investiga o consumo dos usos finais de energia por edificação, para, em seguida, determinar o consumo de energia do setor como um todo (ex.: residencial). O método permite que sejam realizadas estimativas individuais de usos finais de energia elétrica e foi utilizado na pesquisa para se estimar o consumo energético anual de nove equipamentos, são eles: lâmpadas, chuveiros, televisores, condicionadores de ar, refrigeradores, congeladores, ventiladores, micro-ondas e máquinas de lavar roupa. A pesquisa fez uso das informações domiciliares coletadas em 2019 pela Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos (PPH). O tratamento destes dados compreendeu a primeira etapa do método *Bottom-Up*, onde foi determinado o consumo dos equipamentos e os padrões de uso. A segunda, terceira, e quarta etapa foram, respectivamente, a estimativa do consumo dos equipamentos, a projeção da amostra para todos os domicílios estaduais e a comparação entre o consumo estimado e o real (do relatório da PPH realizado entre os anos de 2004 e 2006). Para a determinação do consumo dos condicionadores de ar, foi feito uso de simulações energéticas através do *software* EnergyPlus®, e para a determinação do consumo dos demais equipamentos, foram utilizadas algumas equações de determinação de consumo. Através do estudo, foi possível perceber que os refrigeradores, chuveiros, televisores, lâmpadas e congeladores representaram 70% do

consumo nacional do setor residencial e que a energia demandada por chuveiros, ventiladores e condicionadores de ar têm relação direta com o clima de cada região.

Os levantamentos realizados pelas pesquisas mencionadas neste tópico demonstram como vem sendo feito o monitoramento de consumo energético no país e no exterior, permitindo definir um modelo ideal de auditoria que fundamente o método a ser aplicado neste trabalho.

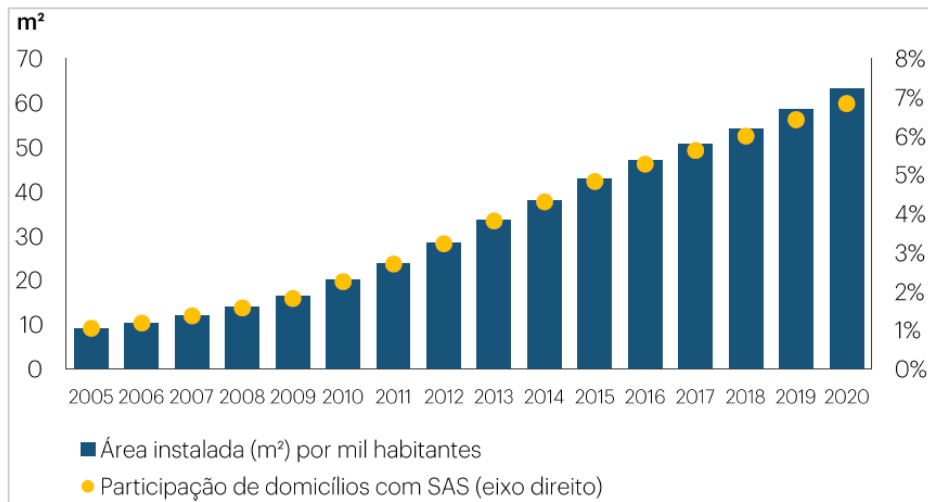
2.2.2.2 Economia de energia

Para que seja possível otimizar o consumo de energia no setor residencial, é importante que seja compreendido como funciona o uso eficiente desses recursos, quais as formas de aplicá-lo e o impacto positivo trazido por sua aplicação.

Dentre as soluções que podem ser adotadas para a redução do consumo energético na habitação estão: a substituição dos equipamentos eletrodomésticos por aqueles mais eficientes energeticamente; a substituição de lâmpadas incandescentes ou fluorescentes por lâmpadas LED; a implementação de sistema de geração de energia através do uso de energias renováveis e a mudança de hábitos (KUMAR et al., 2015).

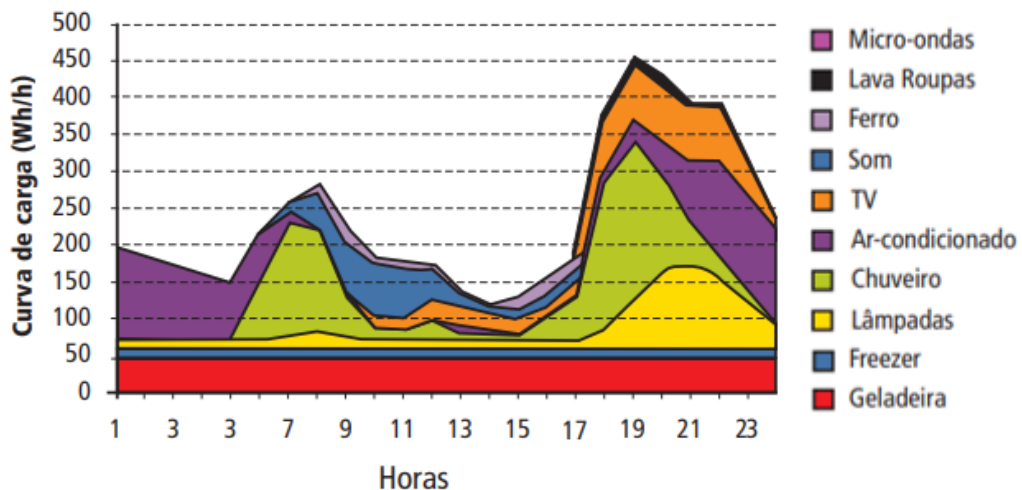
O Brasil possui um grande potencial de geração de eletricidade através do uso da energia solar devido aos seus elevados valores de radiação, distribuída uniformemente em toda a extensão nacional (DANTAS e POMPERMAYER, 2018). Dentre as 5 regiões brasileiras, a região Nordeste é a que apresenta a maior média mensal dos totais diários de irradiação global no plano horizontal (5,49 kWh/m²), enquanto a região Norte apresenta o menor desses valores (4,64 kWh/m²). A perspectiva é que esses valores tendam a aumentar numa taxa de 0,01 kW/m² a 0,02 kW/m² ao ano. Atualmente, o uso de energia solar para aquecimento de água é a aplicação mais difundida no Brasil, explicado pela simplicidade que envolve a tecnologia de conversão de energia solar em energia térmica e pela ampla disponibilidade desse sistema no mercado brasileiro (PEREIRA et al., 2017).

O uso de Sistemas de Aquecimento Solar (SAS) pode contribuir com a economia financeira do consumidor, com a redução do consumo de eletricidade da rede e com a redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Em 2020, a área total acumulada de coletores já era, aproximadamente, 19,2 milhões de m², sendo 70% do âmbito residencial. O uso de SAS neste setor cresceu consideravelmente nos últimos anos, como pode ser observado na Figura 13 (EPE, 2021).

Figura 13 - Penetração de Sistemas de Aquecimento Solar nas Residências Brasileiras

(Fonte: EPE, 2021)

A energia consumida pelos chuveiros para aquecimento de água exerce pressão significativa no consumo final de energia elétrica do setor residencial, como pode ser observado na Figura 14 (LAMBERTS et al., 2010). Dessa forma, a substituição dos equipamentos convencionais de aquecimento de água (como chuveiros elétricos) pelo sistema de aquecimento solar pode contribuir consideravelmente com a redução do consumo energético nas habitações. No Brasil, a incidência do uso de aquecimento solar nos domicílios ainda é tímida, tendo sido observado em apenas 0,96% dos casos estudados na PPH (Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial 2019). Segundo esta pesquisa, 60,23% dos chuveiros brasileiros ainda faz uso de água natural sem aquecimento, enquanto 37,52% faz uso de energia elétrica (ELETROBRÁS, 2019).

Figura 14 - Curva de carga diária média do setor residencial por uso da energia final no Brasil

(Fonte: Lamberts et al., 2010)

No que se refere à geração solar fotovoltaica, o Nordeste também está entre as regiões que apresentam maiores rendimentos médios anuais. A viabilidade da aplicação desses sistemas nas coberturas das edificações é maior quanto maior for a tarifa de eletricidade convencional da distribuidora local e o índice de irradiação anual da região (PEREIRA et al., 2017). O setor residencial se destaca como o segundo setor mais expressivo na geração de eletricidade através do uso de módulos fotovoltaicos, representando 30% da potência total gerada no país por esse sistema (ABSOLAR, 2017).

Os módulos fotovoltaicos devem ser instalados em locais que capturem a maior incidência de radiação solar quanto possível. De acordo com Oliveira (2015), para que a eficiência do sistema seja garantida, é necessário que a latitude e a consequente radiação diária média sejam conhecidas. Isso porque a orientação e inclinação dos módulos fotovoltaicos influenciam no bom rendimento do sistema. A inclinação ótima dos painéis em relação à horizontal será dada pela latitude local, enquanto a orientação ideal da superfície é aquela voltada para o equador (norte geográfico para cidades localizadas no hemisfério sul, como é o caso de Petrolina PE). Entretanto, é importante pontuar que a orientação e inclinação exata não são tão decisivas para eficiência do sistema. Em superfícies livres sem obstruções é possível atingir incidências maiores que 95% da radiação máxima em outras orientações. Outros fatores que também afetam a performance do sistema são o sombreamento parcial, as resistências dos condutores, a temperatura dos painéis e o seu estado de limpeza (RUTHER, 2004).

De acordo com o professor e pesquisador Christoph Reinhart⁸, para a estimativa da possível geração de energia solar fotovoltaica em uma residência, é necessário conhecer a quantidade de radiação que chega em qualquer superfície ao longo do ano (em kWh/m²), o tamanho do painel disponível (em m²) e a sua eficiência. A multiplicação desses fatores indicará a produção de eletricidade. Para a investigação do investimento financeiro do sistema, é necessário conhecer o custo por watt instalado e multiplicar esse valor pela potência total.

Segundo Kumar et al. (2015), existem também aquelas iniciativas mais simples que podem contribuir com a redução do consumo energético residencial sem necessidade de investimento financeiro, a seguir, alguns exemplos:

⁸ Pronunciamento do Professor e pesquisador do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), Christoph Reinhart, acerca da estimativa de geração de energia fotovoltaica em curso online chamado “*Sustainable Building Design*” promovido pelo MIT/Havard, em 2020.

- Desconectar e desligar todo o dispositivo elétrico do aparelho que não está usado para reduzir as perdas sem carga;
- Limpar as luminárias regularmente, pois uma camada pesada de poeira pode bloquear 50% da saída de luz;
- Limpar os ventiladores regularmente, pois a camada pesada de poeira nas lâminas do ventilador reduz a eficiência do motor e a saída;
- Descongelar a geladeira regularmente e não a deixar aberta;
- Utilizar a máquina de lavar com carga total;
- Limpar o duto do condicionador de ar e filtrar regularmente para reduzir o consumo de energia e aumentar o resfriamento;
- Usar os aparelhos de alto consumo em horários que não sejam de pico

O tempo de utilização dos equipamentos e suas potências refletem diretamente no dispêndio energético da residência. Dessa forma, a fim de se reduzir o consumo de energia elétrica, é importante que seja avaliada a eficiência dos aparelhos utilizados (CEMIG, 2014). Quanto menor a energia necessária para que o equipamento desenvolva um serviço, melhor sua eficiência. Deseja-se, por exemplo, que as lâmpadas tenham uma elevada relação entre fluxo luminoso e potência (lm/W), valor que expressa seu nível de eficiência energética. Quando comparada as lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LED, esta última é a que apresenta melhor desempenho energético.

A compra de equipamentos etiquetados com o Selo Procel (selo que indica os aparelhos que apresentam melhor eficiência energética comparados com outros da mesma categoria), contribui na redução do consumo final de energia elétrica da residência. De acordo com Procel (2018), através da incorporação do Selo no mercado brasileiro, foi possível aumentar o nível de eficiência energética de vários equipamentos e reduzir o consumo energético do país.

Além dos aspectos relacionados à geração de energia elétrica, aos hábitos de consumo e ao uso de equipamentos eficientes, têm-se também as adaptações construtivas que podem contribuir com a redução de consumo, conseguido através do melhoramento do conforto térmico e conseqüente redução da necessidade e do uso de equipamentos para sua obtenção artificial (LAMBERTS, 2016).

Em regiões de clima quente e alta incidência de insolação durante todo o ano, é recomendado que se faça uso do sombreamento, principalmente em áreas envidraçadas e aberturas, a fim de minimizar o incremento de carga térmica na edificação. Além disso, o

revestimento da envoltória da edificação deve ter, preferivelmente, cores claras, a fim de que os raios solares sejam refletidos, reduzindo a entrada de calor no domicílio (PIASSINI et. al, 2016). A NBR15220-3 (2008) recomenda que seja empregado resfriamento evaporativo em regiões de clima semelhante ao de Petrolina. O resfriamento evaporativo é uma estratégia que faz uso da umidade para retirada de calor do ar e pode ser conseguido através da evaporação de água ou evapotranspiração das plantas (COELHO; CRUZ, 2017).

2.3 Síntese da revisão bibliográfica

A partir da revisão de literatura realizada, foi possível construir um embasamento acerca da Agenda 2030 da ONU e os respectivos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, com enfoque nos Objetivos 6 e 7 (dentre os 17), referente à água e à energia, respectivamente. O estudo de ferramentas para a implementação da Agenda 2030 e municipalização dos ODS também foi possibilitado através da discussão acerca do programa Cidades Sustentáveis (PCS), que orienta em uma das etapas do seu ciclo o levantamento do Índice de Desenvolvimento Sustentável (IDSC). Este índice permite a avaliação, reconhecimento e monitoramento do progresso das cidades e estimula a evolução dos 5.570 municípios brasileiros, os quais apresentaram uma média de IDSC igual a 46,9 pontos (nível baixo de desenvolvimento).

Através da revisão de literatura, foi possível fazer um resumo da classificação, relevância e representatividade da cidade de Petrolina (PE). A cidade, 77^a maior do país em termos de população, forma um arranjo populacional com Juazeiro e compõe uma região intermediária de articulação urbana subordinada à metrópole pernambucana e com nível de Capital Regional C.

A partir da compreensão da relevância da cidade de Petrolina, das diretrizes globais de sustentabilidade e das possíveis municipalizações das metas traçadas, foi estudada também a importância das certificações ambientais no auxílio do melhoramento das práticas construtivas e operacionais das edificações, bem como sua função classificatória dos empreendimentos de acordo com critérios de sustentabilidade. Esta ferramenta de incentivo à implantação de práticas ambientalmente saudáveis nas edificações contribui na conscientização de todos os envolvidos no processo, permite que atividades que geram degradação sejam medidas e que ações corretivas sejam orientadas.

A avaliação da sustentabilidade ambiental assegura que haja entendimento claro do conceito de desenvolvimento sustentável e suas relações com o ambiente construído. Há uma

série de certificações ambientais que orientam a adequabilidade de edificações à sustentabilidade. Dentre os sistemas de certificação mais utilizados no Brasil estão o sistema BREAM, o AQUA-HQE, o LEED, o PBE Edifica e o Selo Casa Azul + CAIXA, sendo essas duas últimas certificações brasileiras. Dentre as certificações derivadas do LEED tem-se o GBC Brasil Casa, uma certificação adaptada às normas brasileiras e voltadas para o setor residencial.

Para que os indicadores de uso dos recursos naturais (água, energia e gás) presentes nos sistemas de certificações sejam implementados, é necessário que seja conhecida a demanda desses recursos, a fim de possibilitar o seu uso racional, a manipulação dos resíduos gerados e o emprego de estratégias que aproximem a edificação à sustentabilidade ambiental. Para isso, é importante conhecer os métodos de caracterização do padrão de consumo, detalhados nos tópicos apresentados anteriormente.

O processo de auditoria de água envolve a investigação quantitativa dos fluxos de água em um determinado contexto, representada pela medição do volume de água consumida em diferentes tipos de usos. Essas auditorias permitem identificar ineficiências no sistema analisado, gerar indicadores de desempenho, prever a demanda de uso, dimensionar sistemas e auxiliar na adoção de estratégias de conservação de água, sendo de primordial importância para a gestão sustentável destes recursos. De forma semelhante, a auditoria energética permite que seja avaliado o desempenho energético de edifícios através da investigação do consumo que ocorre em seu espaço, tornando possível a detecção de problemas operacionais e a otimização do uso de energia. A caracterização do consumo é, assim, uma ferramenta muito útil para tomada de decisões e auxilia no processo de obtenção de eficiência hídrica e energética numa edificação.

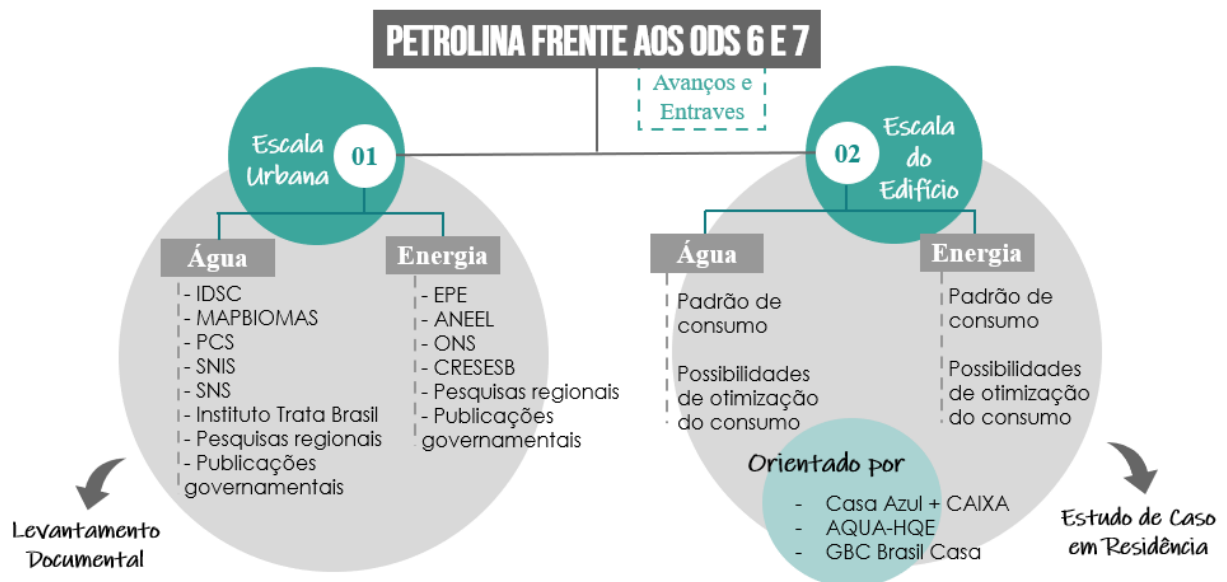
Para que seja possível alcançar a otimização do consumo de água e energia no setor residencial, é importante que seja compreendido o uso eficiente desses recursos, as formas de aplicação e o impacto positivo possível de ser conseguido. Dentre as soluções que podem ser adotadas para a redução do consumo de água e de energia na habitação estão: a substituição dos equipamentos por aqueles mais eficientes, a mudança de hábitos, a implementação de sistema de geração de energia através de células fotovoltaicas, o aquecimento de água utilizando coletores solares, a instalação de sistema de reuso de água e o aproveitamento de água da chuva.

A revisão de literatura realizada permitiu que os aspectos relacionados ao uso racional da água e da energia no setor residencial fossem compreendidos e utilizados como base para o desenvolvimento de toda a pesquisa.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos os procedimentos metodológicos da pesquisa. Nos tópicos que seguem há a definição dos métodos utilizados na investigação do panorama da cidade de Petrolina (PE) quanto ao uso da água e da energia (escala urbana) e da sua posição diante dos desafios da sustentabilidade. O capítulo traz também a caracterização do estudo de caso (escala do edifício), o detalhamento do método de investigação do padrão de consumo de água e de energia da família e as orientações dos sistemas de certificação que nortearam o estudo da otimização do consumo da edificação. A Figura 15 expõe o esquema metodológico que indica as etapas da pesquisa realizada.

Figura 15 - Esquema metodológico da pesquisa



(Fonte: Autora, 2022)

3.1 Investigação do cenário de Petrolina PE frente à Agenda 2030 e aos ODS

Inicialmente, a partir do Índice de Desenvolvimento sustentável (2022), foi definida a evolução da cidade em direção às metas propostas na Agenda 2030 da ONU. Foram conhecidos assim, o nível de desenvolvimento e as respectivas pontuações de cada um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da cidade. Deu-se um enfoque maior aos Objetivos 6 (Água Potável e Saneamento) e 7 (Energias Renováveis e Acessíveis), a fim de se discutir especificamente os assuntos relacionados à gestão de água e de energia da cidade.

A fim de levantar discussões a respeito da correspondência entre o cenário atual da cidade e as diretrizes da sustentabilidade, bem como as perspectivas de alcance das metas traçadas pela

Agenda 2030, buscou-se traçar o panorama da cidade quando a gestão dos recursos água e energia, detalhada nos tópicos a seguir.

3.1.1 Água no espaço urbano

Para compreensão de como tem se dado a gestão da água em Petrolina (PE), realizou-se uma investigação documental. Foram traçadas características gerais e relevantes para o estudo em relação ao clima da cidade e à Bacia do São Francisco. Estudou-se a combinação de precipitação e secas, as perspectivas de mudanças climáticas, o risco de desertificação e os impactos na bacia tomando como referência publicações do MapBiomias e do programa Cidades Sustentáveis (PCS), bem como artigos de revistas.

Foram utilizados também dados do IBGE, séries históricas de abastecimento de água disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Este último foi utilizado para traçar o panorama dos serviços de água e esgoto da cidade e estudar a situação atual do saneamento, a fim de que fosse possível levantar discussão acerca do nível de atendimento das diretrizes da sustentabilidade e dos possíveis impactos ambientais existentes. Assim, fez-se uso também de publicações da GO Associados (rankings de saneamento e perda de água baseado no SNIS), da Secretaria Nacional de Saneamento, do Instituto Trata Brasil (painel de saneamento do município), bem como de artigos de revista e publicações governamentais (estaduais e municipais).

A partir de todos os levantamentos, das comparação entre os indicadores e metas da sustentabilidade urbana (baseado no Programa Cidades Sustentáveis e nas diretrizes da Agenda 2030), foi levantada a discussão proposta acerca da gestão de água da cidade.

3.1.2 Energia no espaço urbano

Da mesma maneira que se pretendeu compreender o panorama quando à gestão hídrica da cidade, realizou-se o estudo da gestão energética. Para isso, foram utilizados dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), do Operador Nacional de Sistema Elétrico (ONS), do Centro de Referência de Energia Solar e Eólica (CRESESB) e de alguns artigos de revistas. Listou-se, dessa forma, as principais fontes energéticas da cidade, as usinas que possivelmente contribuem com a energia requerida pelo município e as condicionantes climáticas que influenciam na sua geração e transmissão. Eventos históricos foram pontuados, como períodos de crise hídrica e suas repercussões no setor energético.

Através de informações do Balanço Energético Nacional, de dados da geração elétrica de usinas próximas à cidade (localizadas em Petrolina -PE, Juazeiro-BA ou Sobradinho-BA) e da energia elétrica requerida pela AP Petrolina/PE – Juazeiro/PE, foi possível entender a relação entre demanda e oferta do recorte estudado. Foram discutidas, assim, aspectos da cidade que apresentaram congruência com os objetivos de desenvolvimento sustentável (a exemplo do uso de energia solar e fotovoltaica), bem como aqueles que se apresentaram divergentes dos ODS.

A investigação documental realizada acerca da cidade permitiu discutir a respeito do nível de sustentabilidade e das respectivas possibilidades de mudança. Tendo conhecimento do que acontece em escala urbana, intencionou-se investigar a escala do edifício, a fim de trazer um exemplo concreto da oferta e demanda de água e energia no âmbito residencial da cidade, bem como discutir a respeito das contribuições que podem ser trazidas por cada consumidor.

3.2 Estudo da escala do Edifício: estudo de caso

Inicialmente, foi procurado um estudo de caso que pudesse ser usado como referência comparativa para outras residências de contextos semelhantes. Dessa forma, inicialmente escolheu-se realizar a pesquisa na cidade de Petrolina (PE), localizada no Nordeste, abastecida pelo rio São Francisco, submetida ao clima semiárido, de área igual a 4.561,874 km² (2017), população estimada de 343.865 habitantes, e localizada em -40,50° de longitude e -9,39738° de latitude (IBGE, 2019). Considerou-se a escolha relevante principalmente devido às particularidades climáticas do semiárido, ao número reduzido de pesquisas realizadas na região, à forma de abastecimento (levando em conta as peculiaridades do Rio São Francisco) e também às possíveis fontes da energia elétrica que chega na cidade.

Para a escolha da tipologia da edificação a ser analisada, foi realizado um levantamento documental que permitisse observar a forma de crescimento da cidade. Foi percebido que, de 2015 (ano de grande crise hídrica) até 2022, a maior parte do crescimento horizontal da cidade se deu com a construção de edificações residenciais. Observou-se, através de imagens do *Google Earth*® e pesquisas complementares, que neste período foram construídos 5 condomínios alto padrão localizados na margem do rio, 9 condomínios de habitação de interesse social na zona periférica da cidade, além do crescimento de mais de 7 bairros residenciais. As zonas de crescimento da cidade estão representadas na Figura 16.

Figura 16 - Zonas de crescimento residencial da cidade de Petrolina PE (2015 a 2022)

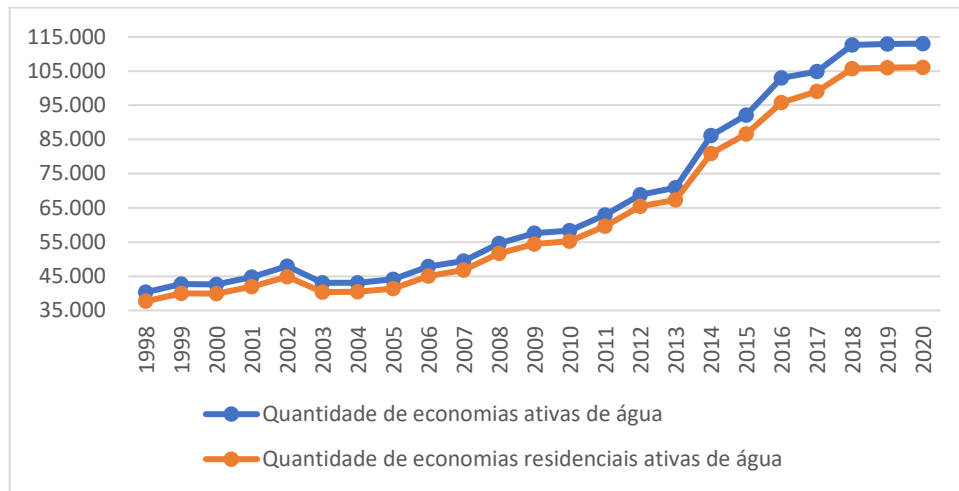


Nota: Regiões sombreadas: áreas vazias (2015); Perímetros demarcados: edificações construídas (2022).
Habitações de Interesse Social: Conjunto Residencial Novo tempo (MCMV); Conjunto Residencial Park São Gonçalo 2 (MCMV); Valle dos Coqueiros; Valle Flor de Algodão; Valle Flor do Guarujá; Valle das Mangueiras; Jardim São Paulo; Morada nova (MCMV); Condomínio Vinheiros. **Bairros:** Topázio, Lot. Vila Nova, Vila Marcela; Jardim Guanabara; Loteamento Colina do Rio; João de Deus; Portal da Cidade. **Condomínios Residenciais:** Terras Alphaville; Chácara Millenium; Jatobá, Sol Nascente Orla 2; GranVille;

Fonte: (Google Earth, 2015 e 2022 adaptado)

Segundo SNIS (2022), entre 2015 e 2020, as economias residenciais ativas de água aumentaram em 19.523 unidades, um aumento equivalente a 22,5% (crescimento médio de 14.416,81 anual)⁹. Além disso, em 2020, 93,8% das economias ativas de água da cidade eram residenciais, o crescimento e a relação entre as economias podem ser observados na Figura 17.

Figura 17 - Quantidade de economias ativas de água em 22 anos



(Fonte SNIS, 2022)

Em relação à energia elétrica, de acordo com Procel (2021), há um potencial considerável de eficiência energética no segmento das edificações, uma vez que ele consome 51% da eletricidade do país. No período de 2010 a 2020, dentre os três setores de edificações (público, comercial e residencial) o setor residencial foi o que apresentou maior crescimento da demanda de eletricidade, com crescimento de 4% neste período (EPE, 2021), tendo aumentado em 1,6TWh o consumo final de eletricidade em 2021 (EPE, 2022).

Assim, considerando que o tipo de domicílio *casa* faz parte de 99,98% dos domicílios de Pernambuco (ELETROBRÁS, 2019), que o crescimento da cidade foi marcado, em grande parte, pelo crescimento residencial, que esse setor é maioria entre as demais economias ativas de água e que se destaca quanto ao crescimento da demanda de eletricidade, justificou-se a escolha de se realizar um estudo de caso numa residência unifamiliar. Para a escolha da família, a pesquisa baseou-se em levantamento do censo de 2010 do IBGE, que definiu o número médio de 3,56 moradores em domicílios particulares permanentes da cidade. Dessa forma, escolheu-se uma família para o estudo de caso formada por 4 pessoas: casal e duas filhas. A mãe da família tem 49 anos e ensino superior completo. O pai, de 52 anos, tem ensino médio completo

⁹ Entre 1988 e 2020 o aumento foi de 68.427 unidades, média de 2.851,125 anual (SNIS, 2022).

e curso técnico. As duas crianças, de 11 e 10 anos, respectivamente, cursam o ensino fundamental.

A família escolhida para estudo de caso pertence à classe média. Segundo o Critério de Classificação Econômica Brasil (CCEB), disponibilizado pela Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP, 2019), a família escolhida para estudo de caso se encontra na classe B. Esta definição foi realizada considerando características domiciliar (número de banheiros, posse de equipamentos, etc.), nível de escolaridade do(a) chefe da família e acesso a serviços públicos de água e pavimentação. De acordo com a tabela apresentada na Figura 18, a família escolhida, segundo sua faixa de renda per capita, representa 9,51% das famílias brasileiras (em destaque na tabela).

Figura 18 - Pessoas e famílias por classes da renda familiar per capita, Brasil, 2017 - 2018

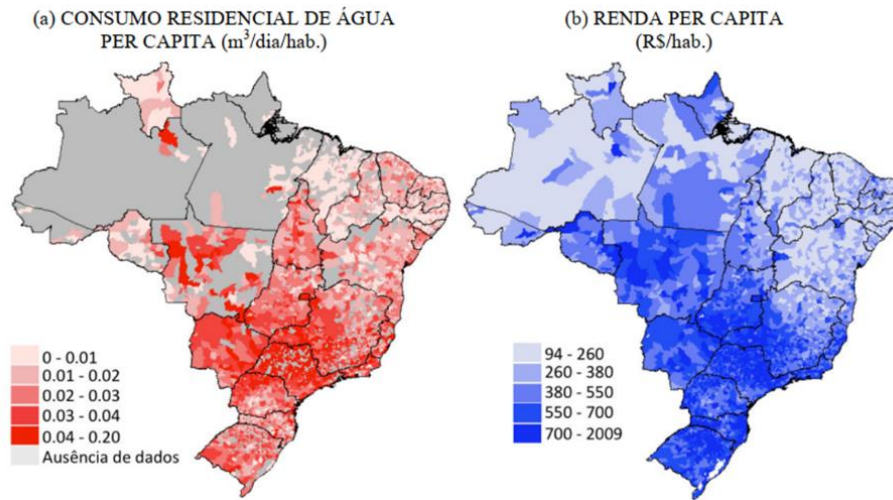
Classes da renda familiar <i>per capita</i> (R\$)	Pessoas		Famílias		Pessoas por família	Renda familiar <i>per capita</i> (R\$*)	% da renda total na classe
	Número (mil)	%	Número (mil)	(%)			
De 0 a 400	29.796	14,39	6.979	10,11	4,27	257,54	2,05
Mais de 400 a 700	35.484	17,13	9.534	13,81	3,72	546,79	5,18
Mais de 700 a 1.000	31.632	15,27	9.424	13,66	3,36	842,56	7,12
Mais de 1.000 a 1.300	25.402	12,27	8.763	12,70	2,90	1.145,71	7,77
Mais de 1.300 a 1.600	18.818	9,09	7.073	10,25	2,66	1.442,44	7,25
Mais de 1.600 a 2.000	16.971	8,19	6.563	9,51	2,59	1.784,78	8,09
Mais de 2.000 a 3.000	21.353	10,31	8.717	12,63	2,45	2.418,12	13,79
Mais de 3.000 a 5.000	15.268	7,37	6.307	9,14	2,42	3.777,09	15,40
Mais de 5.000 a 10.000	8.694	4,20	3.861	5,59	2,25	6.872,73	15,95
Mais de 10.000	3.686	1,78	1.795	2,60	2,05	17.692,01	17,41
Total	207.104	100,00	69.018	100,00	3,00	1.808,46	100,00

Fonte: Elaborada pelos autores com dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF/IBGE) 2017-2018.
Nota: *Valores em reais de janeiro de 2018.

(Fonte: VAZ e HOFFMANN, 2020 - adaptado)

Embora existam faixas de renda de percentuais mais representativos no cenário brasileiro, a escolha do estudo de caso foi também limitada pelo cenário pandêmico da covid 19, uma vez que a disponibilidades das famílias para a realização de visitas in loco estavam limitadas e essa família sempre mostrou muita solicitude à realização da pesquisa. Além disso, considerou-se que estudar um cenário de maior padrão de consumo seria vantajoso para o estudo das possibilidades de intervenção. De acordo com alguns modelos estimados em um levantamento estatístico realizado por Carmo et. al (2013) acerca do uso de água em residências brasileiras, o consumo e a renda demonstraram associação positiva e significativa em mais de 95% dos modelos estimados, comprovando a tendência de maior consumo de água em famílias de maiores rendas, como pode ser observado na Figura 19.

Figura 19 - Distribuição espacial de consumo residencial de água e renda da população em 2010



(Fonte: SNIS, 2010, e IBGE, 2010, apud Carmo et. al, 2013)

Comportamento semelhante também pode ser observado com relação ao consumo energético. De acordo com balanços energéticos nacionais realizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2011, 2013 e 2018), existiu, nos anos analisados, uma relação direta entre a renda familiar e o consumo energético final.

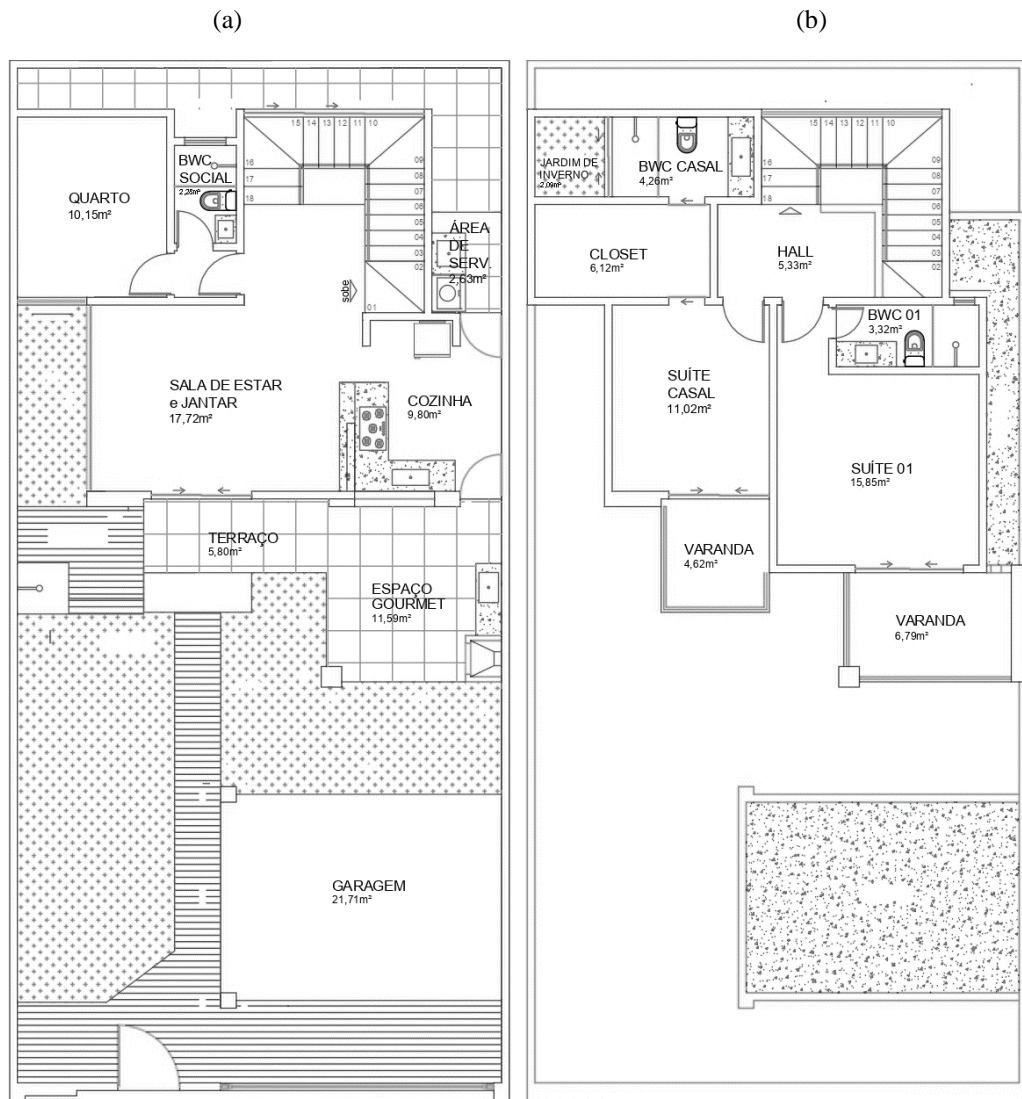
A residência onde mora a família escolhida localiza-se no centro da cidade (Figura 20) tem 183m² de área construída, possui térreo e 1 pavimento e um total de 3 quartos, 3 banheiros, sala, cozinha, área de serviço, garagem e jardim (Figura 21). A fachada da residência está exposta nas Figuras 22 (projeto em 3D) e 23 (fotografia).

Figura 20 - Localização da Residência de Estudo de Caso



(Fonte: Google Maps, 2022)

Figura 21 – Térreo (a) e Primeiro Pavimento (b) da Residência de Estudo de Caso



(Fonte: Projeto Arquitetônico, 2014)

Figura 22 - 3D Residência de Estudo de Caso



(Fonte: Projeto 3D, 2014)

Figura 23 - Residência estudo de caso



(Fonte: Autora, 2022)

A partir do estudo de caso escolhido, pretendeu-se investigar o padrão de consumo de água e energia da residência, definir os pontos de maior desperdício e propor medidas otimizadoras desse consumo.

3.2.1 Investigação do Padrão de Consumo de Água

Na primeira etapa deste levantamento, pretendeu-se definir cada ponto a ser monitorado, observando o projeto, fazendo inspeção local e coletando informações dos usuários. A intenção desta etapa foi dar subsídio para o início do monitoramento. Os ambientes e respectivos pontos de utilização investigados na inspeção local foram: 3 banheiros com chuveiro, bacia sanitária e torneira; cozinha com torneira e filtro; área de serviço com torneira e máquina de lavar; jardim com torneira e ducha. Assim, foram investigados os modos de uso e as respectivas frequências de atividades como: limpeza, irrigação de jardins e frequência de rega, lavagem de louças, duração e quantidade de banhos por ocupante, e demais hábitos de consumo.

No monitoramento realizado, as vazões em cada ponto de utilização foram calculadas a partir da razão entre o volume do recipiente utilizado para a coleta de água e o tempo demandado para preenchê-lo (Figura 24). O volume de água consumido em bacias sanitárias e

máquinas de lavar roupas foi definido a partir do dado informado pelo próprio equipamento (volume consumido por ciclo na máquina de lavar roupa e volume da caixa de descarga). A definição das vazões deu embasamento para o restante do monitoramento, uma vez que após definido o tempo de uso de cada ponto de utilização foi possível calcular o consumo final.

Figura 24 - Medições realizadas nos pontos de uso de água

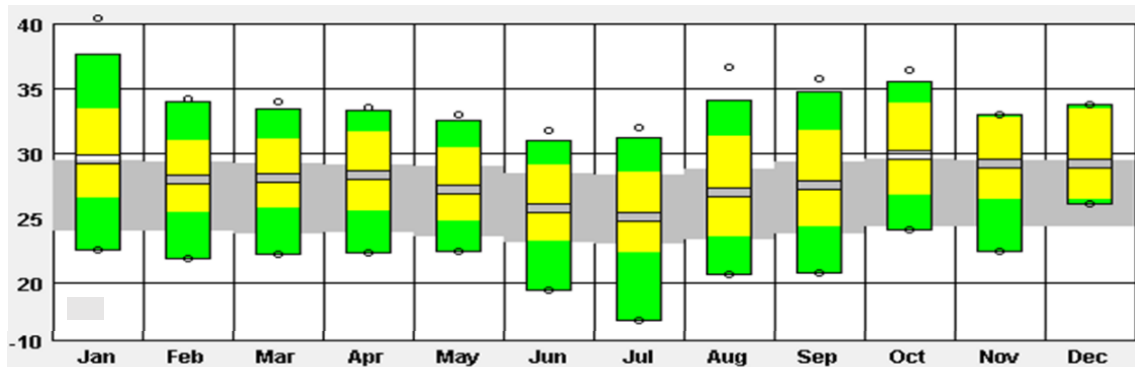


(Fonte: Autora, 2022)

Para isso, inicialmente, os usuários foram observados na realização das atividades no decorrer de uma semana. Nas observações, o tempo da execução de cada atividade foi medido utilizando cronômetro e serviu de base para estimativas futuras. Foi pedido aos moradores que anotassem o horário de uso de cada equipamento. Multiplicando-se o tempo de utilização de cada equipamento pela vazão de cada ponto de utilização, foi possível detalhar o consumo da família, conhecer os pontos e os horários de maior consumo. Para que as estimativas do monitoramento foram balizadas, foram utilizados os dados de consumos diários de água informado pelo medidor da calçada da residência.

O monitoramento foi realizado em outubro de 2021, o mês com maior temperatura média da cidade de Petrolina PE, como pode ser observado na Figura 25. A escolha do período baseado na temperatura é explicada pelo fato de que quanto maior for a temperatura, maior a tendência de aumento de consumo, seja de energia para obtenção de conforto térmico por meio de climatização artificial, ou de água para o aumento dos usos de água para higienização pessoal.

Figura 25 - Temperaturas mensais de Petrolina PE



(Fonte: *Climate Consultant*®, 2022)

A partir da caracterização do uso da água da família (demanda de água por dia, por horário e por ponto de utilização), foram estudadas, de forma teórica, as possíveis intervenções a serem feitas na residência a fim de otimizar este consumo. Para isso, tomou-se como base orientações de sistemas de certificação ambiental, detalhadas no tópico a seguir.

3.2.2 Estudo da otimização do consumo de água

A partir da revisão de literatura realizada nesta pesquisa, foi possível montar um quadro que resumisse os critérios de certificação acerca do uso da água relevantes de serem observados numa residência unifamiliar já construída, Tabela 2. O quadro construído considerou três sistemas de certificação cuja aplicação mais se aproximava do estudo de caso escolhido (considerando adaptação à realidade brasileira e o foco em edificações residenciais): Processo AQUA-HQE¹⁰, Casa Azul + CAIXA e GBC Brasil Casa®. Para a construção do quadro, foram considerados apenas os critérios possíveis de serem incorporados em residências unifamiliares, sendo excluídos da análise aqueles critérios referentes a áreas de uso comuns (ex.: elevadores e demais áreas externas condominiais).

É importante pontuar também que a residência de estudo de caso não foi projetada para atender a nenhuma certificação ambiental, está construída e em fase de operação. Dessa forma, a viabilidade de aplicação de cada critério apresentados na Tabela 2 no estudo de caso foi posteriormente discutida.

¹⁰ Foi utilizado o guia do Processo AQUA-HQE voltado para edifícios em operação (de 2017), por ser mais adequado ao estudo que se pretendeu realizar, uma vez que o guia mais recente (de 2021), voltado para edificações residenciais é direcionado à fase de construção.

Tabela 2 - Orientações à otimização do consumo de água em residências segundo 3 certificações

<i>Critério de Avaliação</i>	<i>Selos</i>		
	<i>Processo AQUA - HQE</i>	<i>Selo Casa Azul + Caixa</i>	<i>GBC Brasil Casa</i>
<i>Descarga Duplo-fluxo</i>	X	X	X
<i>Equipamentos Hidrossanitários Eficientes (vazões limitadas)</i>	X	-	X ²
<i>Arejadores e redutores de vazão nos pontos de utilização</i>	X ⁴	X	X ⁴
<i>Aproveitamento de água da chuva</i>	X	X	X ¹
<i>Reuso de águas servidas</i>	X	X	X ¹
<i>Sistema de irrigação Eficiente</i>	X ⁴	-	X
<i>Pressão Dinâmica Máxima</i>	X	-	-
<i>Medição Individualizada – Consumo geral</i>	X	X	X
<i>Medição setorizada do consumo de água potável e não potável</i>	-	-	X
<i>Otimização da infiltração direta da água da chuva</i>	X ³	X	-
<i>Tratamento de águas servidas</i>	X	-	-
<i>Plano de segurança da água</i>	-	-	X

¹A certificação GBR Brasil Casa não especifica o tipo de água não potável, chamando apenas de “fontes alternativas” (sem separar por água pluvial ou cinzas).
² A certificação GBR Brasil Casa faz apenas referência ao uso de “componentes economizadores de água”
³ A certificação AQUA-HQE faz referência também à gestão de retenção, onde considera a redução da vazão de escoamento.
⁴ A certificação não especifica o uso dessa estratégia como critério de pontuação, mas faz menção.

(Fonte: autora, 2022)

Dentre os critérios estudados nas três certificações, observou-se a exigência de descargas duplo-fluxo nos vasos sanitários, de aproveitamento de água da chuva, do reuso de águas servidas e da medição individualizada. Entre esses, a instalação de dispositivo que permita descarga seletiva é o mais simples de ser realizado em edifícios em operação. A medição individualizada de água segue o mesmo raciocínio da energia, sendo já existente em algumas edificações, a depender da sua particularidade. Ainda assim, em casos que não houver medidor

individualizado por habitação, considera-se esse quesito passível de ser alterado de forma simples na edificação em uso. Considerou-se que a incorporação de sistemas de aproveitamento de água da chuva e de reuso de águas servidas pode ser considerada em residência construída, desde que seja estudada a viabilidade de serem instalados com intervenção mínima no sistema hidrossanitário existente na edificação (considerando a necessidade de haver separação entre os pontos de uso de água potável e de água não potável).

Observou-se que as três certificações utilizaram nomenclaturas diferentes para se referir a um mesmo fator: utilização de equipamentos que permitam o uso eficiente da água, que pode ser possibilitado pelo uso de arejadores e redutores de vazão nos pontos de utilização, pelo uso de componentes economizadores de água e dos equipamentos hidrossanitários com baixas vazões. Mesmo raciocínio segue para a exigência pontuada pela certificação AQUA-HQE, que limitou a pressão dinâmica no sistema a 300 kPa, considerando que quanto maior a pressão, maior a chance de desperdício de água.

Considerou-se relevante incorporar ao quadro o sistema de irrigação eficiente considerando o elevado volume de água que geralmente é destinado para a atividade. A otimização da infiltração direta da água da chuva, por outro lado, foi quesito observado tanto na certificação AQUA-HQE quanto no selo Casa Azul + CAIXA e considerou-se que, ainda que pudesse ser necessária uma adaptação construtiva para o aumento da área de infiltração na residência, a intervenção poderia ser mínima em alguns casos (como através da incorporação de um jardim na área externa à residência).

Considerando o benefício que pode trazer um planejamento que envolva um melhor uso e manuseio da água na edificação, julgou-se relevante incorporar ao quadro o plano de segurança da água exigido pela certificação GBC Brasil Casa®. Este critério consiste na apresentação de um plano voltado à minimização dos riscos da água quanto à saúde das pessoas, o qual envolve a avaliação de todo o sistema hidráulico (abastecimento, pontos de uso, sistemas de aquecimento, de aproveitamento de água da chuva e de reuso), a definição do plano de ação e dos respectivos responsáveis por seu gerenciamento, bem como a realização de curso de capacitação por parte de quem irá operar os sistemas e executar o plano de ação desenvolvido.

A certificação AQUA-HQE faz referência em um dos seus critérios ao tratamento de águas servidas. Em situações que a residência não é dotada de conexão com a rede coletiva de esgoto, é coerente considerar a incorporação de um sistema de tratamento que possa dar a

devida destinação final dos efluentes provenientes do uso da água na edificação, caso isso não tenha sido previsto nas fases anteriores à operação da edificação.

A certificação GBC Brasil Casa® pontua os casos que contemplam medição setorizada do consumo de água nas áreas complementares que possuam consumo expressivo de água potável (ex.: piscinas) e do consumo de água não potável, juntamente com a medição da água potável complementar. Considerou-se que uma edificação já construída poderia conseguir se adequar a essa exigência, a depender do sistema hidrossanitário instalado. Considerando que todo sistema de reuso ou de aproveitamento de água da chuva faz uso de reservatórios à parte, para a medição do seu consumo bastaria a instalação de um hidrômetro na saída do reservatório. Raciocínio semelhante pode ser seguido para o consumo de água potável. Quanto ao consumo das áreas complementares, a viabilidade dessa adaptação estaria condicionada à existência de separação do sistema hidrossanitário entre a parte interna e externa da residência.

Dessa forma, a partir dos critérios listados na Tabela 2, foram estudadas as contribuições que poderiam ser trazidas ao consumo final da família caso algumas intervenções fossem realizadas na residência. Realizou-se, por exemplo, a estimativa de água potável que poderia ser substituída por águas da chuva ou por águas residuárias (tratadas). Para isso, quantificou-se a demanda de água potável e não potável, através do consumo de cada ponto de utilização. Considerou-se que a água potável utilizada na descarga, na irrigação do jardim e na lavagem de piso poderia ser substituída por águas não potáveis provenientes da máquina de lavar, dos chuveiros, do tanque da área e dos lavatórios (considerando prévio tratamento), bem como da chuva.

Para isso, foi estimado o potencial de armazenamento de água da chuva da edificação, considerando o regime pluviométrico da cidade com base em procedimentos definidos pela literatura. Este dado serviu de embasamento para o dimensionamento do sistema de aproveitamento de água da chuva. Foi feito uso do programa computacional Netuno®, disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC. Este *software* permitiu definir o potencial de economia de água potável da residência; o consumo diário de água da chuva; a porcentagem de dias em um ano em que a demanda de água da chuva é totalmente atendida, parcialmente atendida e não atendida; e a capacidade ideal para o tanque de água da chuva. Para a estimativa, foram utilizados os dados climatológicos de precipitação pluviométrica levantados pela Estação Meteorológica Convencional do Instituto Nacional de

Meteorologia (INMET), localizada no município de Petrolina–PE (Latitude: - 9.388323° e Longitude: -40.523262°; Altitude: 373 m).

A partir de cada uma das análises, pretendeu-se responder questões acerca das possibilidades de redução de pressões no consumo final da residência; do volume de água potável que poderia ser substituído por água da chuva ou de reuso; e das demais melhorias que poderiam ser conseguidas através da incorporação de medidas adaptativas que estivessem em conformidade com as exigências das certificações.

3.2.3 Investigação do Padrão de Consumo de Energia

Esta etapa da pesquisa baseou-se na realização da auditoria energética da residência. Assim como na auditoria de água, caracterizou-se o consumo dos equipamentos, a frequência de utilização, o tempo e o horário de uso. Este monitoramento também teve a duração de uma semana e ocorreu no mesmo período da auditoria de água (primeira semana de outubro de 2021), escolha também justificada pelo provável aumento de consumo energético em períodos mais quentes do ano. Para as análises recolheu-se também as faturas mensais do consumo energético dos 6 anos de ocupação (2017-2022), por onde foi possível observar as variações de consumo no decorrer dos meses. Além disso, foi registrado, diariamente, o consumo energético marcado no medidor de energia da residência para balizar o levantamento do consumo interno da residência realizado através da auditoria.

Assim, fazendo uso do equipamento exposto na Figura 26 (amperímetro digital), foram medidos os consumos de cada equipamento elétrico da residência (dois notebooks, dois ventiladores, dois condicionadores de ar, uma televisão 55”, uma geladeira, uma lavadora de roupa; um ferro de passar; uma bomba submersa, um liquidificador e três celulares). A medições ocorreram no intervalo de 1 a 3 horas de uso. Através do mesmo equipamento, foi possível conferir também a potência nominal dos chuveiros elétricos.

Figura 26 - Amperímetro digital usado em auditoria energética



(Fonte: autora, 2021)

É importante pontuar que a determinação do consumo dos condicionadores de ar foi realizada a partir do desmonte do quadro de distribuição, o que permitiu a medição direta do consumo durante uma noite de uso, Figura 27a. Adaptação semelhante também foi realizada na bomba submersa responsável por recalcar a água da cisterna para a caixa d'água da residência, a fim de que a medição do consumo também fosse possível de ser realizada, Figura 27b.

Figura 27 - Medição de consumo adaptada (condicionar de ar e bomba submersa)



(a) medição do consumo do condicionador de ar;

(b) medição do consumo da bomba submersa.

(Fonte: Autora, 2022)

De posse dos dados de consumo, foi possível calcular as potências médias de cada equipamento dividindo-se o consumo medido (em kWh) pelo período de medição (em horas). Nesta fase da auditoria, foram anotadas também as potências nominais de todas as lâmpadas da residência. A multiplicação dos dados de potência pelo tempo dos usos posteriormente monitorados permitiu que o consumo elétrico da residência fosse detalhado.

Dessa forma, assim como na auditoria de água, contou-se com o auxílio dos moradores para o detalhamento dos dados, através do registro do horário de uso de cada equipamento. Através dos dados levantados, foi possível definir o padrão de uso da energia (demanda de água por dia, por horário e por equipamento). A partir dessa caracterização, foram estudadas, de forma teórica, as possíveis intervenções a serem feitas na residência a fim de otimizar este consumo. Para isso, tomou-se como base orientações de sistemas de certificação ambiental, detalhadas no tópico a seguir.

3.2.4 Estudo da otimização do consumo de energia

Para que fossem estudadas as possibilidades de melhorias no consumo energético da família, também foram considerados os indicadores das certificações AQUA-HQE, Casa Azul + CAIXA e GBC Brasil Casa. Construiu-se, assim como no tópico sobre água, um quadro resumo dos critérios cabíveis de serem avaliados em residências unifamiliares, no que se refere ao quesito energia das três certificações, Tabela 3.

Tabela 3- Orientações à otimização do consumo de energia em residências segundo 3 certificações

<i>Critério de Avaliação</i>	<i>Selos</i>		
	<i>Processo AQUA - HQE</i>	<i>Selo Casa Azul + Caixa</i>	<i>GBC Brasil Casa</i>
<i>Geração de Energia Renovável</i>	X	X	X
<i>Uso de fonte de aquecimento de água</i>	X	X	X
<i>Uso de Equipamentos Eletrodomésticos Eficientes</i>	X ¹	X	X
<i>Uso de lâmpadas eficientes</i>	X	X	X
<i>Medição Individualizada - Consumo geral</i>	X	X	X
<i>Desempenho da envoltória</i>	X	X	X
<i>Estratégias Bioclimáticas</i>	X ²	X	X ²
<i>Qualidade e segurança das instalações</i>	-	-	X
<i>Medidor de Energia para todas as fontes utilizadas na residência</i>	-	-	X
<i>Medição individualizada de gás</i>	-	X	-

¹ Os equipamentos eficientes listados pela certificação AQUA-HQE são apenas aqueles referentes ao resfriamento, aquecimento, ventilação e exaustão de ambientes; além da bomba centrífuga.

² O Processo AQUA-HQE faz menção à concepção bioclimática do edifício na Categoria referente a Produtos, Sistemas e Processos Construtivos. Na categoria de Energia, essa estratégia é tratada de forma indireta, através da avaliação da envoltória. O mesmo ocorre com a certificação GBC Brasil Casa, onde as orientações de Arquitetura Bioclimática fazem parte da categoria Implantação, mas ocorre menção indireta na categoria de Energia e Atmosfera.

(Fonte: autora, 2022)

Dentre os quesitos exigidos nas três certificações, estão a geração de energia renovável e o uso de fonte de aquecimento de água. Considerou-se que esses são sistemas que podem ser incorporados a um empreendimento em operação, a depender de cada caso específico. É importante ressaltar, entretanto, que essa incorporação dependerá de uma série de fatores. O primeiro deles seria a pertinência da modalidade escolhida para o sistema e local de estudo. Em caso de uso do aquecimento solar e dos módulos fotovoltaicos, por exemplo, é importante avaliar se existe área passível de instalação dos sistemas e as possíveis inclinações e orientações em relação ao azimute permitida pela geometria da edificação (principalmente para o sistema de aquecimento solar de água, mais sensível a esses fatores). Além desses aspectos, é

importante pontuar que a instalação do sistema de aquecimento de água interferiria na instalação hidrossanitária já existente na edificação, uma vez que ela considera a separação das instalações entre água fria e água quente. Haveria de ser avaliado, assim, os pontos a serem abastecidos por esse sistema e sua respectiva viabilidade.

Outros quesitos também exigidos pelas três certificações foram a iluminação e o uso de equipamentos eletrodomésticos eficientes. Considerou-se que a substituição das lâmpadas e dos equipamentos seria viável no cenário de uma edificação em uso. Além desses quesitos, a exigência de medição individualizada para controle de consumo geral da edificação também fez parte das exigências das três certificações. Esse critério, por vezes, já é atendido pelas residências que possuem seu próprio medidor individual e não há consumo integrado com outras habitações. Raciocínio semelhante se segue para o caso da medição individualizada de gás (exigência da certificação Casa Azul + CAIXA) nas situações onde há fornecimento desse recurso na residência, sendo a medição dispensável quanto o consumo ocorrer de forma independente através da compra periódica de botijões de gás.

Outro quesito também observado nas três certificações foi a avaliação da contribuição das envoltórias na eficiência energética das habitações. As três certificações relacionam este critério ao desempenho e ao conforto térmico da edificação, os quais influenciam diretamente no consumo energético final. A certificação AQUA-HQE avalia a envoltória segundo sua aptidão para limitar desperdícios de energia (avaliada por meio da Transmitância Térmica¹¹ ponderada da envoltória, onde o valor da edificação deve ser menor que o da edificação de referência, em W/m².K), podendo ser avaliada também pela Etiqueta de Energia .

Segundo a certificação Casa Azul + CAIXA, o desempenho mínimo a ser atingido está relacionado com as aberturas para ventilação, que deve ter área maior ou igual a 7% da área do piso na zona bioclimática 7 (zona onde está localizada a cidade de Petrolina PE, segundo a NBR 15220-3:2005). Além disso, a certificação pede que seja apresentado um Laudo que demonstre o atendimento do desempenho térmico segundo orientações da NBR 15.575:2021. Esta norma, que trata sobre o desempenho de edificações residenciais, propõe duas formas de avaliação do desempenho térmico: o procedimento simplificado e o por meio de simulação computacional. O primeiro deles é realizado por meio da comparação com valores de referência de

¹¹ Calculada pela seguinte equação: $\frac{\sum U_i \times A_i}{\sum A_i}$ onde U_i é a transmitância térmica da superfície associada ao elemento de vedação A_i .

transmitância térmica, capacidade térmica, abertura de ventilação e elementos transparentes. O segundo é realizado por meio de comparação com modelo de referência.

A certificação GBC Brasil Casa, por sua vez, considera que o desempenho mínimo da envoltória é conseguido quando a edificação atender a uma das duas opções (conforme descrito no Regulamento Técnico da Qualidade – RTQ): (1) atender a todos os pré-requisitos descritivos da etiquetagem PBE EDIFICA para a transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das superfícies; a ventilação natural; e a iluminação natural; ou (2) demonstrar através de cálculo a obtenção de Equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória para a Unidade Habitacional Autônoma e a média final por unidade (UHA) igual ou maior a 3 para 95% das UHA. Segundo o método proposto, a avaliação do desempenho térmico pode ser realizada por meio de dois procedimentos, simplificado (Parte 4 – Requisitos para os sistemas de vedações internas e externas - SVVIE e Parte 5 – Requisitos para os sistemas de coberturas) ou de simulação computacional.

Ainda que parte significativa da envoltória corresponda aos materiais constituintes e suas definições de projeto, cuja alteração demandaria intervenção construtiva, algumas adaptações simples podem ser realizadas após a construção, como mudança de cor e incorporação de sombreamento (considerando demandas do clima local). Essa adaptação também cabe ser avaliada em cada caso particular. Raciocínio semelhante se segue para o caso das estratégias bioclimáticas especificadas pelo Selo Casa Azul + CAIXA.

Quesitos referentes ao desempenho e conforto lumínico (especificado pelo Selo casa Azul + CAIXA) não foram adicionados ao quadro, uma vez que eles estão relacionados à iluminação natural que, por sua vez, está associada às áreas de abertura cuja mudança requereria intervenção construtiva.

Optou-se por adicionar ao quadro também o quesito que trata da qualidade e segurança das instalações, um critério de exigência da certificação GBC Brasil Casa®. Para atender a esse critério, deve ser comprovado que os sistemas elétricos da residência foram projetados em conformidade com as normas técnicas brasileiras referentes aos sistemas elétrico de baixa tensão, de aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração, de aquecimento de água e de energia renovável (NBR 5410:2004 e NBR 15920:2011; NBR 16401-1:2008 e NBR 15848:2010; NBR 7198:1993; NBR 16274:2014 e NBR IEC62116:2012, respectivamente).

A partir de cada uma das orientações dos sistemas de certificação, foi possível estudar as possibilidades de melhoria no consumo energético da família e levantar discussões acerca da sua possível economia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo é realizada a discussão acerca do panorama atual da cidade de Petrolina (PE) frente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e à Agenda 2030 da ONU, tanto em escala urbana quando na escala do edifício (estudo de caso) no que se refere ao uso da água e da energia.

Dessa forma, foram levantadas discussões acerca da posição da cidade diante dos desafios da sustentabilidade. Assim, este capítulo discorre a respeito de temas relacionados ao clima semiárido, à bacia hidrográfica do São Francisco, à combinação entre precipitações e secas, ao cenário do saneamento da cidade, às mudanças ocorridas em escala temporal, à demanda energética do espaço urbano, às fontes de energia principais do município, aos impactos ambientais, aos períodos de estiagem de energia, à disponibilidade e potencial de geração de eletricidade por meio de fontes de energia renováveis, bem como à coerência entre a avaliação apresentada pelo Índice do Desenvolvimento Sustentável (IDSC) e os dados apresentados pela cidade.

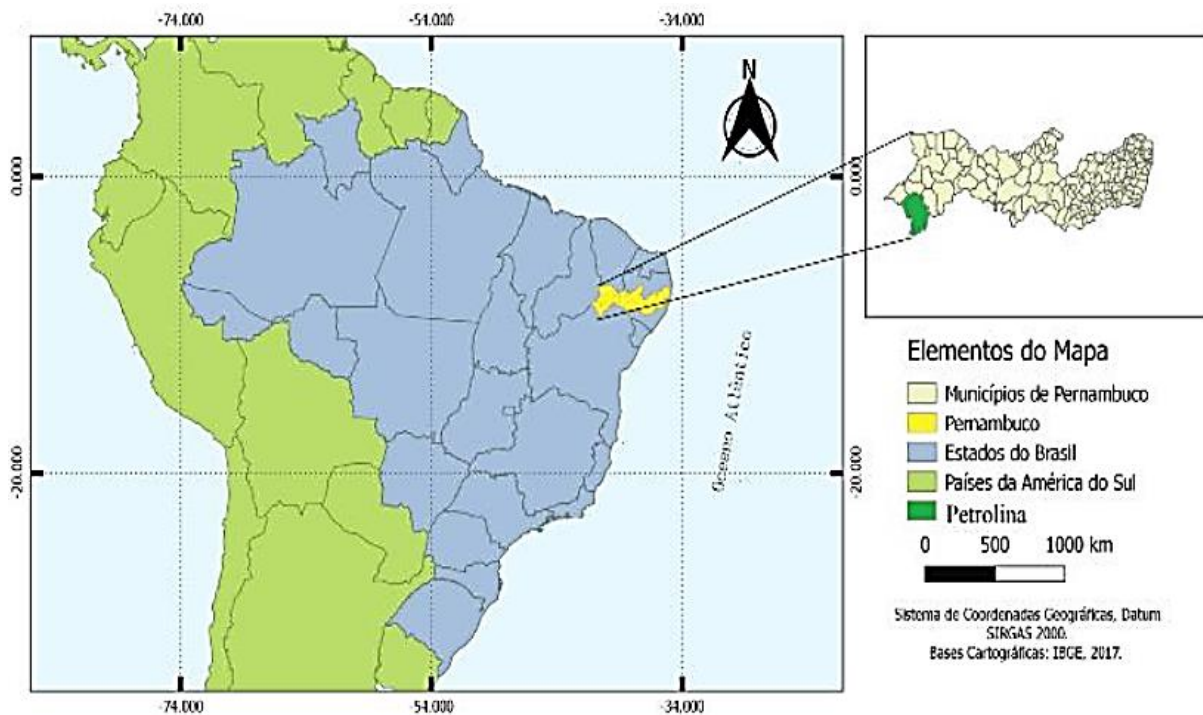
Após realizada a discussão acerca do panorama do município quanto ao uso de água e de energia, serão discutidos os resultados das auditorias de água e de energia realizadas na residência de estudo de caso, a fim de trazer um exemplo ilustrativo do que acontece na escala do edifício e como o seu consumo pode ser otimizado, tendo como base as orientações dos sistemas de certificação AQUA-HQE, Casa Azul + CAIXA e GBC Brasil Casa.

4.1 Escala Urbana

Segundo o Índice de Desenvolvimento Sustentável (IDSC, 2022), a cidade de Petrolina (PE), localizada no alto sertão pernambucano (Figura 28), possui nível médio de desenvolvimento, com pontuação de 52,6 (numa escala de 0 a 100). A pontuação da cidade se destaca no seu contexto territorial do ponto de vista da região, estado e bioma em que está inserida, estando estes três no nível baixo de desenvolvimento (com valores na casa dos 42 pontos). Como já dissertado no Capítulo 2 do presente trabalho, esse destaque provavelmente é explicado pela representatividade da cidade na região, a qual forma um Arranjo Populacional (AP) com a cidade de Juazeiro (BA) e se classifica como Capital Regional C, formando uma Região de Influência de tamanho considerável e se comunicando com 24 municípios

pernambucanos e baianos de hierarquia inferiores, relações que alcançam distâncias de até 640km (IBGE, 2020b).

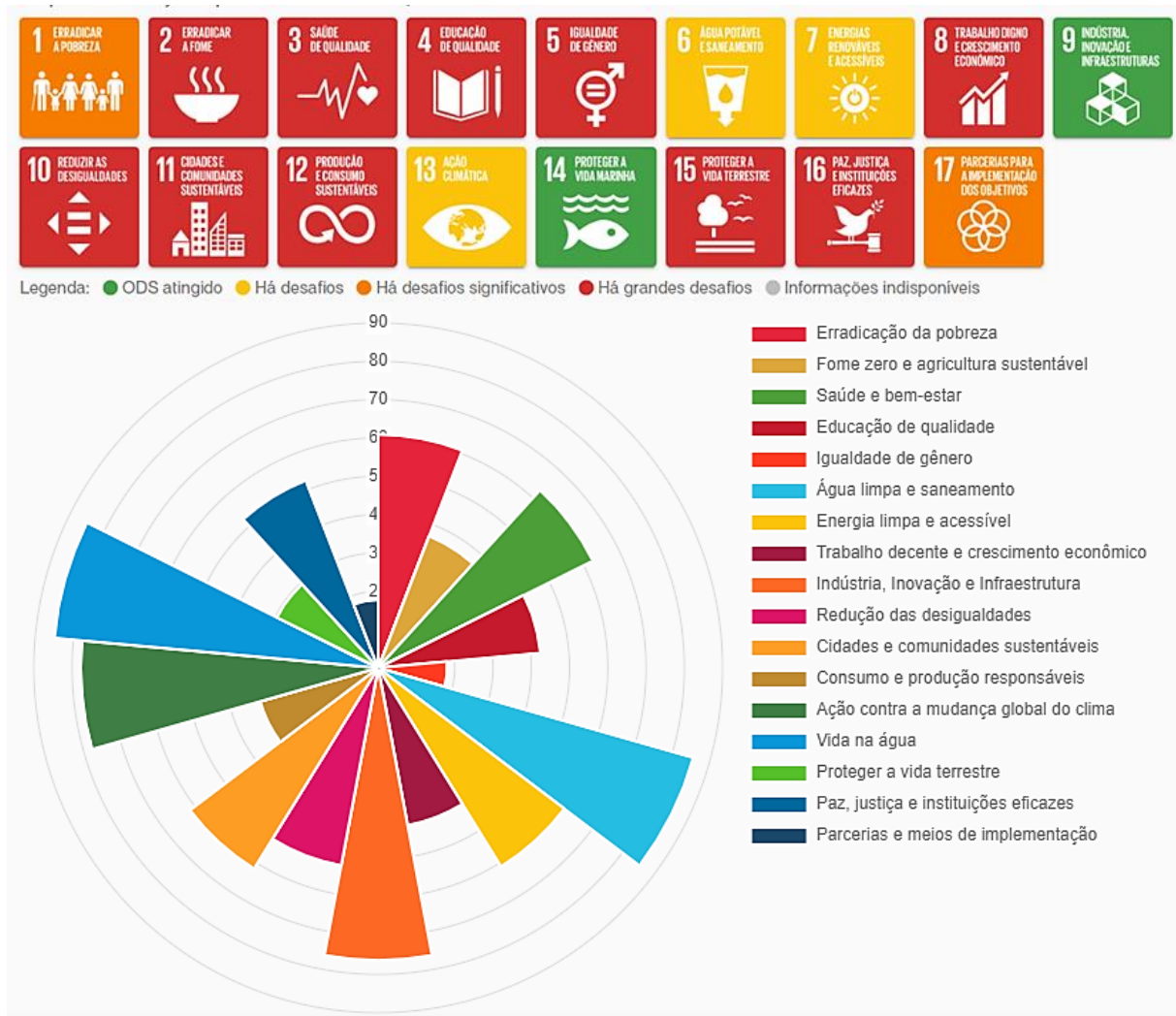
Figura 28- Posição geográfica do município de Petrolina (PE)



(Fonte: NASCIMENTO et. al, 2020)

Na classificação geral das cidades, entre os 5570 municípios, Petrolina (PE) encontra-se na posição 1084 quanto ao nível de desenvolvimento sustentável. A avaliação atual da cidade demonstra que apenas 2 dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável foram atingidos, enquanto ainda há desafios para o alcance dos demais (‘desafios’ para 3, ‘desafios significativos’ para 2 e ‘grandes desafios’ para os 10 restantes), Figura 29.

Figura 29 - Avaliação atual quanto ao desempenho por ODS de Petrolina (PE)



(Fonte: IDSC, 2022)

Quando observadas as avaliações específicas dos objetivos 6 e 7, relativos à água e à energia, respectivamente, a cidade de Petrolina apresenta pontuação igual a 85,6 (água limpa e saneamento) e 60,9 (energia limpa e acessível), ambos objetivos ainda apresentando desafios para seu alcance. No intuito de se compreender melhor como se deu essa pontuação, quais os maiores destaques da cidade e os aspectos mais sensíveis que demandam atenção, o estudo relativo à água e à energia da cidade foi aprofundado, detalhado nos tópicos a seguir.

4.1.1 Água

Segundo classificação do IDSC (2022), a cidade de Petrolina (PE) possui pontuação igual a 85,6 (para uma escala de 0 a 100) quanto ao progresso na realização do Objetivo 6 dos ODS (Água Limpa e Saneamento). Esta pontuação relativamente alta é explicada pelo atendimento de um bom número de metas do Objetivo. O primeiro deles é relativo à população atendida com serviço de água. Considera-se que atende à meta a cidade que apresenta um valor acima de 85%. O município em questão satisfaz a essa exigência, atendendo 100% da população com serviço de água. Outra meta também atingida é referente à população atendida com esgotamento sanitário, o limite estabelecido pelo Objetivo é igual a 70%, valor também respeitado pelo município, o qual apresentou um percentual igual a 83,65%, em 2020. Neste mesmo ano, a cidade de Petrolina (PE) também apresentou uma excelente porcentagem de tratamento de esgoto, igual 100% (todo esgoto coletado é tratado), valor maior que a referência do Objetivo (80%). Uma quarta meta também atendida pelo município está relacionada ao número de internações hospitalares ocorridas devido à inadequabilidade do saneamento ambiental. O limite estabelecido pela meta é de 136,21 internações por 100 mil habitantes e valor apresentados pelo município foi 38,10 internações por 100 mil habitantes (2020), atendendo também a essa meta. Embora muitas das metas traçadas pelo objetivo tenham sido atendidas, ainda há desafios a serem superados. A exemplo disso temos o problema de perda de água, uma vez que o valor do Índice de Perdas na Distribuição apresentado pelo município em 2020 foi 37,74% e o limite estabelecido pela meta é 12,1%.

No intuito de aprofundar o entendimento da classificação da cidade quanto à Disponibilidade e Sustentabilidade da Gestão da Água e Saneamento para Todos, optou-se por estudar detalhadamente o cenário da cidade frente as exigências do Objetivo 6.

4.1.1.1 Bacia do São Francisco e Clima Petrolina (PE)

Para que seja possível buscar e avaliar a conservação e o manejo sustentável dos recursos naturais, é importante que sejam conhecidas as transformações ocorridas no tempo e no espaço no recorte que se pretende estudar.

No que se refere à Bacia do São Francisco, de 1995 a 2020, foi observada uma redução de 8% na Formações Vegetal e Savânica da Bacia (somadas), esta última sendo a mais afetada,

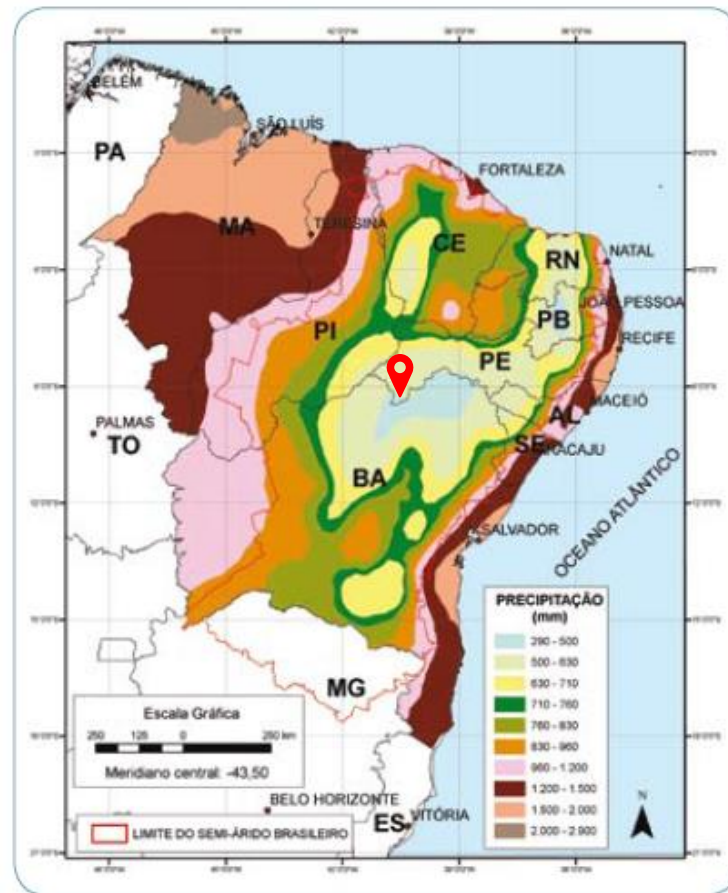
com perda de 4,6Mha de área. Juntamente com essa redução, no mesmo período houve um aumento de 4% na pastagem e na agricultura que ocorre na região, tendo sido observada uma perda de 7Mha de vegetação nativa nas últimas três décadas para a agropecuária (tendo havido um aumento em 4 e em 6,5 vezes da área de silvicultura e agricultura, respectivamente, e um incremento de pastagem em 85%). Tais variações são reflexos das interferências antrópicas, as quais fazem uso de 42% da região (MAPBIOMAS, 2020).

De 1995 a 2020, houve uma perda de 50% da superfície de água natural na região hidrográfica do São Francisco, tendo havido um aumento de água superficiais nas hidrelétricas em 14,8%. A região do São Francisco com maior número de hidrelétricas do São Francisco é o Submédio, onde está localizada a cidade de Petrolina (PE). Essa região possui a maior cobertura natural da bacia (62% do território) e, apesar de ter 25% da sua área protegida, observou-se, apenas entre 2019 e 2020, um desmatamento de 1.154ha. A usina de Sobradinho (BA), responsável por regular a vazão do rio que chega em de Petrolina (PE) e contribuir com a energia elétrica que chega na cidade, é uma das principais usinas da Bacia do São Francisco e tem apresentado episódios de redução de superfície de água, com a menor superfície de água no reservatório ocorrida em 2017 (para o intervalo de 1985 a 2020). Foi observado também uma considerável expansão da Irrigação na Região Hidrográfica do São Francisco, a região do Submédio sofreu aumento de 296%, um valor equivalente a 80.385ha (MAPBIOMAS, 2020).

É sabido que o Semiárido (clima onde está inserido Petrolina PE, Sobradinho BA e região) é marcado pela escassez hídrica, com precipitações irregulares e concentradas, em média, em três meses do ano, o que, em geral, resulta em reservas de água insuficientes nos seus mananciais (BRITO et. al, 2007). A cidade de Petrolina (PE) está entre as cidades com menor índice pluviométrico do Nordeste, como pode ser observado na Figura 30, e é marcada por regime pluviométrico irregular e assimétrico, concentrado entre dezembro e março, período onde chove o equivalente a 86,0 % do total anual. Foi observado que, embora haja oscilações nas precipitações médias, não há indícios de mudança do regime de chuvas, uma vez que, no período de 1975 a 2018, os valores não ultrapassam a dispersão média¹² de dados coletados, Figura 31 (ALMEDA; MARQUES, 2021).

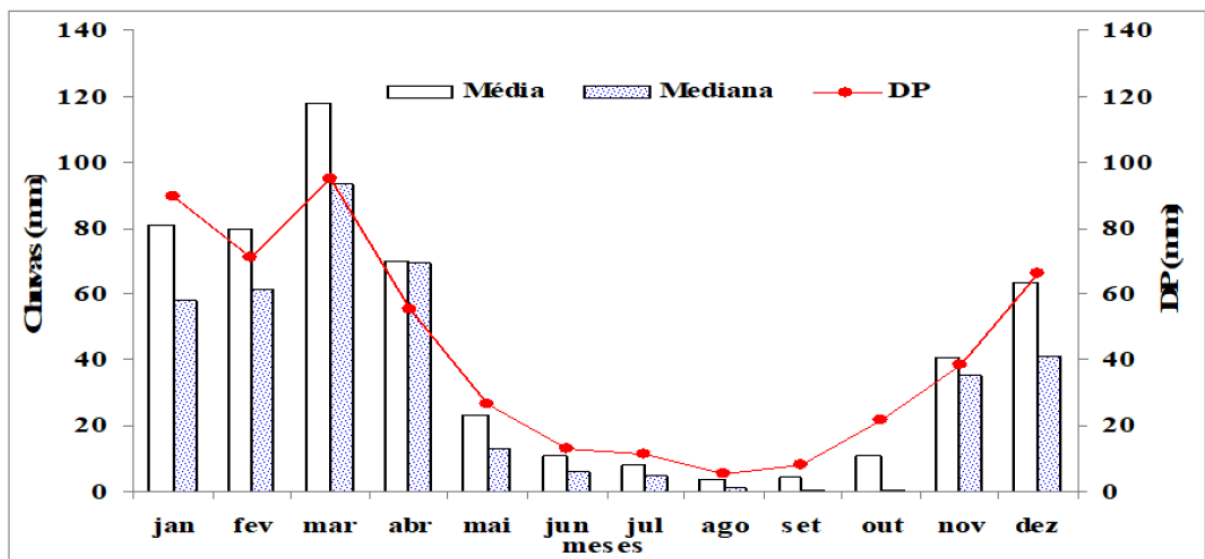
¹² Média \pm Desvio Padrão

Figura 30 - Climatologia da precipitação anual da Região Nordeste do Brasil (marcação em Petrolina PE)



(Fonte: PCS, 2022c – Adaptado: destaque em Petrolina PE)

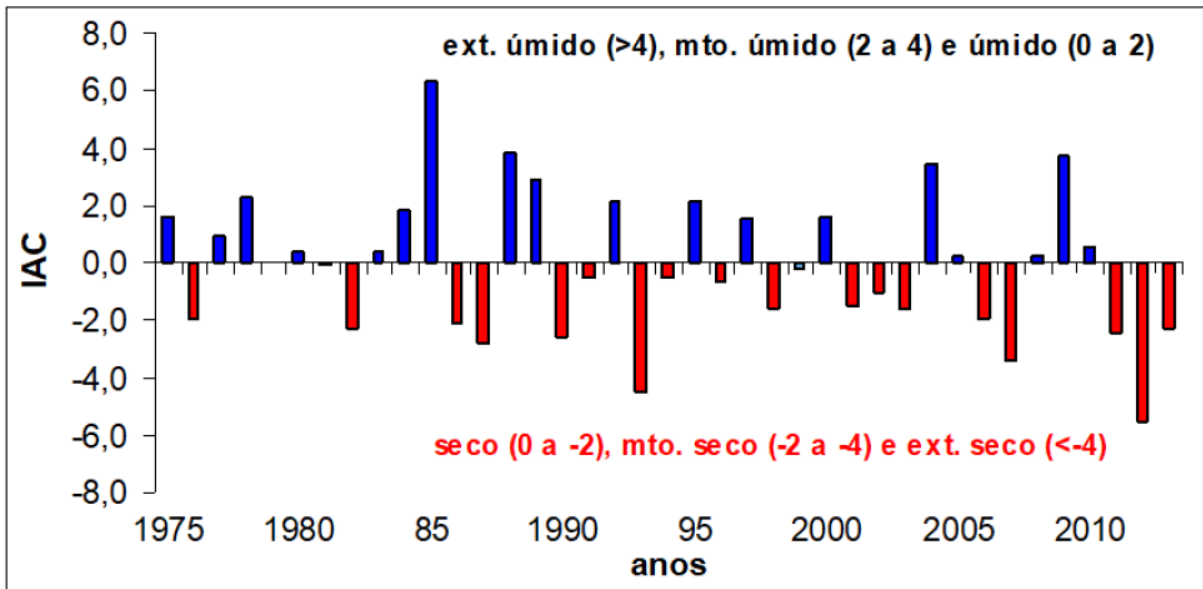
Figura 31 - Médias mensais das médias, medianas e desvio padrão da precipitação pluvial.



(Fonte: ALMEIDA; MARQUES, 2021)

A variabilidade da chuva e o fenômeno da seca na cidade de Petrolina (PE) foram monitorados por Almeida e Marques (2021) através do Índice de Anomalia de Chuva (IAC), para o período compreendido entre 1975 e 2018. Este índice permite que seja observado, em escala espacial e temporal, as diferenças entre os valores de chuvas observados e a mediana esperada, que podem resultar em anomalias positivas (anos úmidos ou chuvosos) ou negativas (anos secos), Figura 32. Foi observado que em 53,8% dos anos choveu abaixo do esperado em Petrolina (PE), e em 46,2 % dos anos choveu acima do esperado. O ano mais chuvoso observado no período foi 1985 (1023,5 mm) e os anos mais secos foram 1993 e 2012 (187,8mm e 243,3mm, respectivamente).

Figura 32 - Valores dos índices de anomalia de chuva (IAC), para as respectivas classes de intensidade de categorias de seca meteorológica em Petrolina, PE



(Fonte: ALMEIDA; MARQUES, 2021)

A relação entre precipitação (mm) e evapotranspiração médias (mm) de uma região resulta no Índice de Aridez (IA), que, por sua vez, indica a suscetibilidade à desertificação de uma região e varia entre 0,21 e 0,65 (UNESCO, 1979). A classificação do clima de uma região segundo nível de aridez está exposta na Figura 33. Considera-se que regiões com IA entre 0,05 e 0,20 possuem suscetibilidade muito alta à desertificação; entre 0,21 e 0,50 suscetibilidade alta e entre 0,51 e 0,65 suscetibilidade moderada (MATALLO, 2003). De acordo com Cequeira; Rodrigues e Almeida (2020), entre 2013 a 2016, foram observadas consideráveis reduções dos

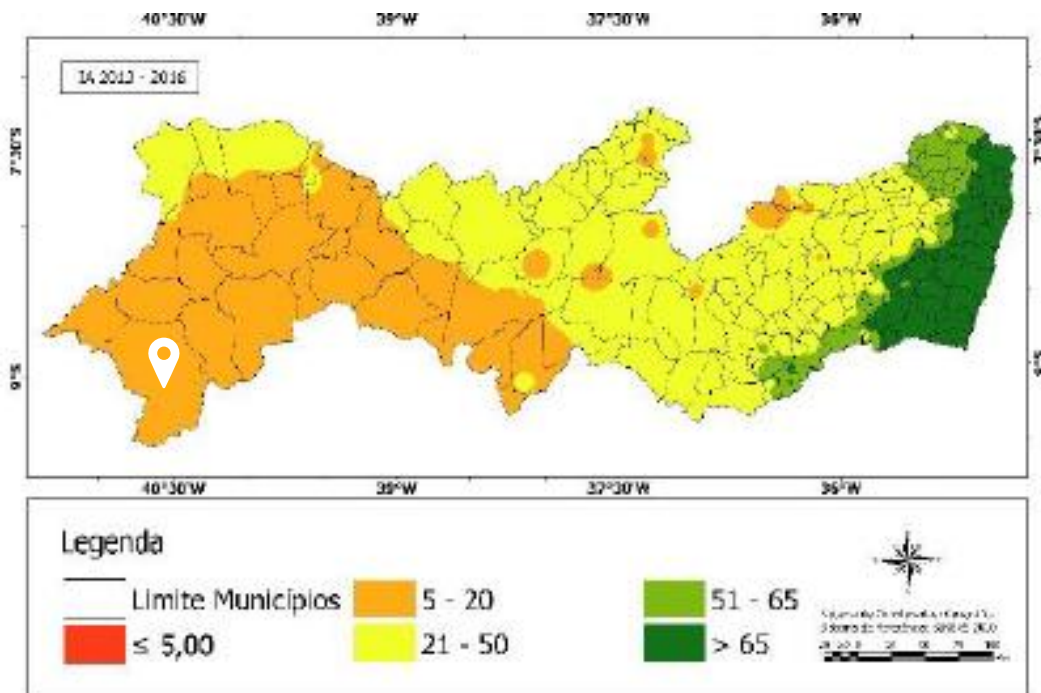
Índices de Aridez¹³ no estado de Pernambuco, Figura 34 (Petrolina-PE marcada com pino branco). Os baixos valores observados expõem a região do São Francisco Pernambucano ao risco de desertificação, estando a cidade de Petrolina (PE) entre aquelas de maiores destaques, Figura 35.

Figura 33 – Classificação climática segundo valores do Índice de Aridez

Hiper-árido	< 0,05
Árido	0,05 - 0,20
Semi-árido	0,21 - 0,50
Sub-úmido seco	0,51 - 0,65
Sub-úmido e úmido	> 0,65

(Fonte: Resolução CONAMA Nº 238/1997)

Figura 34 - Distribuição espacial do índice de aridez para o Estado de Pernambuco 2013-2016

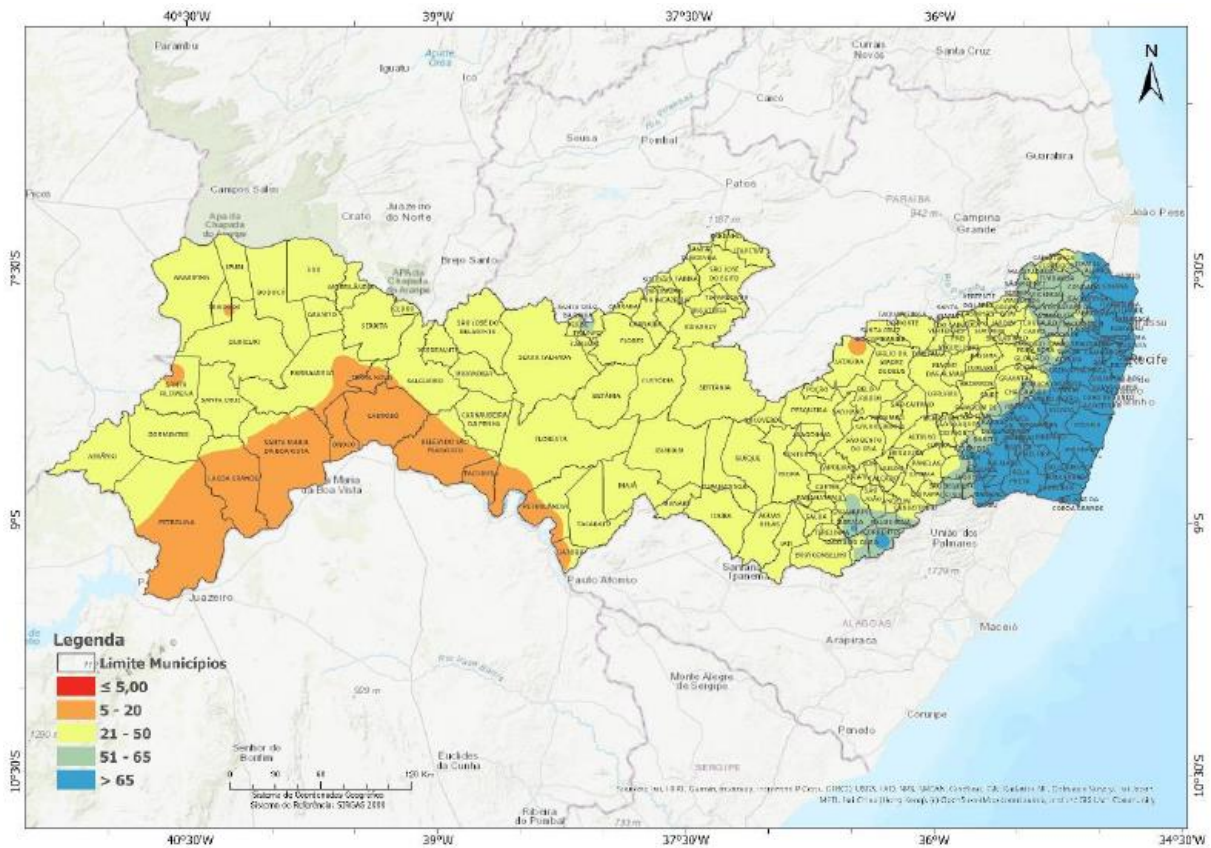


Nota: os valores da legenda indicados estão em percentual; marcação da cidade de Petrolina (PE).

(Fonte: CEQUEIRA; RODRIGUES; ALMEIDA, 2020, adaptado)

¹³ Segundo AMARAL et al. (2014), o valor de aridez relaciona-se com a insuficiência da precipitação necessária para manter uma vegetação.

Figura 35 - Distribuição espacial da susceptibilidade a desertificação global para o Estado de Pernambuco

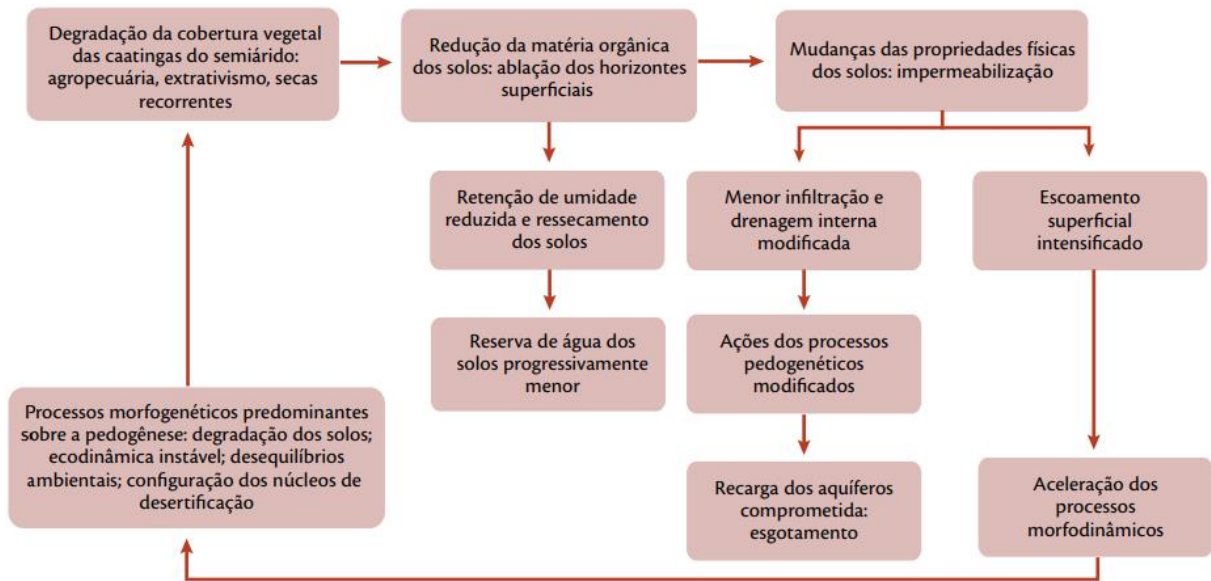


*Mapa construído segundo valores globais do Índice de Aridez, referentes ao período de 1993 a 2016.

(Fonte: CEQUEIRA; RODRIGUES; ALMEIDA, 2020)

A desertificação está associada aos efeitos resultantes do escoamento superficial e à desagregação mecânica das rochas. As perdas nas formações vegetais e savânicas, bem como o aumento na pastagem e agricultura e todo o desmatamento associado à agropecuária na bacia do São Francisco intensificam os processos erosivos, elevando os riscos de desertificação do semiárido e produzindo um impacto negativo na capacidade de resiliência ambiental frente às secas extremas. Esse cenário, fortemente associado às ações antrópicas, resultam em desequilíbrios ecológicos e exaustão dos recursos naturais. A Figura 36 expõe o processo de degradação ambiental associado à desertificação no semiárido (CGEE, 2016).

Figura 36 - Sistema de degradação ambiental e configuração de núcleos de desertificação no Semiárido



(Fonte: CGEE, 2016)

O desenvolvimento sustentável das cidades é fortemente comprometido pelas mudanças climáticas e seus efeitos adversos. Em escala temporal, a desertificação, elevada pelos episódios de seca, repercute na vida do homem em realidade fragilizada (RAMALHO, 2013). Assim, a criticidade que existe no comportamento hídrico da cidade molda o comportamento dos habitantes e evidencia a necessidade de desenvolvimento de políticas públicas regionais que estimulem práticas mais sustentáveis de consumo hídrico (CIRILO, CAMPOS e MONTENEGRO, 2010).

Dessa forma, é ainda mais expressiva a necessidade de recuperação e prevenção das áreas em processo de degradação, bem como o combate à desertificação, à escassez de água doce e à perda da biodiversidade. O Objetivo 15 da Agenda 2030 (Vida Terrestre¹⁴) se comunica bem com esta necessidade, uma vez que almeja a proteção, a recuperação e a promoção do uso sustentável dos ecossistemas terrestres, estimulando a gestão sustentável das florestas e o combate à desertificação (BRASIL, 2016). Ainda há grandes desafios para o alcance da meta no município de Petrolina (PE), estando esta cidade com pontuação igual a 29,55 (numa escala de 0 a 100). Embora a proporção de instrumentos de gestão e financiamento da proteção ambiental atinja o mínimo exigido pelo Objetivo 15 (80), a taxa de formações florestais naturais

¹⁴ Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, travar e reverter a degradação dos solos e travar a perda da biodiversidade (UNITED NATIONS, 2022).

por habitante da cidade (1,29) está muito abaixo do limite mínimo estabelecido pela norma (25,25), e o mesmo ocorre com a proporção do território ocupado por unidades de conservação de proteção integral e uso sustentável (7,86, quando deveria ser, no mínimo, 28,69). Dessa forma, percebe-se que Petrolina (PE) ainda está aquém do que se espera para um município que esteja caminhando em direção à sustentabilidade ambiental no que se refere a esse Objetivo (IDSC, 2022).

No que se refere ao Objetivo 6 dos ODS (água Potável e Saneamento), a sua quarta meta traz como indicador o nível de estresse hídrico, onde é levada em consideração a proporção entre disponibilidade e água doce e retirada, enquanto a sexta meta trata da proteção e restauração dos ecossistemas, incluindo os rios neste conjunto. O rio São Francisco, fonte de subsistência da cidade de Petrolina (PE), já sofreu repetidamente redução de nível, expondo periodicamente a cidade ao risco de desabastecimento, a exemplo do que ocorreu na maior crise hídrica da bacia, em 2015. Esta crise, a maior parte dos municípios afetados encontrava-se no Nordeste (IBGE, 2017) e foi ocasionada, principalmente, pela seca prolongada ocorrida nesta região, o que resultou numa redução do volume útil do reservatório da usina hidrelétrica de Sobradinho (BA) para o valor crítico de 2,02% (PERNAMBUCO, 2016a). Além disso, em 2016, toda a água do reservatório da usina de Três Marias (MG) estava sendo liberada para garantir a manutenção da barragem de Sobradinho. O fato de não estar havendo reserva na usina de Três Marias levantou a hipótese de que, caso não houvesse chuva suficiente até o pico da estiagem, o rio São Francisco poderia vir a secar (PERNAMBUCO, 2016b).

Foi percebido que essa crise teve seu efeito intensificado pela ausência de preparação prévia para a convivência com a seca, pois não houve racionamento do uso da água, tampouco conscientização socioambiental antes da chegada desse período crítico – medidas que, outrora, foram capazes de reduzir os efeitos negativos da crise hídrica, em 2001, por exemplo. Assim, ficou evidente a necessidade de incorporação de medidas de consumo consciente dos recursos hídricos na cidade e a conscientização da população para a adoção de estratégias sustentáveis, como o aproveitamento de água das chuvas e a redução da demanda de água no espaço urbano (PERNAMBUCO, 2015). Felizmente, a crise hídrica iniciada em 2015 foi superada em 2020 (PERNAMBUCO, 2020) e o reservatório chegou ao nível máximo da sua capacidade em abril de 2022 (CHESF, 2022). Entretanto, o discurso que existiu em época de tensão não deve ser esquecido, sendo indispensável que o município siga respeitando as diretrizes do desenvolvimento sustentável.

Outro quesito da ODS que também faz relação com a preservação deste recurso natural é a terceira meta do Objetivo 6, que trata a respeito da qualidade da água e da redução da poluição nos corpos hídricos, onde é almejada a eliminação do despejo e a minimização da liberação de produtos químicos e materiais perigosos. A meta ambiciona reduzir pela metade a proporção de águas residuais não tratadas. O indicador utilizado para avaliar o alcance da meta é a proporção de águas residuais tratadas com segurança e a proporção de corpos d'água com boa qualidade. Observando o recorte da cidade de Petrolina (PE), é possível perceber um certo avanço no sistema de esgotamento sanitário da cidade. Em 2014, houve modernização de uma das ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) da cidade, o que garantiu um aumento de 80% no índice de cobertura do esgotamento da cidade. Além disso, foram executadas, em 2017, intervenções em dois bairros centrais da cidade (Centro e Areia Branca), implantando nova rede coletora e identificando os pontos de lançamento irregular de esgoto (canais e galerias de água pluvial). Além disso, segundo a Concessionária, já foi realizada a retirada dos esgotos clandestinos na Orla I e Orla II da cidade (COMPESA, 2017a). O esgotamento sanitário da Orla I também sofreu melhorias em 2020, quando a ETE (centro II) foi ampliada e passou a receber efluentes de bares e restaurantes da região (COMPESA, 2020). Em 2021, também houve obras de ampliação do sistema de esgotamento sanitário, onde foram implementados ramais e redes coletoras de esgotos e estação de bombeamento, os quais trouxeram benefícios para 4 bairros da cidade (COMPESA, 2021). Segundo SNIS (2022), entre 1988 e 2020, a rede de água duplicou de tamanho (passando a ter extensão igual a 1.019,91km em 2020), enquanto a rede de esgoto triplicou de tamanho (passando a ter extensão igual a 669,02km). Todas essas intervenções realizadas no município contribuem positivamente para a correta distribuição de água e destinação final dos efluentes (e conseqüente redução da poluição dos corpos hídricos).

Entretanto, ainda que tenha ocorrido nos últimos anos intervenções positivas no esgotamento da cidade, ainda existe um grande volume de esgoto urbano lançado no Rio São Francisco de forma irregular, o que é extremamente nocivo à saúde ambiental e traz vivíveis dados à paisagem e composição da cidade, impedindo o pleno usufruto pelos residentes. As margens do trecho do rio que contorna a orla da cidade são marcadas quase inteiramente pela presença de macrófitas emergentes da espécie *Eichhornia crassipes* (Figura 37), conhecidas popularmente como Baronesas, uma vegetação que se alimenta da matéria orgânica dos esgotos (CAMILO; MAGALHÃES; SANTOS, 2017). O crescimento dos bancos de macrófitas aquáticas nas margens do rio interferem na composição do espaço, dificultam o acesso ao corpo

d'água e expõem um descontrole no aporte de nutrientes, decorrente do lançamento in natura dos esgotos urbanos, evidenciando a poluição corrida nos corpos d'água (POMPÊO, 2017).

Figura 37 - Crescimento dos bancos de macrófitas aquáticas nas margens do Rio São Francisco



(Fonte: Autora, 2022)

A presença de efluentes nos corpos hídricos e a floração de macroalgas do local é assunto de estudo para alguns autores, a exemplo de Dias, Dinarco e Martins (2022), os quais avaliaram a qualidade microbiológica das águas da Orla Fluvial do município. Os autores constataram elevada concentração de coliformes termotolerantes e bactérias *Escherichia coli*, em teor acima do limite permitido pela resolução CONAMA 274/2000, classificando o local como passível de interdição, impróprio para realização de atividades recreativas. Esta pesquisa também investigou a percepção ambiental dos banhistas quanto à qualidade das águas através de entrevistas. De 40 entrevistados, 77% classificou a água como péssima ou ruim, 53% alegou associar a má qualidade do manancial à presença de lixo ou esgoto e a cor da água e 20% afirmou já ter sofrido com irritação, infecção ou diarreia após tomar banho em alguma região do Rio São Francisco. Nenhum dos entrevistados alegou ter conhecimento de qualquer pesquisa realizada a respeito da balneabilidade da Orla Fluvial do município (DIAS; DINARCO; MARTINS, 2022).

Pesquisa realizada por Reis, Abrahão e Moura (2018) também demonstrou considerável insatisfação da população quanto à qualidade das águas do Rio São Francisco. No estudo, 99% dos 77 moradores, residentes ou frequentadores entrevistados alegam a inexistência de preservação do rio e comentam terem percebido problemas de descarte de lixo e esgoto na região. Outros estudos também foram realizados a respeito da relação entre presença de microorganismos patogênicos com o descarte de efluentes sem tratamento prévio no rio, a

exemplo de Silveira et al. (2020) e Dias (2018). Segundo levantamento bibliográfico realizado por Andrade e Galhardo (2021), as cidades de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA) são agentes ativos na poluição do rio São Francisco, onde ainda ocorre lançamento direto de efluentes não tratados e descarte de lixos nos córregos. Tais problemas prejudicam o ecossistema e a qualidade de vida da população, conflitando diretamente com a terceira meta do Objetivo 6, que tem como indicadores a proporção de águas residuais tratadas com segurança e a proporção de corpos d'água com boa qualidade da água ambiente, evidenciando que a cidade ainda se depara com desafios relativos ao assunto. É importante, dessa forma, que sejam tomadas medidas socioambientais que minimizem os impactos até então causados e contribuam com o desenvolvimento sustentável.

No intuito de se entender melhor o saneamento da cidade e seu avanço frente aos ODS, foi observada a Série Histórica da cidade de Petrolina (disponibilizada pelo Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento), os Indicadores da cidade (segundo o Painel Saneamento Brasil) e o Estudo de Perdas de Água do Instituto Trata Brasil de 2022, discutidos no tópico que segue.

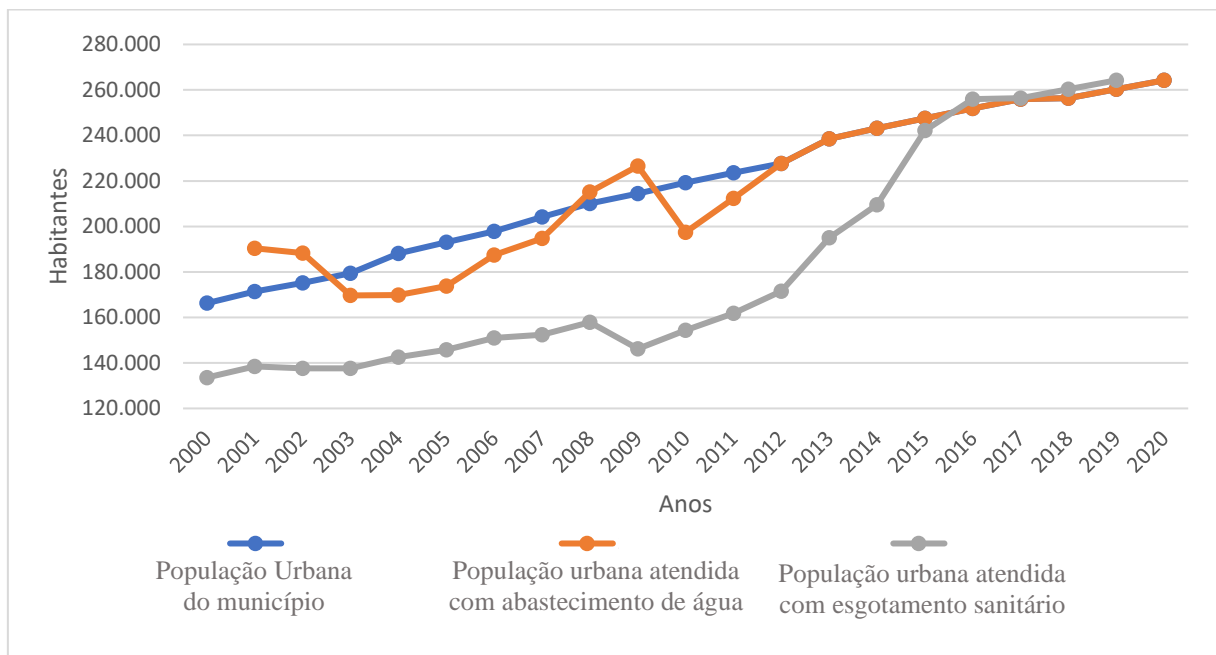
4.1.1.2 Saneamento de Petrolina (PE)

De acordo com a Séria Histórica de saneamento do município (SNIS, 2022), em 21 anos (de 1999 a 2020), o consumo de água da cidade cresceu em 255% (um aumento equivalente a $8,5 * 10^6$ m³ anual). O aumento no valor do consumo deu-se por dois motivos: (1) em 1999 nem toda a população do município era abastecida com água (o que só passou a ocorrer a partir de 2016); (2) houve crescimento populacional (aumento de 107.415 habitantes, proveniente de um crescimento de 168,5% do valor inicial). Não houve, entretanto, mudança nos padrões de consumo da população, uma vez que o consumo per capita dos habitantes apresentou valores muito próximos entre os anos, com uma média de 104,3 l/hab/dia (o valor observado em 2020 foi 108,8 l/hab/dia). Segundo IBGE (2020a), este valor está abaixo da média brasileira (116 L/hab/dia) e acima da média nordestina (83 L/hab/dia), de acordo com levantamento de 2017.

Segundo o Índice de Atendimento Urbano de Esgoto informado pelo SNIS (2022), desde 2012 toda a população urbana residente é atendida com abastecimento de água e, em 2017, passou a ser também completamente atendida com esgotamento sanitário, Figura 38. Tais dados são os que justificam o alcance dos indicadores referentes ao atendimento com serviço de água e esgoto (tratados nas metas 1 e 2 do Objetivo 6). O mesmo nível de atendimento não

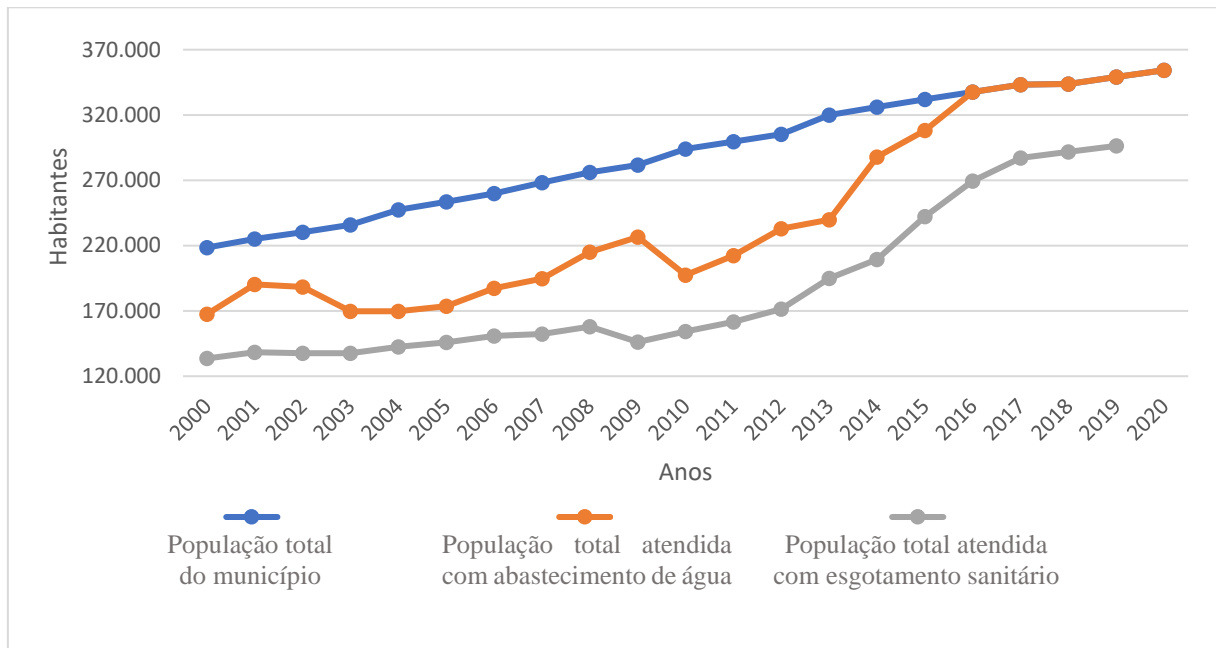
ocorre quando observada a população como um todo (considerando também a população residente na zona rural), onde apenas o abastecimento de água atende a população em completude, desde 2016, Figura 39. Segundo o Instituto Trata Brasil, em 2015, 23.630 pessoas ainda não tinham acesso à água no município (um valor equivalente a 7,1% da população).

Figura 38 - População urbana residente e atendida com água e esgoto em 20 anos



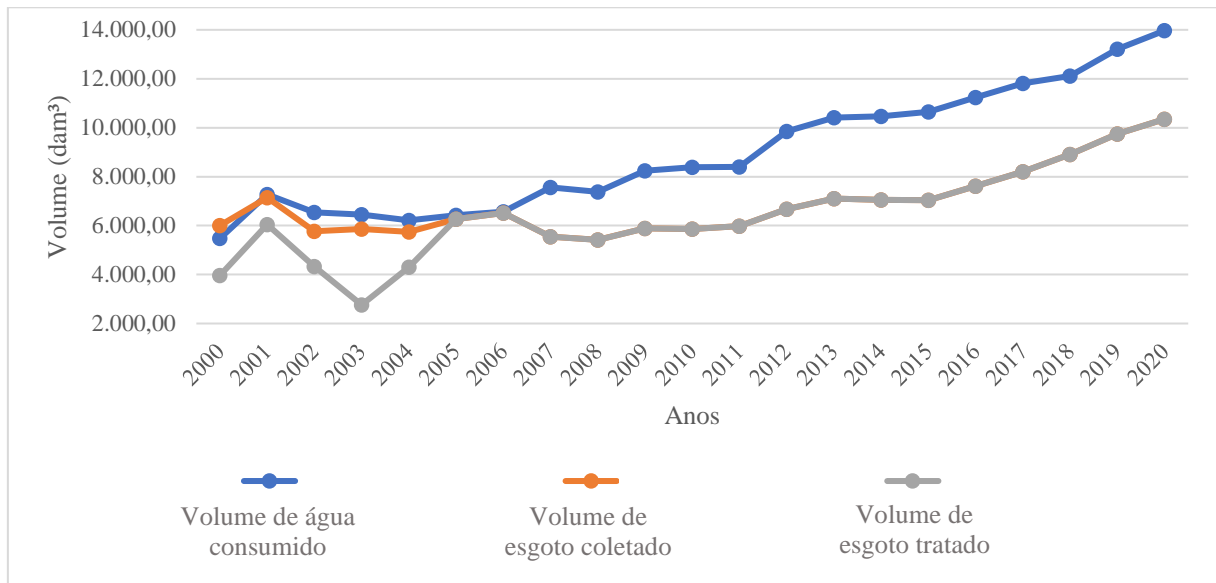
Obs.: os dados de população urbana do município que serviram de base para o gráfico estão baseados em estimativas do IBGE, enquanto os dados referentes à população urbana atendida com abastecimento de água são baseados em levantamento da própria Secretaria Nacional de Saneamento (SNS), por isso há conflito entre as linhas do gráfico.

(Fonte: SNIS, 2022)

Figura 39 - População total residente e atendida com água e esgoto em 20 anos

(Fonte: SNIS, 2022)

Quando observado o percentual de volume de esgoto coletado frente à água consumida, em 2020, Petrolina (PE) apresentou um percentual igual a 74,12%, demonstrando que 25,88% da água consumida não retorna ao sistema de esgotamento sanitário. Entre 2000 e 2020, o volume de esgoto coletado aumentou em 172% (um crescimento equivalente a $4,3 * 10^6$ m³ anual) e, desde 2005, todo o volume de esgoto coletado é tratado, Figura 40 (SNIS, 2022). Foi possível observar, no decorrer dos anos, uma melhoria tanto no abastecimento de água quanto no esgotamento sanitário. As mudanças ocorridas ao longo do tempo na extensão dos problemas relacionados à água se comunicam fazem parte de um dos indicadores do Objetivo 6, referente à proteção e restauração dos ecossistemas, o que demonstra um comportamento positivo do município quanto ao atendimento do Objetivo.

Figura 40 - Água consumida, esgoto gerado e tratado em 20 anos

(Fonte: SNIS, 2022)

É importante ressaltar que, embora a cidade tenha demonstrado um desenvolvimento positivo quanto à busca pela sustentabilidade, há também os aspectos que ainda carecem de melhoria. Observou-se que, em 2020, as metas traçadas no Plano Municipal de Saneamento de Petrolina PE (2019) não estavam sendo alcançadas, no que se refere tanto ao abastecimento de água quanto ao esgotamento sanitário (SNIS, 2022). Este Plano visa o atendimento da população de forma integral e engloba diversos serviços de saneamento básico, listando como objetivos gerais o correto abastecimento de água e esgotamento sanitário, a eficiência e sustentabilidade econômica; o uso de tecnologias apropriadas, o alcance da segurança, qualidade e regularidade e a universalização ao saneamento básico da cidade (PPSEC, 2019).

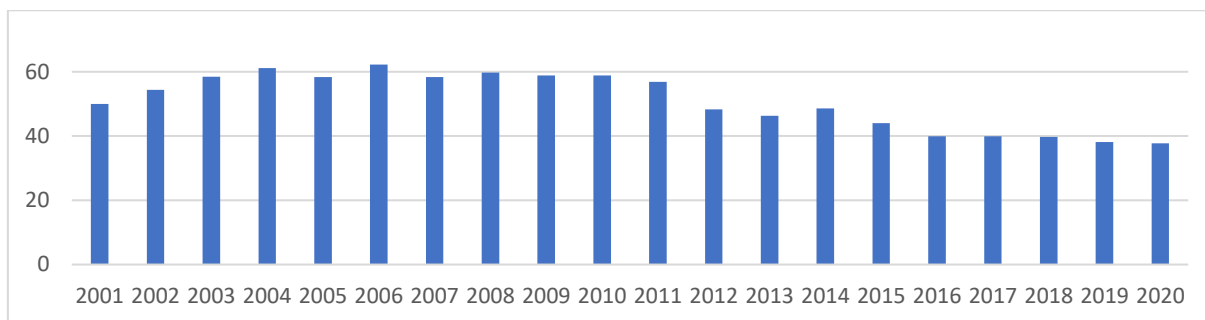
Dessa forma, observando os aspectos que poderiam estar contribuindo para o não atendimento do Plano, tem-se, por exemplo, a ocorrência de paralizações do abastecimento. Desde 2016, a cidade sofre, anualmente, em média de 33 paralizações com duração média de 13,4 horas, as quais têm atingido em média 6.426 economias por ano. A cidade apresenta uma ocorrência média de 35mil reclamações ou solicitação de serviço por ano (SNIS, 2022). Observou-se inúmeras publicações da concessionária com informativos de tais paralizações do abastecimento de água da cidade, em maioria emergenciais e algumas programadas (em menor número). A empresa justifica as paralizações alegando a necessidade de manutenção e reparos de vazamentos na rede, bem como de obras de interligação. Essas interrupções de abastecimento repercutem nas residências, nas unidades de saúde, escolas e creches municipais e já chegaram a afetar quase 60 bairros da cidade (PETROLINA, 2019b). Todos esses

problemas expõem uma gestão urbana falha e a inexistência de reservas alternativas que supram as demandas dos habitantes em casos de necessidade de intervenção no sistema.

Outro aspecto relevante a ser observado é em relação o Índice de Perdas na Distribuição¹⁵ (IN049), o qual influencia diretamente na quantidade de água que chega à população, contribuindo com o desperdício hídrico ocorrido e expondo a necessidade de melhoria da eficiência do sistema de distribuição de água da cidade. O IN049 apresentado em 2020 pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), concessionária do município de Petrolina (PE), foi 49,8% (valor provavelmente influenciado pelos 172 demais municípios aos quais a COMPESA presta serviço), o 9º maior valor do indicador entre as demais prestadoras de serviço de saneamento de abrangência regional do país (SNS e SNIS, 2022).

Quando observada especificamente a realidade da cidade de Petrolina, o Índice de Perdas na Distribuição foi igual a 37,74% em 2020, um valor médio/alto segundo os limites de referência dos ODS (PSC, 2019), mas menor que todos os levantados nos demais anos, Figura 41, o que demonstra uma leve melhoria na rede de abastecimento do município no decorrer dos anos. Esta melhoria é também expressa pelo aumento de 12,22% ocorrido no índice de consumo de água no mesmo período, o qual determina a relação entre o volume consumido e o produzido, expondo a redução das perdas ocorridas na distribuição de água da cidade. Tais dados são um pouco melhores que as médias nacional, regional e estadual, uma vez que o índice de perdas na distribuição no estado de Pernambuco foi 49,86%, na Macrorregião Nordeste em 2020 foi 46,% em escala nacional foi 40,1%. A diferença existente entre os Índices de Perdas na Distribuição municipais e nacionais também ocorre em relação à média dos 100 maiores municípios do país (estando Petrolina PE na 77ª posição), igual a 36,32% (GO Associados, 2022a).

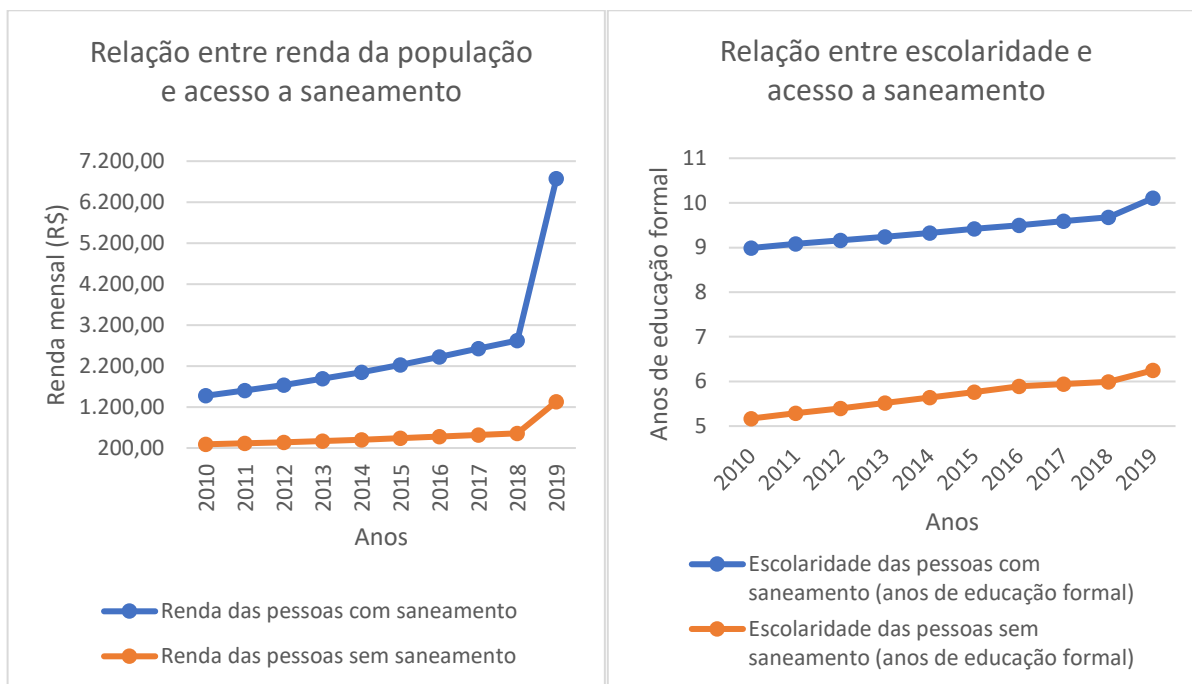
¹⁵ Calculado baseado nos volumes produzidos, consumidos e de serviço, afere a relação entre volume produzido e volume consumido.

Figura 41 - Índice de perdas na distribuição (%) de Petrolina PE

(Fonte: SNIS, 2022)

Embora o Indicador do município de Petrolina se mostre melhor que a média nacional, regional e estadual, ainda há um grande potencial de melhoria, uma vez que 11 municípios dos 100 maiores brasileiros atingiram valores abaixo de 25%, demonstrando níveis ótimos de perdas na distribuição. A redução das perdas melhoraria a eficiência hídrica, possibilitando maior disponibilidade de água para a população para um mesmo volume retirado dos mananciais e maior ganho econômico dos operadores. Por este motivo, o melhoramento deste indicador faz parte de uma das metas do Objetivo 6 do Desenvolvimento Sustentável, a qual limita em 12.1% o Índice de Perdas na Distribuição. Entretanto, é importante pontuar que este desafio não é apenas do município de Petrolina (PE), mas de todo o país, uma vez que apenas 2 municípios dos 100 maiores brasileiros apresentaram valor do Índice de Perda na Distribuição menor que 15% (GO ASSOCIADOS, 2022a).

Outro aspecto interessante a ser pontuado é o fim da defecação a céu aberto almejado pela meta 2 do Objetivo 6 (acesso ao saneamento e higiene para todos). Segundo o Instituto Trata Brasil (2022), a partir de 2016 deixou-se de existir em Petrolina (PE) moradias sem banheiro (em 2015 ainda existiam 46 unidades, o qual veio sofrendo decréscimo desde 2010, quando esse valor ainda era 3.704). A partir do Painel de Saneamento do município, foi possível perceber uma relação direta entre o acesso ao saneamento e classe social da população entre 2010 e 2019, Figura 42, o que expõe um problema social e evidencia certo distanciamento do que almeja a Agenda 2030: acesso equitativo e universal para todos.

Figura 42 - Relação entre classe social e acesso a saneamento

(Fonte: Trata Brasil, 2022)

Segundo o Ranking de Saneamento de 2022 do Instituto Trata Brasil (2022), Petrolina (PE) está na posição 33º entre os 100 maiores municípios brasileiros (em termos da população calculada pelo IBGE, 2020b). Esta classificação é realizada baseando-se nos indicadores de atendimento de água e de esgoto (total e urbana), de esgoto tratado referido à água consumida, de investimento por arrecadação, de novas ligações de água e de esgoto por ligações faltantes, de perdas no faturamento, de perdas na distribuição e de perdas volumétricas (GO Associados, 2022b).

Embora a cidade de Petrolina (PE) classifique-se como uma das melhores no quesito saneamento e possua pontuação relativamente alta no atendimento do Objetivo 6 (85,6), alguns desafios ainda devem ser enfrentados, havendo aqueles que aparentemente não têm sido considerados na avaliação (a exemplo do descarte de esgoto bruto nas águas fluviais). Assuntos como esses serão mais discutidos na escala do edifício.

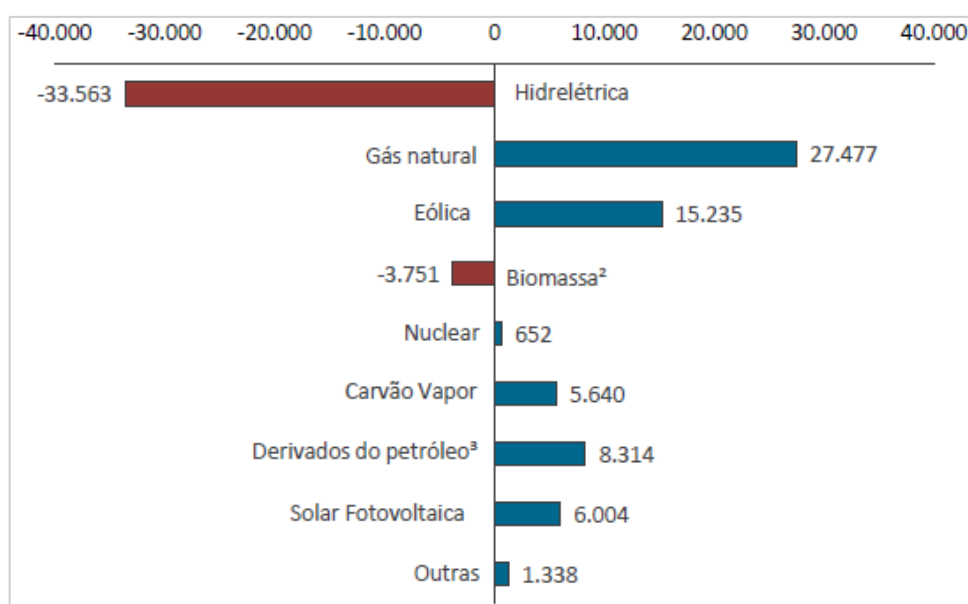
4.1.2 Energia

Segundo classificação do IDSC (2022), a cidade de Petrolina (PE) possui pontuação quanto ao progresso na realização do Objetivo 7 dos ODS (Energia Limpa e Acessível) igual a 60,9 (para uma escala de 0 a 100). O município atingiu o objetivo relativo ao acesso à energia elétrica

nos domicílios (com 99,21% dos domicílios com acesso à energia elétrica em 2020, frente ao limite de 99% estabelecido pela meta), mas ainda se depara com desafios significativos em relação à vulnerabilidade energética. Este quesito é avaliado segundo o grau de suscetibilidade de um sistema socioecológico aos efeitos das mudanças climáticas. O valor apresentado pela cidade em 2020 foi igual a 0,63, quando o limite máximo estabelecido pela meta é 0,47.

Os cenários de crise hídrica, por exemplo, repercutem diretamente na geração de eletricidade, em especial na realidade brasileira, onde 55% da energia gerada é proveniente de fontes hidrelétricas (base de dados de 2021). A redução do nível dos reservatórios das principais hidrelétricas do país provocou, em 2021, queda na produção de eletricidade por essa fonte, provocando o acionamento e uso de outras fontes para o suprimento da demanda energética. Observou-se, assim, entre 2020 e 2021, uma queda de 8,5% na geração de eletricidade de fonte hidrelétrica e um aumento de 46,2% de gás natural, 26,7% de eólica, 47,2% de carvão vapor, 92,3% de derivados de petróleo e 55,9% de fotovoltaica, Figura 43. Quando somadas todas as variações (aumentos e reduções) de geração por fonte, o percentual final de variação entre 2020 e 2021 é igual a 4,3%, o que evidencia a redistribuição de energia que ocorre em caso de redução ou paralização de alguma fonte, uma vez que a transmissão de energia nacional é interligada (EPE, 2022b).

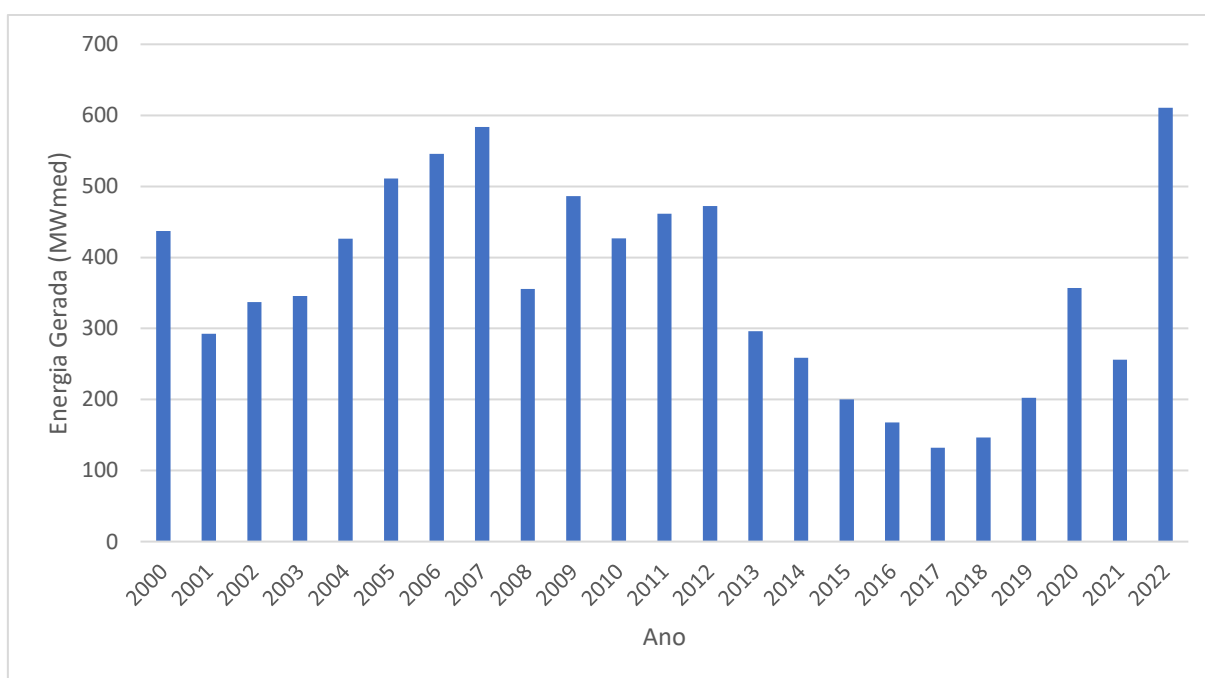
Figura 43 - Variação de Geração Elétrica em GWh entre 2020 e 2021



(Fonte: EPE, 2022b)

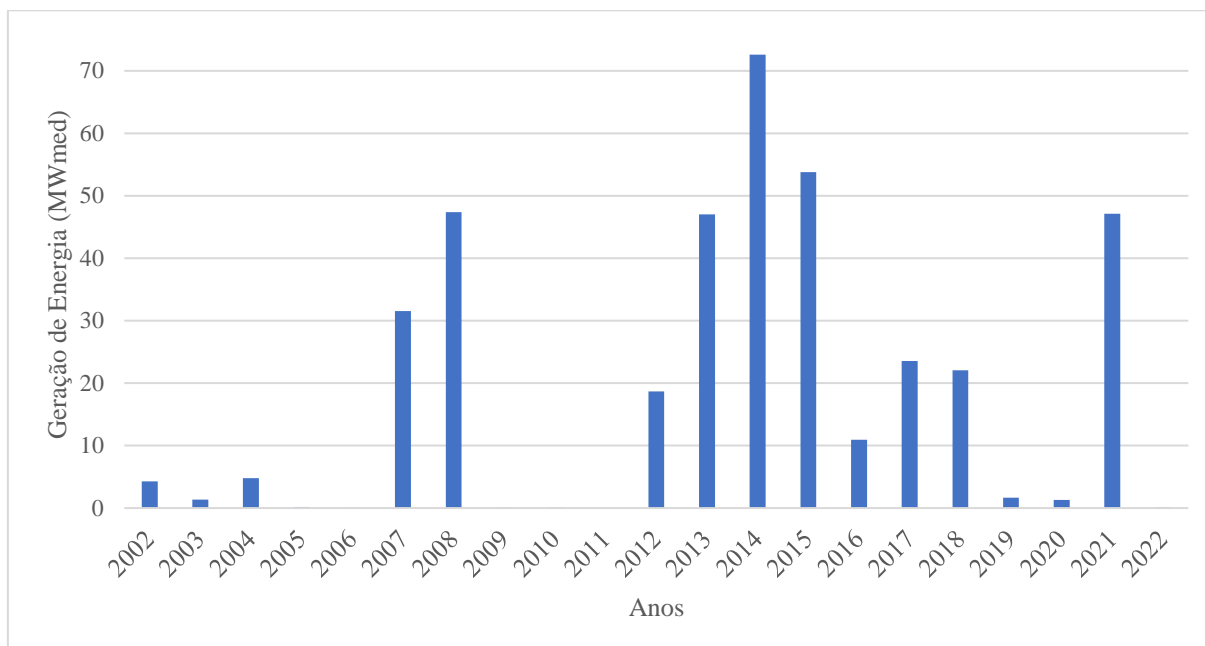
Assim, a crise hídrica que assolou a região semiárida em 2001 provocou a redução da vazão do reservatório da usina hidrelétrica de Sobradinho/BA (localizada a 55km do AP Petrolina/PE - Juazeiro/BA) e consequente queda na geração de eletricidade da usina (PENAMBUCO, 2016), como pode ser observado na Figura 44, onde está representada a demanda energética média requerida da usina segundo base horária fornecida pelo Operador Nacional de Sistema Elétrico (ONS, 2022).

Figura 44 - Geração Média da UHE Sobradinho



(Fonte: ONS, 2022)

A redução de geração ocorrida usina hidrelétrica de Sobradinho estimulou a busca por alternativas complementares de geração elétrica. A partir do Plano Emergencial de Termelétricas de 2002 a 2005, criado pelo Governo Federal, surgiu a Companhia Energética de Petrolina (CEP, 2016). Segundo a ANEEL (2022b), esta Companhia tem potência outorgada de 136.200 kW, teve início de vigência em 2002 e possui previsão para fim de vigência em 2032. Por não ser uma forma de geração elétrica das mais econômicas, aquelas que têm os menores custos são priorizadas (como fontes eólicas e solares), estando o seu funcionamento atrelado à necessidade e/ou valor de geração mínima contratado. O gráfico da Figura 45 expõe a demanda energética média requerida da CEP segundo base horária fornecida pelo Operador Nacional de Sistema Elétrico (ONS, 2022).

Figura 45 - Geração Média Anual da Companhia Energética de Petrolina

(Fonte: ONS, 2022)

A geração de eletricidade por meio de usinas termelétricas, além de ter um custo de produção mais elevado, tem maior carga poluidora, devido à emissão de poluentes no seu processo de combustão, como o dióxido de carbono (CO_2), os materiais particulados, os óxidos de nitrogênio (NO_x), os óxidos de enxofre (SO_2 e SO_3) e outros (IEMA, 2016). O acionamento de usinas termelétricas em situações de escassez hídrica é fato comumente observado no Brasil, o que repercute negativamente na participação de renováveis na matriz energética nacional. Observou-se que, em 2021, a geração termelétrica avançou em 24% (EPE, 2022).

É importante pontuar, entretanto, que na cidade há também contribuições energéticas de outras fontes, uma vez que o sistema é interligado. Assim, a energia demanda pelo AP Petrolina/PE – Juazeiro/BA, igual a $139,1\text{MWh}^{16}$, pode ter contribuição de usinas de origem solar, eólica, fóssil e biomassa, além da hídrica já mencionada (EPE, 2022c). A Tabela 4 expõe algumas usinas existentes nas cidades de Petrolina (PE), Juazeiro (BA) e Sobradinho (BA) e seus respectivos valores de Potência Outorgada (ANEEL, 2022).

¹⁶ Demanda de Energia da cidade para o seguinte cenário de simulação: patamar de Carga Média, ano de projeção 2025, época do ano verão.

Tabela 4 - Usinas em Petrolina (PE), Juazeiro (BA) e Sobradinho (BA)

<i>Empreendimento</i>	<i>Fonte</i>	<i>Combustível Final</i>	<i>Potência Outorgada (KW)</i>	<i>Município</i>
<i>Cencosud - GBarbosa - 131</i>	<i>UTE</i>	<i>Óleo Diesel</i>	<i>100,00</i>	<i>Petrolina (PE)</i>
<i>Petrolina</i>	<i>UTE</i>	<i>Óleo Diesel</i>	<i>136.200,00</i>	
<i>Cencosud - GBarbosa - 125</i>	<i>UTE</i>	<i>Óleo Diesel</i>	<i>360,00</i>	<i>Juazeiro (BA)</i>
<i>Cencosud - GBarbosa - 133</i>	<i>UTE</i>	<i>Óleo Diesel</i>	<i>736,00</i>	
<i>Agrovale</i>	<i>UTE</i>	<i>Bagaço de Cana de Açúcar</i>	<i>16.000,00</i>	
<i>Atacadão SA Juazeiro</i>	<i>UTE</i>	<i>Óleo Diesel</i>	<i>720,00</i>	
<i>Cencosud - M. Rodrigues - 607</i>	<i>UTE</i>	<i>Óleo Diesel</i>	<i>1.200,00</i>	
<i>Juazeiro Solar I a IV</i>	<i>UFV</i>	<i>Radiação Solar</i>	<i>120.000,00</i>	
<i>Juazeiro V a VIII</i>	<i>UFV</i>	<i>Radiação Solar</i>	<i>157.077,00</i>	
<i>Sol Moradas Salitre e Rodeadouro</i>	<i>UFV</i>	<i>Radiação Solar</i>	<i>2.103,00</i>	
<i>Velho Chico (Fazenda AMCOS)</i>	<i>UFV</i>	<i>Radiação Solar</i>	<i>46.550,00</i>	
<i>Pedra do Reino (III a IV)</i>	<i>EOL</i>	<i>Cinética do Vento</i>	<i>64.000,00</i>	
<i>Sobradinho</i>	<i>UHE</i>	<i>Potencial Hidráulico</i>	<i>1.050.300,00</i>	

UTE: Usina Termelétrica de Energia; UHV: Usina Fotovoltaica; EOL: Usina Eolielétrica

(Fonte: ANEEL, 2022).

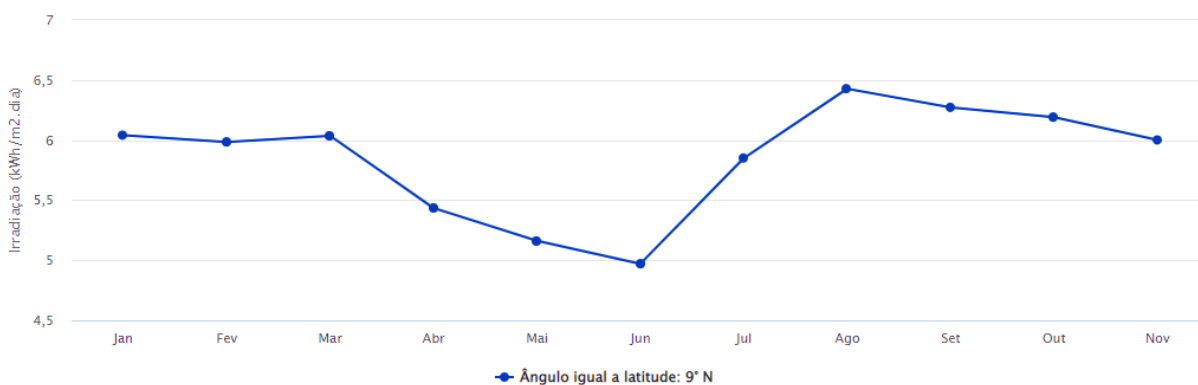
Tal qual ocorreu na crise hídrica de 2001, a crise hídrica da Bacia do São Francisco que se iniciou em 2015 (considerada a maior dentre todas as demais) também trouxe repercussões energéticas, uma vez que o volume útil do reservatório da Usina de Sobradinho foi reduzido para 2,02% (PENAMBUCO, 2016a). O impacto causado na geração elétrica desta usina no período da grande crise hídrica, bem como sua recuperação, é facilmente reconhecível no gráfico da Figura 44. Assim, embora a crise tenha sido superada em 2020 (PERNAMBUCO, 2020) e o reservatório de sobradinho tenham chegado ao nível máximo da sua capacidade em 2022 – marca alcançada pela última vez em 2009 (CHESF, 2022) - atenção especial deve ser dada ao assunto. A cidade localiza-se no Submédio do São Francisco, é marcada por clima semiárido e possui, naturalmente, balanço hídrico negativo, resultante da impossibilidade de satisfazer todas as demandas, considerando a disponibilidade (BETTENCOURT et al., 2016).

Dessa forma, Petrolina (PE) estará, constantemente, exposta aos riscos associados às crises hídricas.

Dessa forma, é interessante que sejam pensadas alternativas de geração de eletricidade que, respeitando os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, contribuam com a demanda energética da cidade. A terceira meta do Objetivo 7 (garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos) almeja o aumento substancial da participação de energia renovável no mix global de energia. A cidade de Petrolina (PE) possui vantagem considerável quando à possibilidade de geração de energia através do uso de módulos fotovoltaicos e de aquecimento de água através de painéis solares, uma vez que possui elevados valores de radiação média (5,8 kWh/m², segundo CRESESB, 2022), insolação diária e de temperatura média da região, 7,8h e 30°C, respectivamente (CHESF, 2019).

Através do dado de latitude e longitude de Petrolina PE (09°23'55" Sul, 40°30'03" Oeste, respectivamente), foi possível gerar o gráfico da Figura 46, onde está representada a irradiação anual da cidade em plano inclinado (igual à latitude da cidade), segundo informações da Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB, 2022).

Figura 46 - Irradiação Solar de Petrolina (PE) no plano inclinado

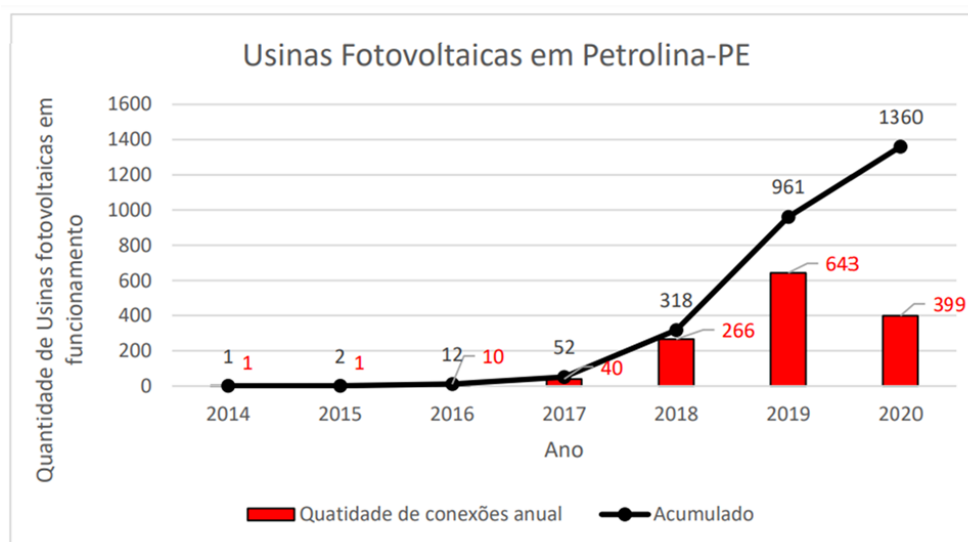


(Fonte: CRESESB, 2022)

Por meio da Figura 46, é possível observar que, a irradiação solar em Petrolina (PE) é elevada durante todo o ano, tendo maior destaque entre os meses de agosto e março, o que justifica a crescente incorporação de sistemas fotovoltaicos nas residências da cidade. De acordo com Souza e Lima Junior (2020), quando somadas as potências instaladas em todos os domicílios que fazem uso de placas solares na cidade, obtém-se um valor acima de 12,2 MW, o que pode evitar a emissão mensal de aproximadamente 133,5 toneladas de CO₂ na atmosfera.

Foi observado um crescimento acentuado do uso desse sistema nas residências da cidade, chegando a um total de 1360 usuários em 2020, como pode ser observado na Figura 47 (SOUZA; LIMA JUNIOR, 2020).

Figura 47 – Uso de Energia Fotovoltaica nas residências em Petrolina PE



(FONTE: SOUZA; LIMA JUNIOR, 2020)

Segundo a EPE (2022b), em escala nacional, o setor residencial é responsável pela geração de 18,8 Mt de CO₂ equivalente (dos 440,4Mt das emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira), sendo possível perceber, assim, o impacto positivo que pode ser trazido pelo uso de energias renováveis no âmbito domiciliar. A crescente incorporação desse sistema no setor residencial e, por consequência, no espaço urbano também se relaciona positivamente com a terceira meta do Objetivo 7, a qual almeja, até 2030, expandir a infraestrutura e atualizar tecnologia para fornecer energia moderna e sustentável para países em desenvolvimento. É importante ressaltar, entretanto, que a conscientização social é imprescindível para a incorporação de sistemas como esses nos espaços urbanos, uma vez que nem sempre a população tem ciência dos benefícios associados. Segundo a PPH (Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial 2019), por exemplo, 64,42% das famílias pernambucanas entrevistadas responderam que não utilizariam o sistema de aquecimento solar em seus domicílios, enquanto 88,60% responderam que não utilizaram sistema de aquecimento a gás (ELETROBRÁS, 2019).

A participação ativa do setor governamental é essencial para o estímulo da incorporação de tais práticas em escala urbana. Em Pernambuco, o sistema fotovoltaico comprado tem isenção

do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Assim, para a estimativa do período de retorno, é importante conhecer os incentivos governamentais, a fim de que seja realizado o cálculo considerando as possíveis reduções no investimento. Em Petrolina (PE), quem instalar módulos fotovoltaicos para gerar eletricidade poderá ter descontos de 50% e até 80% no Imposto sobre a Propriedade Territorial Urbana (IPTU) - benefício detalhado na lei municipal de nº 2.655, de 2014 (PERNAMBUCO, 2020).

A partir da exploração dos assuntos relacionados à água e à energia da cidade de Petrolina (PE), bem como sua situação frente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, optou-se por aproximar o recorte do estudo na escala do edifício, a fim de, através de um exemplo prático, entender melhor o que acontece no âmbito residencial da cidade.

4.2 Escala do edifício: estudo de caso

Como pôde ser observado, as interferências antrópicas tem influenciado diretamente nos impactos ambientais observados na bacia do São Francisco e na cidade de Petrolina (PE). Os baixos valores do Índice de Aridez expõem regiões do semiárido ao risco de desertificação, estando a cidade estudada entre as de maior vulnerabilidade. Riscos de mudanças climáticas como esses reduzem a resiliência ambiental em situações de escassez hídrica e comprometem o desenvolvimento sustentável das cidades, o que é fortemente agravado pela ausência de preparação prévia de convivência com a seca e influencia diretamente na geração de eletricidade nacional e regional.

A cidade de Petrolina (PE), embora apresente um percentual elevado de domicílios com energia elétrica, ainda se depara com desafios significativos quanto à vulnerabilidade energética, a qual se refere à suscetibilidade de um sistema socioecológico aos efeitos de mudanças climáticas. O aumento de uso de termelétricas decorrente da redução de geração hidrelétrica (ocasionada pelas secas), por exemplo, repercute negativamente na participação de renováveis na matriz energética nacional. Sabendo da parcela significativa que possui o setor residencial na geração de CO_2 equivalente, é intuitivo imaginar que o melhor aproveitamento dos elevados valores de radiação (para geração fotovoltaica) e de temperaturas (para aquecimento solar) da cidade de Petrolina (PE) poderia contribuir positivamente com o atual cenário.

Como já pontuado anteriormente, o segmento das edificações consome 51% da eletricidade do país, sendo o setor residencial (dentre setores comercial e público) o que tem demonstrado maior crescimento da demanda de eletricidade (PROCEL, 2021). Este setor possui considerável representatividade na escala urbana da cidade de Petrolina (PE), o que pôde ser percebido através do aumento de edificações residenciais ocorrido entre 2015 e 2020 (observado pelo crescimento horizontal da cidade e pelo aumento de economias residenciais ativas de água informado pelo SNIS no mesmo período, as quais fazem parte de 93,8% das economias ativas).

Percebe-se, assim, que o segmento das edificações, em especial o residencial, possui potencial considerável na melhoria da eficiência energética e hídrica de uma cidade, podendo contribuir consideravelmente no seu desenvolvimento sustentável. Uma melhor gestão da água e da energia, a incorporação de medidas socioambientais e a conscientização social no espaço urbano são imprescindíveis para a minimização dos impactos já gerados e a prevenção daqueles que poderiam vir a ocorrer. Assim, diante do cenário apresentado, levantou-se o questionamento do que poderia ser feito em âmbito domiciliar para contribuir positivamente para o alinhamento do desenvolvimento urbano com as metas traçadas pela Agenda 2030 da ONU.

A implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) requer a existência de políticas, planos e visões locais de desenvolvimento, uma vez que eles possuem natureza abrangente (NHAMO; DUBE; CHIKODZI, 2020). Dessa forma, além da aproximação local que investiga o panorama urbano, é interessante que seja explorada também a escala do edifício, onde encontra-se o consumidor final.

Uma ferramenta útil para a orientação e classificação do setor das edificações quanto ao nível de sustentabilidade é o uso de indicadores ambientais. Certificações ambientais locais contribuem positivamente com a melhoria do desempenho ambiental das edificações e dialogam diretamente com algumas das metas traçadas pela Agenda 2030 da ONU. O uso de certificações ambientais como GBC Brasil Casa, AQUA-HQE e Casa Azul + CAIXA, por exemplo, pode contribuir positivamente na orientação de padrões mais sustentáveis de projeto, construção e operação nas edificações residenciais, funcionando como regionalização das metas mundiais de sustentabilidade (KITA, 2018).

As medidas otimizadoras do consumo de água orientadas pelas certificações possuem relação direta com as metas do Objetivo 6 (Água Potável e Saneamento) dos ODS. A aspiração pela redução de águas residuais não tratadas e pelo aumento na reutilização são exemplos de

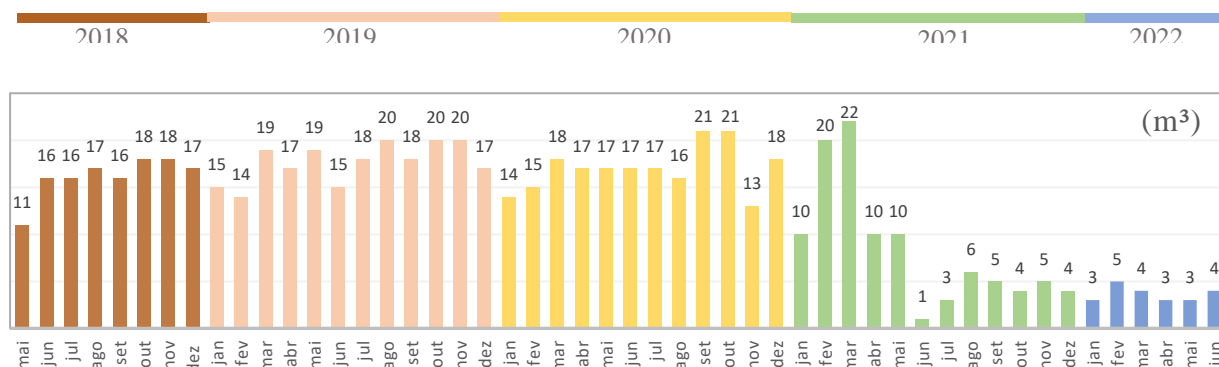
metas dos ODS que se relacionam com os indicadores referentes ao reuso de águas servidas, presente nas três certificações listadas acima. A melhoria na eficiência no uso da água e a redução da escassez de água (meta 4 do Objetivo 6 dos ODS) pode ser conseguida, em âmbito residencial, pela adoção de medidas economizadoras de água orientadas pelas certificações, a exemplo do uso de descargas de duplo-fluxo, equipamentos hidrossanitários eficientes, arejadores e redutores de vazão nos pontos de utilização. O aproveitamento de água da chuva, orientado pelas três certificações, também dialoga diretamente com as metas do Objetivo 6, bem como a incorporação de sistema de irrigação eficiente, a medição individualizada do consumo de água e o tratamento de águas servidas, presente na meta 3 do Objetivo 6. O alcance das metas 5 e 6 do Objetivo, referentes à gestão de água e do saneamento em todos os níveis e à participação das comunidades na sua melhoria, pode ser beneficiada pela atuação do consumidor final no seu domicílio.

Tal como ocorre com o quesito água, o quesito energia, presente no objetivo 7 dos ODS (Energia Limpa e Acessível), também pode ser fortemente beneficiado pelas orientações das certificações ambientais. A geração de energia renovável e o uso de fontes de aquecimento de água nas edificações (indicadores das três certificações) dialogam diretamente com a meta 2 do Objetivo 7, a qual almeja o aumento da participação de energia renovável no mix global de energia. O uso de lâmpadas e equipamentos eletrodomésticos eficientes, bem como a medição individualizada, a melhoria do desempenho da envoltória e a incorporação de estratégias bioclimáticas nas edificações orientados pelas certificações trazem benefícios consideráveis à melhoria da eficiência energética, tratada na meta 3 do Objetivo 7 dos ODS.

Os tópicos que seguem, assim, trazem resultados relativos à avaliação e proposta de melhoria no consumo de água e de energia da residência de estudo de estudo de caso, sob a perspectiva da sustentabilidade ambiental.

4.2.1 Água

A fim de ser ter uma noção inicial do padrão de consumo de água da residência de estudo de caso, foram observadas as contas mensais de água de maio de 2018 até os dias atuais. Como pode ser observado na Figura 48, houve uma queda abrupta consumo mensal em junho de 2021, uma redução de 77,2% no consumo (de maio de 2018 até maio de 2021 a média de consumo mensal era de 16,68m³, de junho de 2021 até junho de 2022 esse valor passou a ser 3,8m³).



(Fonte: Autora, 2022)

Sendo assim, o consumo por habitante da família era 139 L/dia e passou a ser 32 L/dia. Levantamento realizado pelo IBGE (2020a) acerca do uso de água das famílias per capita em 2017, demonstrou um consumo médio de 116 litros por habitante/dia no Brasil e 83 litros por habitante/dia no Nordeste, mais que o dobro do novo consumo da família. A diminuição do consumo foi ocasionada pela redução do fornecimento de água por parte da concessionária. Esta falha no abastecimento expôs a família a um cenário de escassez hídrica e obrigou a adoção de novos padrões de consumo.

Através da auditoria realizada, foi possível perceber, inicialmente, baixas vazões nos pontos de utilização, os quais apresentaram valores, em maioria, menores que os limites exigidos pelas certificações, Tabela 5.

Tabela 5 - Vazões dos aparelhos sanitários

Aparelho Sanitário	Ambiente	Vazão (L/s)	Valores de referência das certificações		
			AQUA-HQE	GBC Brasil Casa	Casa Azul + CAIXA
Lavatório	BWC Casal	0,0333	0,15 L/s	0,15 L/s	0,15 L/s (2 pontos) ou 0,10 L/s (3 pontos)
	BWC Filhas	0,0423			
	BWC Social	0,0588			
Tanque	Área de Serviço	0,1250	0,25 L/s	-	
Pia	Cozinha	0,0357	0,20 L/s	Entre 0,10 e 0,15 L/s	
Chuveiro	BWC Casal	0,0375	-	0,20 L/s	
	BWC Casal	0,1067			
	BWC Filhas	0,0367			
	BWC Social	0,3143			
	Jardim	0,3167			

(Fonte: Autora, 2022)

Os únicos pontos de utilização que apresentaram valores acima das vazões máximas exigidas pelos sistemas de certificação foram o tanque da área de serviço (para pontuação 3 do selo Casa Azul + Caixa), o chuveiro do banheiro social e do jardim (ambos para a certificação GBC Brasil Casa). Os demais valores demonstraram vazão muito abaixo daquele de referência para o uso racional da água. Isto, além de expor um cenário de redução da disponibilidade de água, demonstra a ausência de necessidade de incorporação de redutores de vazão nos pontos de utilização.

Além dos aparelhos listados na Tabela 5, tem também os equipamentos que funcionam em ciclos. Os volumes consumidos por eles estão listados na Tabela 6.

Tabela 6 - Volumes consumidos por ciclo

<i>Ambiente</i>	<i>Ponto de uso</i>	<i>Modo</i>	<i>Volume consumido</i>
Área de Serviço	Máquina de Lavar	<i>Ciclo Roupa de Cama</i>	<i>70 L</i>
		<i>Ciclo Mix</i>	<i>60 L</i>
BWC (todos)	Bacia Sanitária	<i>Descarga forte</i>	<i>5 L</i>
		<i>Descarga fraca</i>	<i>3 L</i>

(Fonte: Autora, 2022)

A família faz uso da máquina de lavar roupa numa frequência de 2 a 3 vezes na semana, padrão de uso observado em 33,47% das famílias estudadas na Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial (ELETROBRÁS, 2019). Esta pesquisa demonstrou que apenas 66,09% dos domicílios pernambucanos possuem máquina de lavar roupa, sendo a maioria de 10kg ou mais (sendo a máquina de lavar da residência de estudo de caso de 11kg).

Através do monitoramento realizado na residência e considerando as vazões dos pontos de utilização, bem como os volumes consumidos pelos equipamentos que funcionam em ciclos, foi possível caracterizar o consumo da família por dia e por horário, Tabela 7.

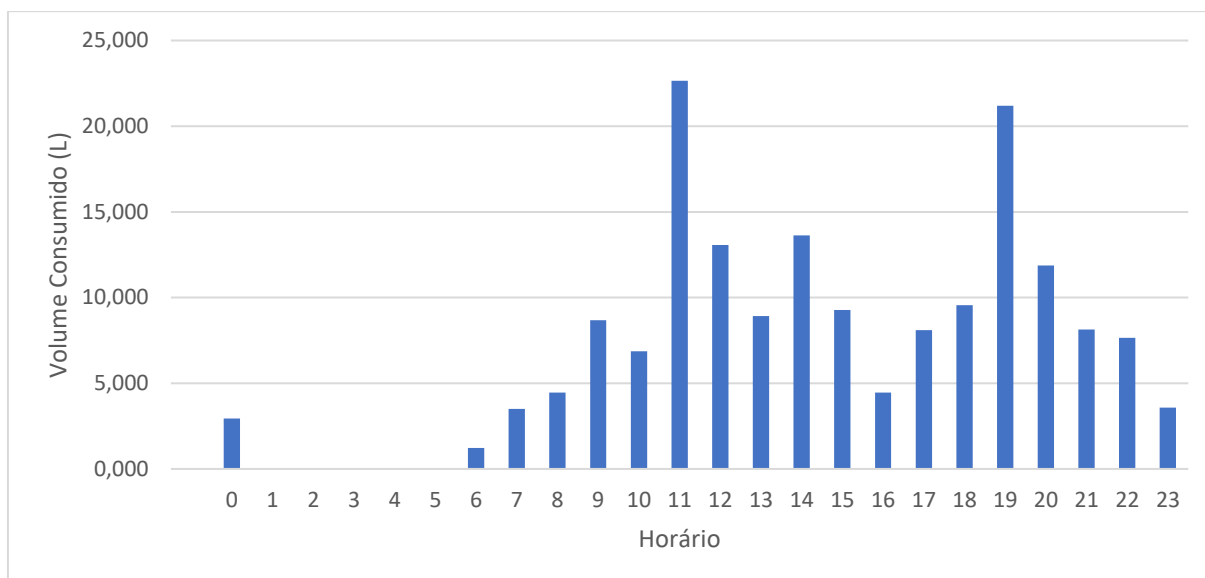
Tabela 7 - Consumo de água da família por dia e horário

Consumo de água (L)								
<i>Hora</i>	<i>Quinta-feira</i>	<i>Sexta-feira</i>	<i>Sábado</i>	<i>Domingo</i>	<i>Segunda-feira</i>	<i>Terça-feira</i>	<i>Quarta-feira</i>	<i>Média de consumo diário</i>
0	0,000	0,000	20,582	0,000	0,000	0,000	0,000	2,940
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	1,059	0,000	2,176	0,000	3,243	2,127	0,000	1,229
7	4,303	4,294	0,000	4,353	0,000	2,710	5,873	3,076
8	4,684	21,877	0,000	0,000	0,000	2,449	2,127	4,448
9	2,100	17,376	6,354	5,176	4,227	10,320	18,227	9,112
10	2,127	2,127	0,000	13,954	25,494	2,127	2,176	6,858
11	36,471	13,977	0,000	2,200	68,118	6,918	29,116	22,400
12	32,307	22,063	2,127	0,000	13,650	19,184	2,100	13,062
13	7,600	9,600	27,906	0,000	5,000	12,400	0,000	8,929
14	0,000	0,000	21,300	0,000	62,100	12,000	0,000	13,629
15	38,240	0,000	20,306	0,000	1,067	5,300	0,000	9,273
16	19,800	0,000	0,000	0,000	11,400	0,000	0,000	4,457
17	4,176	28,054	16,199	0,000	0,000	6,120	2,176	8,104
18	10,810	3,447	0,000	0,000	9,776	29,300	13,620	9,565
19	39,176	10,932	0,000	16,500	31,323	26,417	22,060	20,915
20	0,000	0,000	22,003	28,000	1,900	19,074	12,080	11,865
21	7,200	9,000	11,700	19,494	0,000	0,000	9,529	8,132
22	8,508	0,000	4,353	0,000	14,000	18,412	8,247	7,646
23	0,508	9,523	3,523	7,046	0,000	4,430	0,000	3,576
Total Diário	219,070	152,270	158,529	96,724	251,297	179,288	127,332	169,216

(Fonte: Autora, 2022)

Os consumos horários da Tabela 7 tem seus valores médios expostos na Figura 49. Por meio desse gráfico é possível perceber que os momentos de maior consumo estão concentrados no meio e no fim dia. Isso ocorre, provavelmente, devido ao horário padrão de banho e lavagem de louça da família. Uma vez que as duas filhas do casal estudam no turno da tarde, às 11h geralmente ocorre maior uso do banheiro (vaso, pia e chuveiro), bem como às 19h, horário em que elas retornam à casa e realizam a higienização. O mesmo ocorre com os pais da família, uma vez que seus horários estão adaptados ao das filhas.

Figura 49 - Média de consumo de água por horário



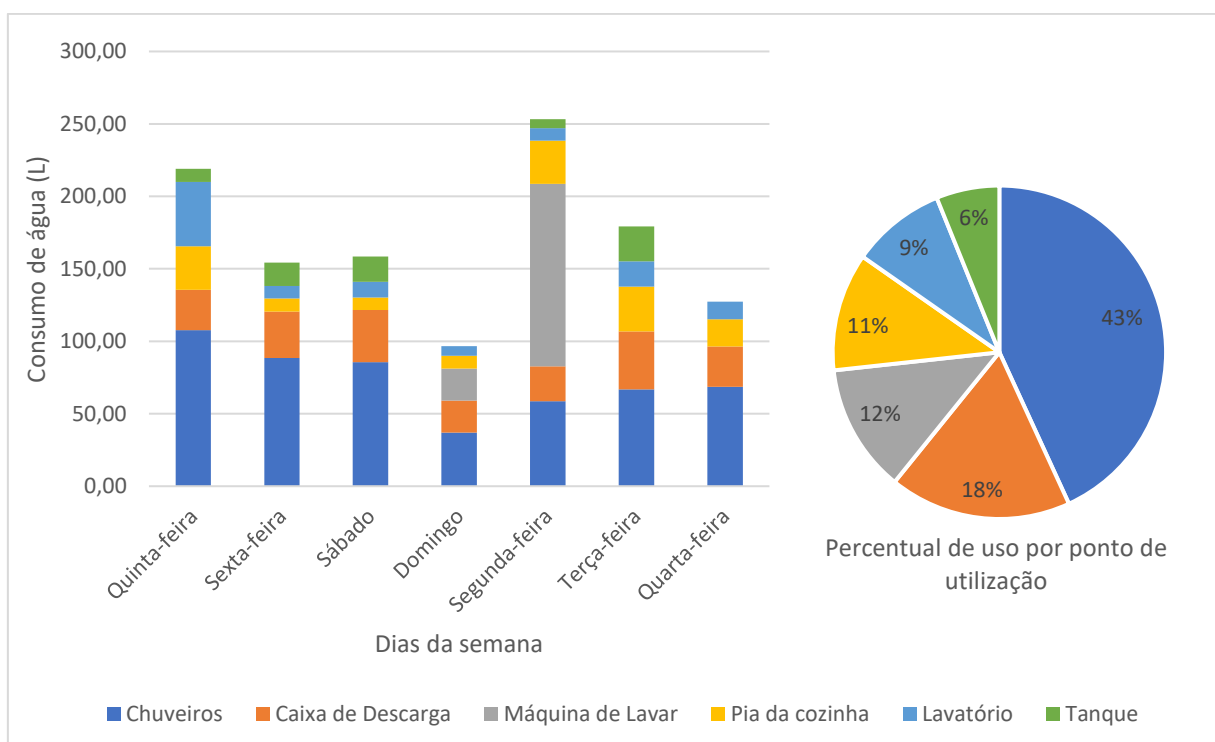
(Fonte: Autora, 2022)

Além da caracterização do consumo por horário, foi realizado também o detalhamento do consumo por ponto de uso, exposto na Tabela 8. Através do gráfico da Figura 50, é possível observar a representatividade que cada ponto de utilização tem no consumo final da residência, bem como o consumo de cada dia da semana. Como pode ser observado, o maior consumo de água é proveniente dos chuveiros, seguida do vaso sanitário e da máquina de lavar roupa e os dias que ocorrem menor consumo são o domingo e a quarta-feira. Isto pode ser explicado pelo fato da família geralmente se ausentar na maior parte do tempo nos domingos e do mesmo ter ocorrido na tarde desta quarta-feira. A aumento do consumo que se observa na quinta-feira e na segunda-feira provavelmente se deu devido à faxina e à lavagem de roupas que aconteceu nesses dias, respectivamente. É importante pontuar que o monitoramento ocorreu meio à pandemia da Covid-19 (outubro de 2021), por esse motivo, a família geralmente passava o dia inteiro em casa.

Tabela 8 - Consumo por ponto de uso separado por dia

Consumo de água (L)									
Ponto de uso	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Média	Percentual
<i>Chuveiros</i>	107,61	88,58	85,62	37,10	58,65	66,77	68,52	73,26	43%
<i>Caixa de Descarga</i>	28,00	32,00	36,00	22,00	24,00	40,00	28,00	30,00	18%
<i>Máquina de lavar roupas</i>	0,00	0,00	0,00	22,00	126,00	0,00	0,00	21,14	12%
<i>Pia da cozinha</i>	29,87	9,00	8,67	9,00	29,80	31,07	18,67	19,44	11%
<i>Lavatório</i>	44,60	8,60	10,83	6,62	8,55	17,45	12,15	15,54	9%
<i>Tanque</i>	9,00	16,19	17,41	0,00	6,30	24,00	0,00	10,41	6%

(Fonte: Autora, 2022)

Figura 50 - Consumo diário de água por ponto de uso

(Fonte: Autora, 2022)

Observa-se, assim, uma priorização dos consumos essenciais. Segundo a família, com a redução do fornecimento de água, alguns hábitos precisaram se adequar ao cenário de escassez.

A família deixou de encher uma piscina plástica de 2m³ que antes era de uso semanal das crianças; a grama deixou de ser irrigada e morreu (Figura 51a); algumas plantas passaram a ser abastecidos com águas residuárias da máquina de lavar e do tanque da área de serviço (a família reserva a água de reuso através de balde deixado abaixo das saídas de água, Figura 51b); os ocupantes passaram a fazer uso da descarga de 3L, através do dispositivo de acionamento duplo; o filtro de água só é utilizado nos dias à noite, quando apresenta vazão suficiente para encher os recipientes, uma vez que geralmente apresenta vazões baixíssimas (0,0001 L/s no dia monitorado), Figura 51c. Segundo a família, já chegou a ser necessária compra de água mineral para evitar a falta de água para beber na residência.

Figura 51 - Cenário de escassez de água



(a) Grama morta por falta de água; (b) Armazenamento de água utilizada no tanque para irrigação de jardim; (c) Filtro de água com baixa vazão

(Fonte: Autora, 2022)

O motivo do filtro apresentar vazões baixas está no fato dele ser abastecido diretamente pela água que chega da rua e não pela caixa d'água da residência. O mesmo ocorre com a torneira do jardim, com a pia da cozinha e com a cisterna enterrada (Figura 52) que, além de sofrerem com a baixa vazão, estão suscetíveis à acumulação de sedimentos, uma vez que a água chega com turbidez considerável, Figura 53a (tal problema ocasiona o recorrente entupimento do filtro, bem como do arejador da torneira da cozinha, Figura 53b). Apesar desta residência receber água da concessionária com turbidez considerável, segundo SNIS (2022), o valor apresentado de *Incidência das análises de turbidez fora do padrão* do município, em 2020, foi de apenas 0,89% (percentual dado pela relação entre quantidade de amostras com turbidez fora do padrão e total de amostras recolhidas no município). Com isso, infere-se que ou a residência

de estudo de caso é exceção no contexto municipal ou tem faltado levantamentos suficientes que expressem de forma fiel o percentual de ocorrências de turbidez fora do padrão na cidade.

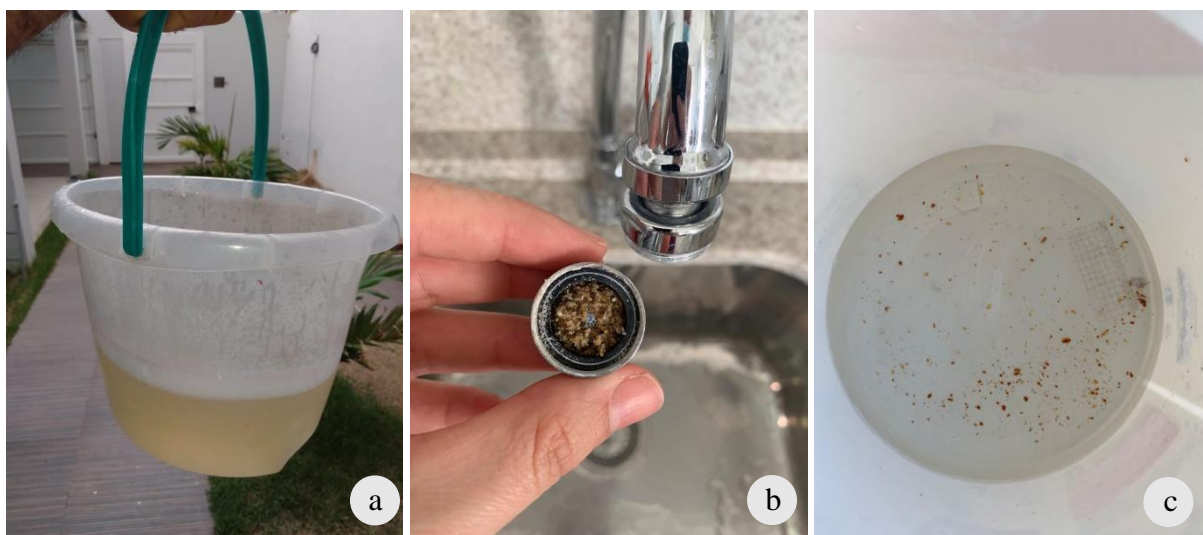
Figura 52 - Baixa vazão nos pontos de utilização ligados à rede de abastecimento



(a) Torneira do jardim; (b) torneira da pia da cozinha; (c) Cisterna enterrada com vazão igual a 0,01L/s.

(Fonte: Autora, 2022)

Figura 53 - Água de abastecimento com elevada turbidez e presença de sedimentos

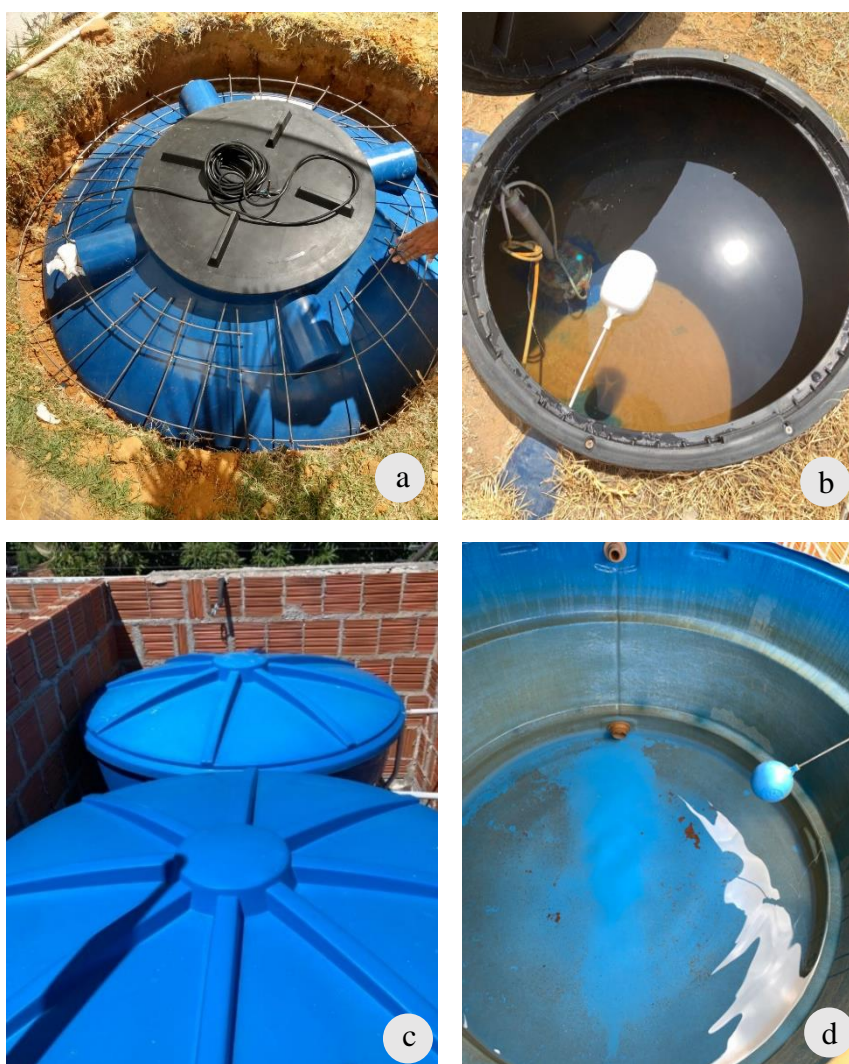


(Fonte: Autora, 2022)

A cisterna da residência foi construída em 2019 (Figura 54a e 54b), quando a família, mesmo antes da redução do fornecimento, sofria com a falta de água na caixa d'água instalada na laje do segundo pavimento, uma vez que a pressão de chegada da rede de abastecimento já

não era satisfatória e não chegava em quantidade suficiente para garantir a subida da água até a caixa d'água nos períodos diurnos. Assim, optou-se por construir uma cisterna enterrada a fim de possibilitar o recalque da água através de bombeamento, recurso que passou a ser utilizado praticamente todos os dias, acionado manualmente sempre que ocorria esvaziamento da caixa d'água. Entretanto, uma vez que o volume da cisterna é menor que os volumes das duas caixas d'água somados (Figura 54c), a caixa d'água raramente chega à sua capacidade máxima (Figura 54d).

Figura 54 - Cisterna enterrada e caixas d'água da residência



(Fonte: Autora, 2022)

É importante pontuar também que, ainda no início da ocupação da residência (2017), houve necessidade de readequação do sistema hidrossanitário. Alguns pontos que antes eram

abastecidos diretamente pela água da rua foram ligados à caixa d'água, como a bica do jardim, a fim de garantir a pressão necessária nesse ponto de utilização.

Frente à precariedade de abastecimento de água na residência de estudo de caso, achou-se relevante investigar a representatividade desta edificação na cidade em que está localizada. Assim, realizou-se um questionário online, divulgado entre moradores da cidade de Petrolina (PE), os resultados estão detalhados no tópico a seguir.

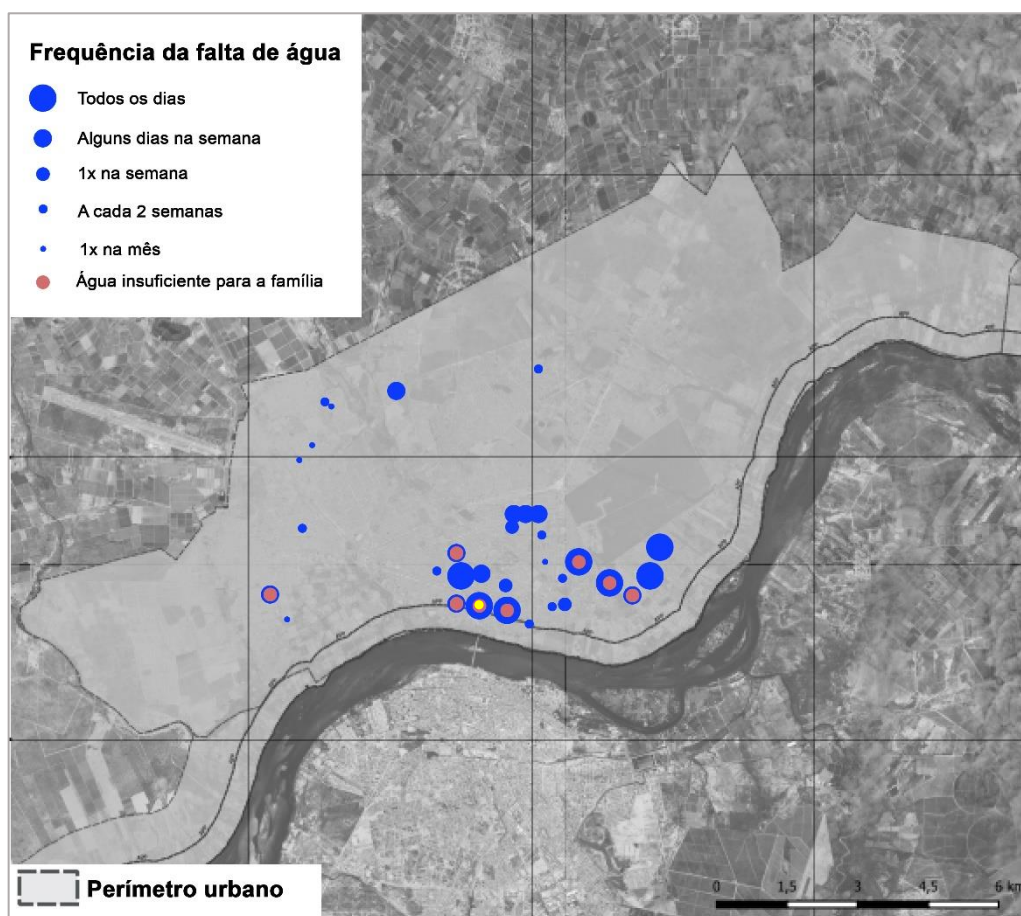
4.2.1.1 Deficiência no abastecimento

O questionário divulgado teve como enfoque principal a investigação da ocorrência (e frequência) de falta de água nas residências, bem como a suficiência do abastecimento para suprimento das necessidades da família. Além dessas questões, foram levantadas mais 25 perguntas que abrangeram os seguintes enfoques: localização da residência; padrão residencial; quantidade de ocupantes; existência de caixa d'água e/ou cisterna na edificação; pontos de consumo e quantidades; custo mensal da conta de água; e consumo de água. O questionário, divulgado por meio das redes sociais, foi respondido por 50 famílias.

O questionário deu acesso a informações de famílias moradoras de 23 bairros diferentes de Petrolina (PE) e 32 das 50 famílias alegaram sofrer com a falta de água devido ao abastecimento falho da cidade (65,4% dos entrevistados). Dentre as 32 famílias que informaram sofrer com a falta de água, 8 alegaram receber água em quantidade insuficiente para suprir a necessidade da família, sendo este o cenário mais preocupante e semelhante à realidade do estudo de caso.

A frequência de falta de água nas residências variou de “1 vez por mês” até “todos os dias” e a distribuição espacial das faltas na cidade está representada na Figura 55. Como pode ser observado na imagem, a região mais afetada pela falta de água é a central, onde está também localizada a residência de estudo de caso. Supôs-se que essa concentração seria devido ao maior adensamento do espaço urbano e conseqüente demanda hídrica dessa região quando comparada com as demais.

Figura 55 - Distribuição espacial das ocorrências de falta de água

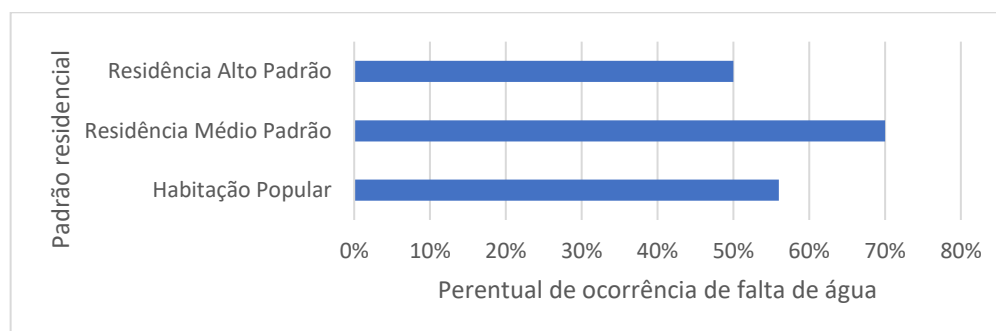


Notas: cada ponto representa uma família que respondeu ao questionário; residência de estudo de caso destacada em amarelo.

(Fonte: Autora, 2022)

Considerando os dados informados pelas famílias no questionário, os consumos per capita nas residências de médio padrão resultou numa média de 112L/hab.dia, enquanto nas habitações populares esse valor foi 130L/hab.dia. Isso demonstra um uso de água dentro dos padrões nacionais e regionais, uma vez que o valor médio de consumo no Brasil é 116L/hab.dia, enquanto no Nordeste é 83L/hab.dia (IBGE, 2020a). Já o consumo médio apresentado pelas famílias que alegaram não receber água em quantidade suficiente para suprir as necessidades foi de 74L/hab.dia, um valor abaixo dos padrões, mas ainda acima da residência de estudo de caso (42 L/hab.dia).

Através do questionário, foi possível observar também que as residências de médio padrão (o mesmo do estudo de caso) se mostraram mais suscetíveis às falhas no abastecimento, onde 70% dos casos estudados alegaram sofrer com falta de água. Em segundo lugar ficou a habitação popular, a qual apresentou falta de água em 56% dos casos, Figura 56.

Figura 56 - Ocorrência de Falta de Água por Padrão Residencial

(Fonte: Autora, 2022)

O questionário permitiu que fosse observada também a influência que pode ter o abastecimento da cidade no consumo dos residentes. Percebeu-se que há uma relação direta entre a redução de consumo e a ocorrência de falhas de abastecimento. As residências com ocorrência diária de falta de água apresentaram um consumo 18% menor que aquelas com menos de 2 episódios de falta de água por mês, representados por um consumo mensal per capita de 3,1m³ e 3,79m³, respectivamente. A fim de se investigar se a queda do fornecimento de água nessas residências ocorreu na mesma época do estudo de caso, perguntou-se às famílias há quanto tempo tem acontecido a redução. Não se obteve um padrão nas respostas, tendo elas se variado de 15 dias a 2 anos, havendo também famílias que alegaram ter sempre sofrido com esse problema.

Assim, optou-se por procurar por publicações da empresa que informassem sobre o abastecimento da cidade, crescimentos e entraves. Segundo a empresa, o saneamento da cidade vem sendo cada vez mais ampliado, com implantação de novos ramais de redes coletoras de esgoto, de estações de bombeamento e com a ampliação de estações elevatórias de esgoto (COMPESA, 2018a, 2019, 2020, 2021). A concessionária alega que houve um aumento de 80% no índice de cobertura de esgotamento sanitário na cidade, conseguido através da modernização da Estação de Tratamento de Esgoto, em 2014. Além disso, a COMPESA (2017) informa que houve um aumento da oferta de água através da implantação, em 2015, do SAS Vitória, um novo Sistema de Abastecimento de Água da cidade, o qual beneficiou 60% da população. De acordo com dados de 2016 (últimos disponibilizados pela concessionária), 88% da população urbana era atendida por Sistema de Esgotamento Sanitário, enquanto 100% da população era abastecida por água tratada (COMPESA, 2016). Segundo o Instituto Trata Brasil, tais valores fizeram de Petrolina uma das 15 cidades com melhor índice de saneamento básico do Brasil, entre os 100 maiores centros urbanos (COMPESA, 2018b). Entretanto, como pode ser notado

através do estudo de caso do presente trabalho, nas demais respostas ao questionário nas pesquisas regionais, há muito o que ser observado para além desses dados que expõem um aparente próspero desenvolvimento urbano.

É inegável a responsabilidade da concessionária no pleno fornecimento de água às residências que ela se propõe a abastecer e é responsabilidade social de todo cidadão cobrar pelos seus direitos e não se submeter a cenários precários de abastecimento. Entretanto, em realidades em que as famílias são submetidas a situações críticas de falta de água, há também o que pode ser feito por cada proprietário em seu domicílio particular, a fim de amenizar esse problema e otimizar o consumo, alternativa esta que é bem-vinda mesmo em cenário de pleno abastecimento. Assim, foram consideradas as orientações dos sistemas de certificações acerca do assunto para o estudo de caso em questão, detalhadas no tópico a seguir.

4.2.1.2 Otimização do consumo de água

Dentre as orientações listadas dos sistemas de certificação existem aquelas que já são atendidas pela residência, como por exemplo a pressão dinâmica menor do que 300kPa (exigência da certificação AQUA-HQE). De acordo com a medição realizada na residência (Figura 57), a pressão no primeiro ponto de chegada da água na residência é igual a 50kPa, abaixo do máximo estabelecido pelo sistema de certificação. Além desse fator, a residência possui medição individualizada, atendendo às três certificações quanto a esse critério.

Figura 57 - Medição de Pressão de chegada de água (uso de manômetro)



(Fonte: Autora, 2022)

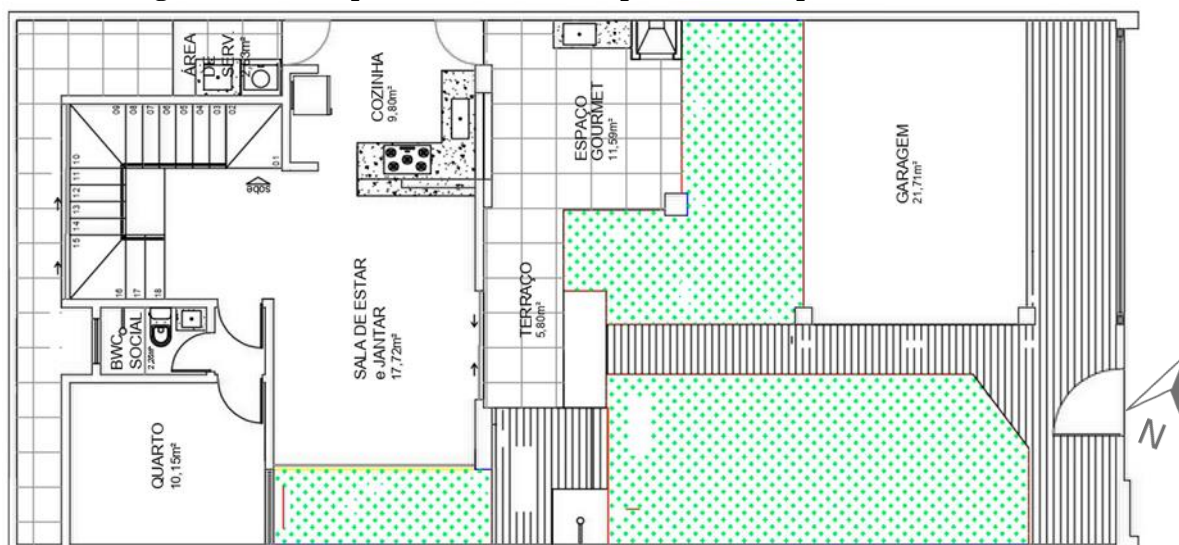
A exigência referente ao tratamento de águas servidas (critério da certificação AQUA-HQE) não se aplica para o presente estudo de caso, uma vez que a edificação está ligada ao sistema de esgotamento sanitário da cidade. Quanto à medição setorizada de consumo de água potável e não potável (critério da certificação GBC Brasil Casa), considera-se que, caso fosse

instalado reservatório de aproveitamento de água da chuva e reservatório de águas residuárias tratadas na residência, a implantação de um hidrômetro nos sistemas seria algo simples de se conseguir, assim como a implantação deste equipamento na saída da caixa d'água existente. Com isso, seria possível realizar a medição setorizada dos consumos de água potável e não potável.

Outro quesito apontado por duas das certificações foi relativo às áreas permeáveis. O sistema de certificação Casa Azul + CAIXA exige que a residência tenha 20% de áreas permeáveis acima do exigido pela legislação. Segundo o plano diretor da cidade de Petrolina (lei complementar nº 034/2022), o mínimo exigido para a zona onde a casa está localizada é 10% de taxa de solo natural. Assim, o valor requerido pelo sistema de certificação seria 12% de área permeável. O sistema AQUA-HQE, por outro lado, tem como critério mínimo de exigência apenas a conformidade com a regulamentação local.

A residência de estudo de caso apresentou uma taxa de solo natural igual 24%, pois ocupa 48 m² dos 200m² do terreno (Figura 58 e 59). Isto atende à exigência obrigatória da certificação Casa Azul + CAIXA e ao critério de pontuação 2 na certificação AQUA-HQE (Coeficiente de impermeabilização menor ou igual a 80%). Uma opção de melhoria da infiltração direta da água da chuva na residência seria a incorporação de um piso intertravado com grama (conhecido como “pisograma”) entre a garagem e o portão, pois essa melhoria contribuiria com um aumento de 8,72m² na área permeável da edificação, reduzindo o coeficiente de impermeabilidade para 71%.

Figura 58 - Destaque em verde da área permeável na planta baixa térreo



(Fonte: Projeto Arquitetônico, 2014)

Figura 59 - Jardim Residência Estudo de Caso (antes e após redução do fornecimento de água)



(Fonte: Autora, 2018 e 2022)

No que se refere ao uso de fontes alternativas de água na residência, estudou-se como alternativa o aproveitamento de água da chuva na residência. Para a investigação da

contribuição que poderia ser trazida por este sistema, foi realizada uma simulação computacional através do *software* Netuno®. Intencionou-se, nesta etapa, estimar o potencial de armazenamento de água da chuva da edificação, considerando o regime pluviométrico da cidade. Para isso, foi feito uso dos valores de precipitação total diária provenientes do banco de dados levantados pela Estação Meteorológica Convencional 82983 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no município de Petrolina-PE (Latitude: - 9.388323° e Longitude: -40.523262°; Altitude: 373 m).

A partir dos dados de precipitação carregados no *software*, foram indicados o número de registros do banco de dados utilizado (7062), a data inicial das medições (20/02/2003); o descarte de escoamento inicial (2mm, segundo orientações da NBR 15527/2007); área de captação (76m²); número de moradores (4) e coeficiente de escoamento superficial (0,95, baseando-se no valor para concreto informado em referencial técnico da Fundação Vanzolin e Cerqual, 2021).

Dois dos valores demandados pelo programa pediram atenção especial, são eles: demanda total de água per capita e percentual de água total a ser substituída por água potável. Para a presente simulação, considerou-se mais coerente utilizar os valores referentes ao consumo da residência antes da queda no fornecimento, uma vez que uma simulação com os dados atuais de consumo estaria baseada em um cenário de escassez, onde o consumo é abaixo do que seria confortável para a família. Dessa forma, a intenção de se utilizar dados de uma época em que o consumo não era condicionado às limitações do abastecimento é avaliar a possível aproximação do consumo atual daquele antigo (que ocorria em cenário de abastecimento pleno), através da incorporação de água pluvial no sistema. Assim, seria simulada uma situação de maior demanda de água da chuva, considerando que a intenção agora não é reduzir o consumo, mas sim ter mais uma fonte de abastecimento de água na residência, uma vez que a concessionária não tem suprido a completa necessidade da família. A demanda total de água considerada, dessa forma, foi baseada na média do consumo dos anos 2019 e 2020: 17m³/mês. Esse valor equivale a, aproximadamente, 142 L.percapita/dia.

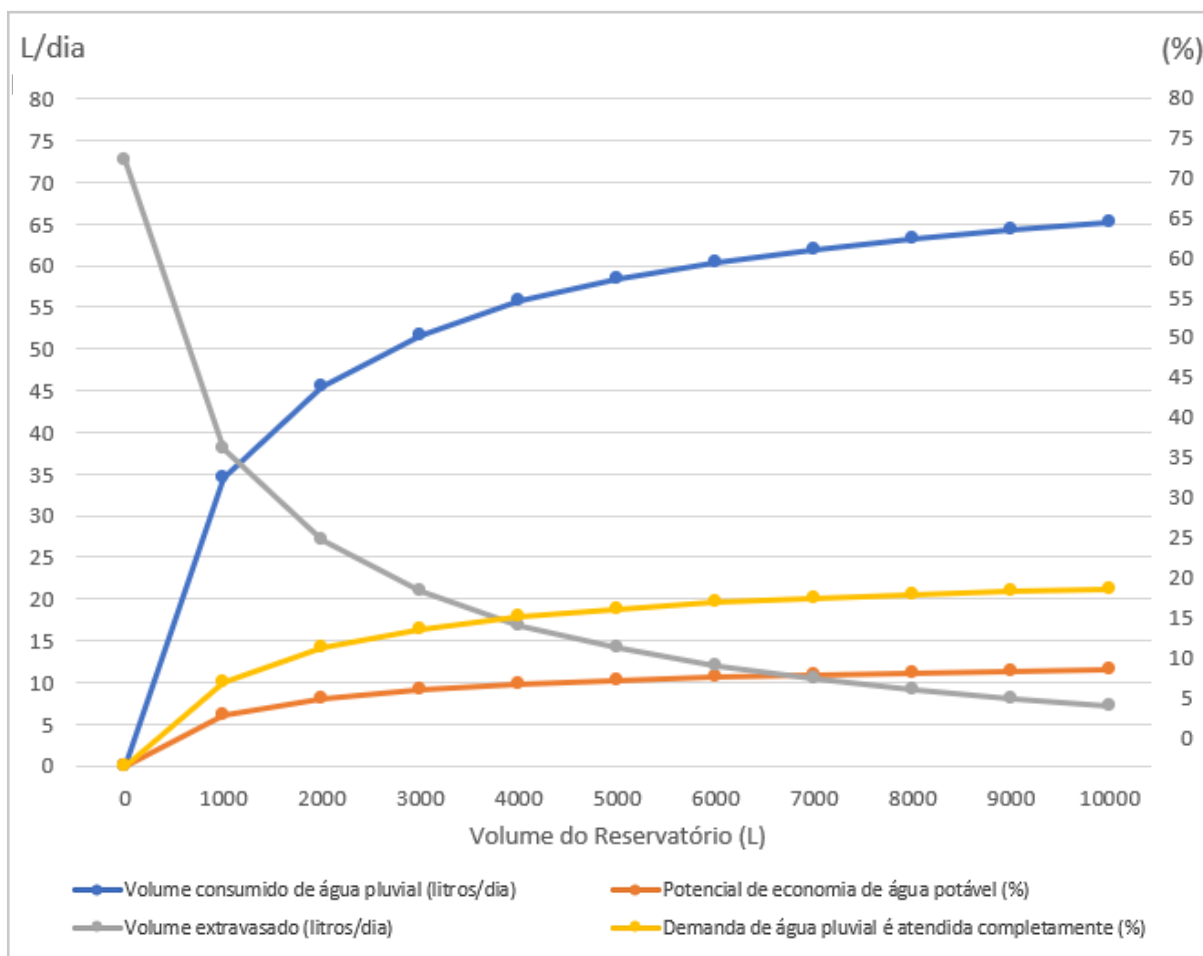
Dessa forma, seguindo o mesmo raciocínio, o percentual da demanda total de água potável a ser substituída por água pluvial na residência (valor solicitado na simulação) também não foi baseado no monitoramento realizado. Isso porque um valor baseado num cenário crítico não refletiria a demanda de água não potável que poderia haver na residência caso ela fosse plenamente abastecida. A exemplo disso, tem-se os 130L/dia de água que deixaram de ser

utilizados na irrigação do jardim após a redução do fornecimento. Esta seria uma demanda de água não potável que poderia ser considerada no dimensionamento do sistema de aproveitamento de água pluvial. Sendo assim, para definir o percentual solicitado pelo programa, foi levado em consideração pesquisas já realizadas no setor residencial, em casos que o consumo da família não ocorria em cenário de escassez.

Segundo pesquisa realizada por Hammes, Ghisi e Thives (2020) numa residência em Blumenau (SC), a água demandada por atividades que não necessitavam de água potável representou 46,5% do volume total de água potável consumida. Já numa revisão de literatura realizada por Teston et al (2018), foi observado que a maioria das pesquisas consideraram que os usos finais de água não potável estavam entre 27,5 e 60,5%. Além dessas pesquisas, encontrou-se em outro levantamento realizado por Marinoski (2010), que informou variar de 40% a 55% o percentual de água utilizada para os fins não potáveis nas residências estudadas. Dessa forma, considerando esses valores, optou-se por usar na simulação um percentual de 50% (maior que os 28% observados no monitoramento do consumo em cenário de escassez, referente ao volume demandado pelas descargas e pela lavagem de pisos).

Para o reservatório superior, considerou-se o volume igual à demanda diária média de água pluvial, uma vez que o maior volume seria armazenado no reservatório inferior e o superior seria utilizado especificamente para suprir a demanda diária da família com a pressão de água necessária. Simulou-se, assim, a captação considerando um volume máximo de reservatório igual a 10.000L, com intervalo de 250L entre volumes a ser analisado. O potencial de economia de água potável, os volumes consumidos e extravasados e o percentual atendido resultantes da simulação estão expostos no gráfico da Figura 60.

Figura 60 – Relação entre volume do reservatório e variáveis do sistema



(Fonte: Autora, baseado em simulação no Netuno®, 2022)

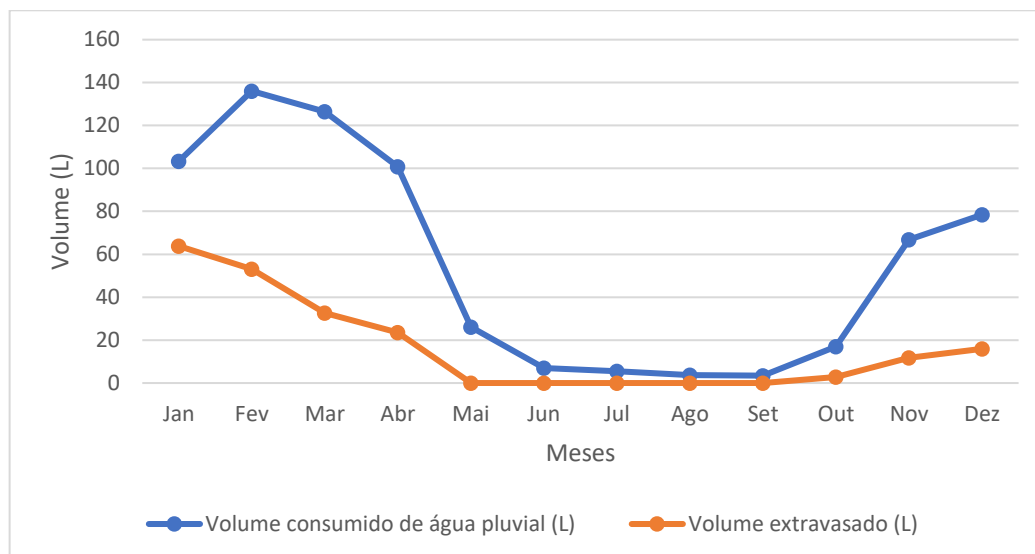
Como pode ser observado no gráfico da Figura 60, a partir de aproximadamente 4000L, o aumento do volume do reservatório não traz mudança muito significativa no potencial de economia de água potável, bem como nas demais variáveis expostas. Infere-se, assim, que seria mais coerente escolher volumes de reservatórios menores ou iguais a esse valor, considerando o custo associado à sua implantação. A Tabela 9 expõe os valores de consumo de água pluvial, atendimento de água pluvial e volume extravasado para uma acumulação de 2000L, 3000L, 4000L e 5000L de água da chuva, respectivamente.

Tabela 9 – Valores médios associados ao volume do reservatório

<i>Volumes</i>	<i>2000L</i>	<i>3000L</i>	<i>4000L</i>	<i>5000L</i>
<i>Consumo de água pluvial</i>	<i>45,41 L/dia</i>	<i>51,63 L/dia</i>	<i>55,67 L/dia</i>	<i>58,32 L/dia</i>
<i>Potencial de Economia de água potável</i>	<i>7,99 %</i>	<i>9,09 %</i>	<i>9,80 %</i>	<i>10,27 %</i>
<i>Demanda de água pluvial atendida completamente</i>	<i>14,12 %</i>	<i>16,24 %</i>	<i>17,80 %</i>	<i>18,69 %</i>
<i>Volume extravasado</i>	<i>27,09 L/dia</i>	<i>20,84 L/dia</i>	<i>16,76 L/dia</i>	<i>14,09 L/dia</i>

(Fonte: Autora, baseado em simulação no Netuno®, 2022)

Diante dos dados apresentados, considerou-se coerente escolher o reservatório de 4000L para observar os resultados mensais fornecidos pelo *software*, uma vez que a partir desse valor a taxa de aumento do consumo de água pluvial por volume de reservatório passa a ser menor (redução de inclinação da curva azul, Figura 60) e a construção de reservatórios maiores demandariam maior investimento financeiro e espaço de implantação. Como pode ser observado na Figura 61, o volume máximo de água pluvial consumida para um reservatório de 4000L encontra-se no mês de fevereiro, equivalente ao valor de 136,07L, enquanto o volume mínimo consumido ocorre no mês de setembro, equivalente ao valor de 3,45L, explicado pela distribuição desuniforme do regime pluviométrico da cidade. Dessa forma, ou a família controla o volume médio de água a chuva consumido por dia ou o uso da água pluvial só poderá ocorrer, de fato, entre os meses de novembro e abril.

Figura 61 – Distribuição mensal de volume de água pluvial

(Fonte: Autora, baseado em simulação no Netuno®, 2022)

Além da alternativa do aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis, considerou-se relevante estudar também a contribuição do uso de águas residuárias na residência. Assim, avaliou-se o volume de água potável que poderia ser substituída por água de reuso. Para isso, foi investigado o volume demandado pelas caixas de descarga, pelo jardim e para lavagem de pisos, pontos que podem ser abastecidos com água não potável. Também foi estudado o volume de águas residuárias gerados provenientes da máquina de lavar, dos chuveiros, do tanque e dos lavatórios. Os dados observados estão expostos na Tabela 10. Para essa análise, foi considerado o valor informado pela família quanto ao consumo do jardim, segundo o consumo da residência.

Tabela 10 - Volume de água residuárias cinza clara gerada e demandada por dia

<i>Gestão de águas de reuso (média diária)</i>			
<i>Geração (L)</i>		<i>Demanda (L)</i>	
<i>Lavatório</i>	<i>15,54</i>	<i>Caixa de Descarga</i>	<i>30</i>
<i>Tanque</i>	<i>10,41</i>	<i>Lavagem de Pisos</i>	<i>14,29</i>
<i>Chuveiro</i>	<i>73,26</i>	<i>Irrigação jardim</i>	<i>128,57</i>
<i>Máquina de Lavar</i>	<i>21,14</i>	<i>Total s/ irrigação</i>	<i>44,29</i>
<i>Total</i>	<i>120,35</i>	<i>Total c/ irrigação</i>	<i>172,86</i>

Fonte: (Autora, 2022)

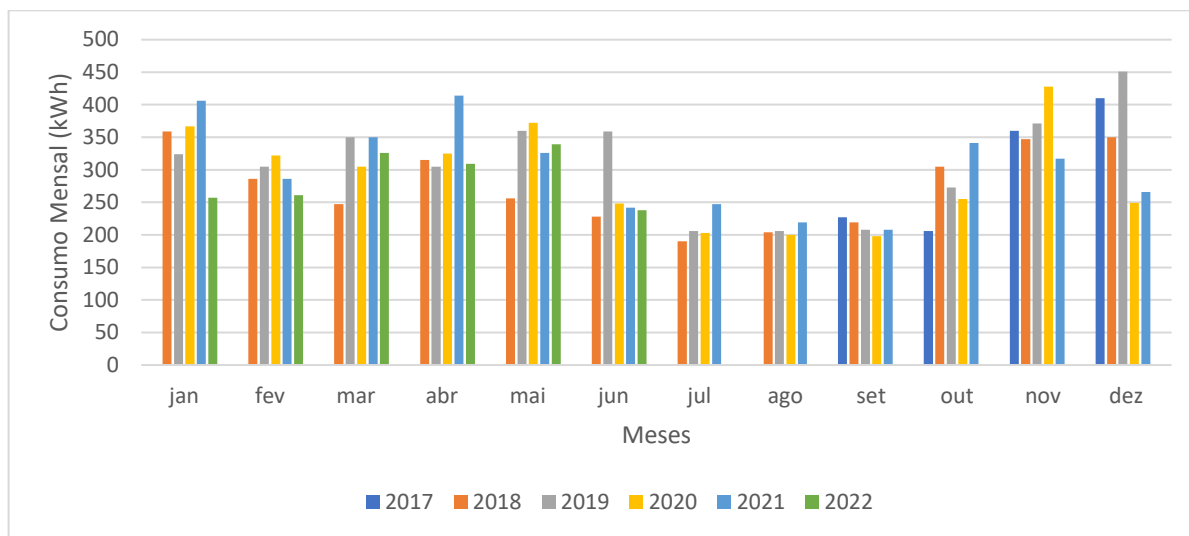
Dessa forma, observa-se que a água de reuso não seria suficiente para substituir por completo a demanda de água não potável da residência (considerando demanda do jardim)¹⁷, mas poderia contribuir com 69,62% desse consumo. É importante pontuar que se ao volume de águas residuárias (120,35L/dia) fosse acrescentado o volume médio de água da chuva possível de armazenada (55,67L/dia), seria possível substituir praticamente por completo a demanda de água não potável da residência. Considerando que o cenário é de escassez, esse valor entraria de forma complementar ao volume fornecido pela concessionária.

É importante pontuar, entretanto, que o reuso de águas cinzas em residências implica na incorporação de um sistema de tratamento de águas e demais encanações completamente isoladas. Isto demandaria separação total da instalação hidrossanitária da residência, a fim que não ocorra contaminação da água potável fornecida pela concessionária. Assim, a destinação do volume de água residuária para as caixas de descarga, por exemplo, demandaria quebras e reformas consideráveis. Essas intervenções construtivas, bem como a construção do reservatório de acumulação, o tratamento da água e a implantação do sistema distribuidor demandariam um investimento financeiro considerável. Quando observada uma residência que já paga taxa mínima de água, como ocorre na residência de estudo de caso, a incorporação desse sistema se torna praticamente inviável do ponto de vista financeiro, sendo justificável apenas pelas necessidades ambientais e de serviço.

4.2.2 Energia

A fim de ser ter uma noção inicial do padrão de consumo de energia da família, foram observadas as contas mensais de água de setembro de 2017 até os dias atuais, Figura 62. Através das contas, foi possível perceber que a família possui uma média de consumo mensal igual a 293,98 kWh, o equivalente a um consumo diário de aproximadamente 2,44 kWh por habitante. De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2022a), este consumo em Pernambuco é de aproximadamente 4,3 kWh/dia, 43% maior que o valor observado na residência de estudo de caso.

¹⁷ Atualmente, não há uso de água para irrigação de jardim (devido à necessidade de priorização dos usos), mas o volume que seria demandado pelo jardim caso não houvesse falta de água foi considerado no cálculo (baseado no consumo que existia antes da redução do abastecimento)

Figura 62 - Consumo energético mensal 2017-2022

(Fonte: Autora, 2022)

Como pode ser observado no gráfico, entre os meses de junho e setembro observa-se valores menores de consumo. Isso provavelmente é explicado pela redução do uso dos equipamentos climatizadores de ar, uma vez que nessa época do ano as temperaturas costumam ser menores (ver Figura 25). Já nos meses mais quentes, como novembro, dezembro e janeiro, observou-se consumos energético mais elevados, uma vez que nessas épocas ocorre maior uso de energia elétrica para climatização artificial. Assim, a fim de investigar de maneira mais precisa os responsáveis pelas demandas energéticas da residência, a auditoria energética foi realizada. Inicialmente, foram medidos os consumos e calculadas as potências médias dos equipamentos elétricos, Tabela 11.

Tabela 11 - Potência Média dos Equipamentos

<i>Ambiente</i>	<i>Equipamento</i>	<i>Consumo Medido (kWh)</i>	<i>Tempo de medição</i>	<i>Potência Média (kW)</i>
<i>Escritório</i>	<i>Ventilador</i>	<i>0,1456</i>	<i>1h30min</i>	<i>0,0971</i>
	<i>Computador 1</i>	<i>0,0473</i>	<i>1h17min</i>	<i>0,0369</i>
	<i>Computador 2</i>	<i>0,0693</i>	<i>2h30min</i>	<i>0,0277</i>
<i>Sala</i>	<i>TV</i>	<i>0,0826</i>	<i>1h2min</i>	<i>0,0799</i>
	<i>Ventilador</i>	<i>0,0900</i>	<i>1h23min</i>	<i>0,0651</i>
<i>Cozinha</i>	<i>Geladeira</i>	<i>3,1768</i>	<i>24h30min</i>	<i>0,1297</i>
<i>Área de Serviço</i>	<i>Ferro de Passar</i>	<i>1,0380</i>	<i>1h</i>	<i>1,0380</i>
	<i>Máquina de Lavar</i>	<i>0,1083</i>	<i>1h33min</i>	<i>(Ciclo 1)</i>
		<i>0,0976</i>	<i>1h10min</i>	<i>(Ciclo 2)</i>
<i>Quarto Filhas</i>	<i>Condicionador de ar</i>	<i>0,9747</i>	<i>9h26min</i>	<i>0,1033</i>
<i>Quarto Casal</i>	<i>Condicionador de ar</i>	<i>1,9139</i>	<i>9h24min</i>	<i>0,2036</i>
	<i>Celular 1</i>	<i>0,1640</i>	<i>3h</i>	<i>0,0547</i>
	<i>Celular 2</i>	<i>0,0228</i>	<i>3h</i>	<i>0,0076</i>
<i>Jardim</i>	<i>Bomba</i>	<i>0,1800</i>	<i>26min</i>	<i>2,3600</i>
<i>BWC</i>	<i>Chuveiro Elétrico</i>	<i>(Potência Nominal)</i>		<i>3,2100</i>

(Fonte: Autora, 2022)

Além do levantamento dos equipamentos também foram anotadas as potências nominais das lâmpadas (todas LED), Tabela 12.

Tabela 12 - Potências nominais das lâmpadas

Ambientes			<i>Quarto Casal (1)</i>			
			<i>Quarto Filhas (1)</i>			
			<i>BWC Casal (1)</i>			
		<i>Quarto Casal (1)</i>	<i>BWC Social (1)</i>	<i>Escritório (2)</i>		
		<i>Quarto Filhas (1)</i>	<i>Escada (3)</i>	<i>Hall Pav. 1 (1)</i>		
		<i>Escritório (2)</i>	<i>Fachada (1)</i>	<i>Sala (2)</i>	<i>Varandas (2)</i>	<i>Refletor (1)</i>
		<i>Sala (2)</i>	<i>Jardim (1)</i>	<i>Cozinha (1)</i>		
				<i>Área de Serviço (1)</i>		
				<i>Terraço (3)</i>		
				<i>Garagem (2)</i>		
Potência Nominal (W)	3	6	12	18	35	
<i>*O valor entre parênteses representa a quantidade de lâmpadas por ambiente.</i>						

(Fonte: autora, 2022)

De posse dos valores das potências médias dos equipamentos, o consumo dos residentes foi monitorado e caracterizado por dia e por horário, Tabela 13.

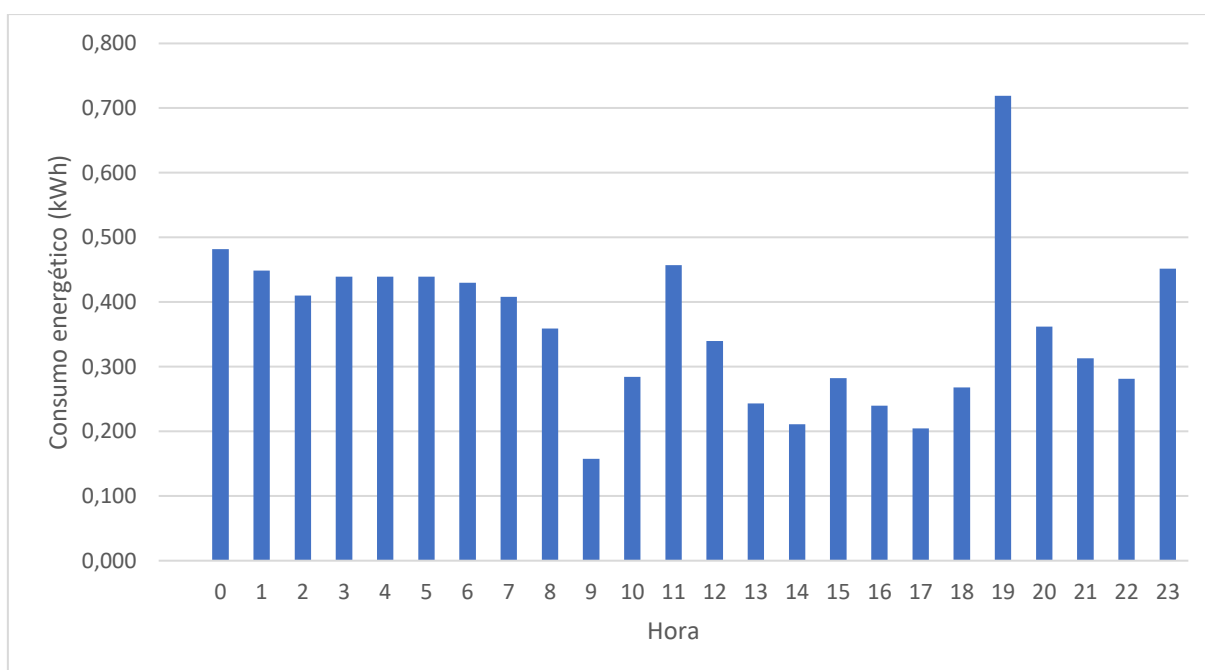
Tabela 13 - Consumo de energia da família por dia e horário

Consumo de Energia (kWh)								
<i>Hora</i>	<i>Quinta-feira</i>	<i>Sexta-feira</i>	<i>Sábado</i>	<i>Domingo</i>	<i>Segunda-feira</i>	<i>Terça-feira</i>	<i>Quarta-feira</i>	<i>Média de consumo semanal</i>
0	0,439	0,504	0,578	0,439	0,439	0,439	0,532	0,482
1	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,504	0,449
2	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,236	0,410
3	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439
4	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439
5	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439
6	0,439	0,439	0,373	0,439	0,440	0,440	0,439	0,430
7	0,439	0,431	0,227	0,440	0,439	0,439	0,440	0,408
8	0,286	0,389	0,502	0,337	0,439	0,425	0,133	0,359
9	0,136	0,217	0,141	0,202	0,132	0,140	0,132	0,157
10	0,212	0,254	0,412	0,532	0,247	0,159	0,172	0,284
11	0,983	0,649	0,729	0,132	0,286	0,170	0,252	0,457
12	0,506	0,133	0,260	0,132	0,549	0,132	0,665	0,340
13	0,276	0,194	0,613	0,132	0,146	0,160	0,181	0,243
14	0,225	0,230	0,169	0,132	0,324	0,168	0,229	0,211
15	0,255	0,225	0,455	0,132	0,284	0,330	0,295	0,282
16	0,233	0,295	0,172	0,132	0,260	0,389	0,197	0,240
17	0,446	0,202	0,153	0,132	0,151	0,182	0,165	0,204
18	0,205	0,226	0,199	0,132	0,765	0,182	0,166	0,268
19	1,121	0,438	0,186	0,189	1,028	1,085	0,985	0,719
20	0,280	0,412	0,511	0,236	0,229	0,435	0,432	0,362
21	0,317	0,269	0,269	0,680	0,237	0,196	0,222	0,313
22	0,359	0,377	0,212	0,196	0,262	0,177	0,386	0,281
23	0,439	0,723	0,368	0,185	0,388	0,518	0,539	0,451
Total Diário	9,79	8,81	8,73	7,13	9,24	8,36	8,62	8,67

(Fonte: Autora, 2022)

Os consumos horários da Tabela 13 tem seus valores médios expostos na Figura 63. Por meio desse gráfico é possível perceber que os momentos de maior consumo estão concentrados durante a madrugada e nos horários que antecedem o almoço e o jantar da família. Isso ocorre, provavelmente, devido ao uso do ar condicionado e aos horários dos banhos das filhas do casal, uma vez que ambas fazem uso do chuveiro elétrico.

Figura 63 - Média de consumo energético por horário



(Fonte: autora, 2022)

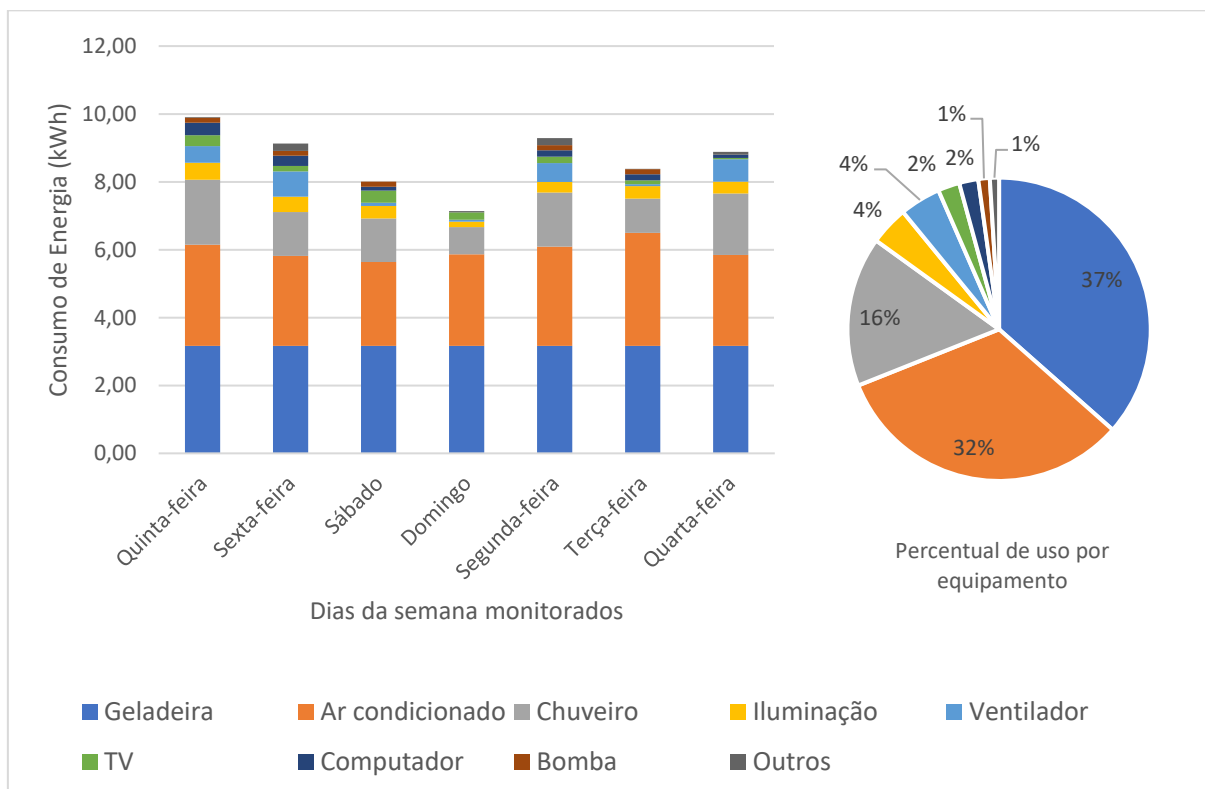
Para entender melhor a influência de cada equipamento no consumo final da família, foi construída a Tabela 14, a qual separa o consumo por equipamento e por dia. Através do gráfico da Figura 64, é possível observar a representatividade que cada equipamento tem no consumo final da residência, bem como o consumo de cada dia da semana.

Tabela 14 - Consumo por equipamento separado por dia

Consumo de Energia (kWh)									
Equipamen.	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Média	Percent. Médio
Geladeira	3,17	3,17	3,17	3,17	3,17	3,17	3,17	3,17	37%
Ar condicion.	2,98	2,65	2,47	2,70	2,92	3,33	2,67	2,82	32%
Chuveiro Elétrico	1,92	1,29	1,28	0,80	1,60	1,01	1,81	1,39	16%
Iluminação	0,50	0,46	0,37	0,17	0,31	0,36	0,35	0,36	4%
Ventilador	0,49	0,74	0,10	0,05	0,55	0,06	0,66	0,38	4%
TV	0,32	0,16	0,36	0,22	0,19	0,11	0,04	0,20	2%
Comput.	0,37	0,30	0,11	0,00	0,18	0,18	0,09	0,18	2%
Bomba	0,15	0,15	0,15	0,00	0,15	0,15	0,00	0,11	1%
Outros	0,02	0,22	0,00	0,04	0,21	0,01	0,09	0,09	1%

(Fonte: Autora, 2022)

Figura 64 - Consumo diário de energia por equipamento



(Fonte: autora, 2022)

Como é possível perceber nos gráficos da Figura 64, o equipamento de maior consumo energético é a geladeira (responsável pelo consumo de 3,17 kWh dos 8,17 kWh diários), estando o ar condicionado em segundo lugar, representando um consumo médio de 2,82 kWh diários. Em terceiro lugar encontra-se o chuveiro, representando 16% do consumo final de energia elétrica. Segundo a PPH (Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial 2019), o percentual de consumo da geladeira na carga residencial brasileira é igual a 25,72%, em contraste com os 37% observados na residência. Essa diferença deu-se, provavelmente, pela baixa eficiência do eletrodoméstico, o qual é utilizado desde 1999, o que equivale a 23 anos de uso, um tempo de geladeira menor que 2,5% dos casos estudados no PPH (ELETROBRÁS, 2019).

O percentual de consumo de ar condicionado observado na residência é também maior que a média brasileira (32% frente os 5,32% informado pelo PPH 2019). Entretanto, é importante pontuar que, além dos fatores climáticos que influenciam no uso do equipamento, há também uma questão crucial: apenas 16,69% dos 3133 domicílios estudados no PPH possuíam ar condicionado, o que reflete diretamente no baixo percentual de consumo médio. Raciocínio semelhante segue para o caso dos chuveiros elétricos, os quais demonstraram demandar 14,97% do consumo residencial brasileiro, mas apenas 6,48% dos domicílios estudados em Pernambuco possuíam chuveiro com aquecimento elétrico. Dessa forma, mesmo tendo sido observado na residência de estudo de caso um percentual maior que a média brasileira, considera-se que o consumo neste equipamento era abaixo do comum, uma vez que a família faz uso do equipamento de forma limitada (considerando o cenário de falta de água). Além disso, os únicos ocupantes que fazem uso do chuveiro elétrico são as duas filhas do casal, enquanto os pais costumam tomar banho frio. Em contrapartida dos consumos superiores às médias brasileiras, têm-se a energia demandada pela iluminação (4% no estudo de caso, frente aos 9,67% observados na média brasileira). Esta diferença deu-se, provavelmente, devido ao tipo de lâmpada utilizada. Segundo o PPH-2019, o tipo de lâmpada mais recorrente entre os domicílios estudados estado de Pernambuco é a fluorescente compacta, a qual demanda muito mais energia elétrica (ELETROBRÁS, 2019).

De posse do padrão de consumo da família, estudou-se medidas adaptativas que pudessem contribuir com a redução do consumo energético da família, a serem melhor detalhadas no tópico a seguir.

4.2.2.1 Otimização do consumo energético

Seguindo as orientações dos sistemas de certificação listadas no tópico 3.2, foi possível realizar esta etapa da pesquisa. Dentre os critérios já atendidos pela certificação têm-se a medição individualizada de energia (há um contador de energia na residência unifamiliar) e a qualidade e segurança das instalações, garantida pelo cumprimento da norma NBR 5410:2004 na fase de projeto. Os demais critérios e as respectivas medidas adaptativas propostas são melhores discutidos no tópico a seguir.

4.2.2.1.1 Uso de equipamentos eficientes

Para o estudo da substituição teórica dos equipamentos da residência por aqueles mais eficientes, foram consideradas as exigências dos selos de certificação escolhidos como referência (Selo Casa Azul + CAIXA; Processo AQUA-HQE; GBC Brasil Casa®). Procurou-se, assim, equipamentos que apresentassem Nível de Eficiência A do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE INMETRO), escolhidos aqueles que apresentassem menor consumo dentre as opções.

A Tabela 15 representa as principais informações dos equipamentos escolhidos para se realizar o estudo comparativo.

Tabela 15 - Equipamentos escolhidos para substituição teórica

<i>Equipamento</i>	<i>Informações sobre equipamento</i>	<i>Consumo de energia</i>	<i>Potência média equipamento Eficiência A PBE (kW)</i>	<i>Potência Média equipamento da residência (kW)</i>
Ventilador	<i>Marca Britânia; 40cm de diâmetro de hélice, velocidade média; n° de registro 000963/2013</i>	<i>1,04 kWh/mês</i>	<i>0,0346</i>	<i>0,0651</i>
				<i>0,0971</i>
Geladeira	<i>Marca Eletrolux; modelo IF55_IF55S_IF55B; 431L; n° do registro 005404/2016;</i>	<i>35,3 kWh/mês</i>	<i>0,0490</i>	<i>0,1297</i>
Condicionador de ar	<i>Fornecedor Daikin; tipo Split hi-wall; n° de registro 001167/202; capacidade de refrigeração 9000 BTU/h</i>	<i>302,8 (kWh/ano)*</i>	<i>0,1456</i>	<i>0,2036</i>
Bomba	<i>Fornecedor CARACOL; marca FERRARI; motobomba monofásica; n° de registro 00858/2013; código do modelo AAB1030001 / SCM-16/98/MONO/1/3CV.</i>	<i>-</i>	<i>0,4750</i>	<i>0,4415</i>
Chuveiro Elétrico	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>2,400***</i>	<i>3,2100</i>

**Consumo de Energia com base nos resultados do ciclo normalizado pelo INMETRO, de 2.080 horas por ano.
**C1: Consumo Ciclo 1; C2: Consumo Ciclo 2
***Não há tabelas de eficiência energética para chuveiros elétricos etiquetados com ENCE, então foi considerada a potência máxima para classificação Nível A, segundo o IPT, 2019.*

(Fonte: autora, 2022, segundo Tabelas de Eficiência Energética INMETRO, 2022; e IPT, 2019)

Não foi considerada substituição da máquina de lavar, pois o equipamento existente na residência já é nível A de eficiência (marca LG, modelo Lavadora Inverter Direct Drive Steam 11kg) e observou-se que o consumo por ciclo da máquina existente na residência estava entre os menores daqueles apresentados na tabela de eficiência energética do INMETRO (entre 0,1 e 0,4 kWh/ciclo). Além disso, notou-se que a bomba utilizada na residência apresentou valor levemente menor que o da bomba escolhida para substituição (que, por sua vez, estava entre os menores valores da tabela). Dessa forma, optou-se por não realizar a substituição da bomba para a realização dos cálculos finais. Além desses equipamentos, não se considerou substituir as lâmpadas da residência, uma vez que todas os pontos de iluminação da casa são formados por lâmpadas LED com eficiência luminosa igual a 86,9 lm/W, atendendo ao critério de pontuação 2 da certificação AQUA-HQE e a exigência mínima da certificação GBC Brasil Casa (eficiência maior que 75lm/W para ambos os casos).

Não foi encontrada tabela de eficiência energética para equipamentos como computador, televisão e ferro de passar dentre aquelas disponibilizadas pelo INMETRO. Dessa forma, considerou-se não realizar a substituição teórica desses equipamentos. Também não foi encontrada tabela de eficiência para os chuveiros elétricos¹⁸, mas considerou-se utilizar no estudo da substituição a potência máxima de classificação Nível A (2,4 kW) informada pelo IPT (2019). Assim, foi feita a substituição teórica dos ventiladores, geladeira, ar condicionado e chuveiro elétrico, através dos novos valores e potências médias. A Tabela 16 expõe a diferença de consumo resultante.

Tabela 16 - Quadro comparativo do consumo diário após substituição teórica dos equipamentos

Consumo de Energia (kWh)								
<i>Dias da semana</i>	<i>Quinta-feira</i>	<i>Sexta-feira</i>	<i>Sábado</i>	<i>Domingo</i>	<i>Segunda-feira</i>	<i>Terça-feira</i>	<i>Quarta-feira</i>	<i>Média de consumo diário</i>
<i>Consumo antigo</i>	9,79	8,81	8,73	7,13	9,24	8,36	8,62	8,67
<i>Consumo com equipamentos eficientes</i>	8,58	7,77	7,74	6,42	8,08	7,43	7,40	7,63

(Fonte: Autora, 2022)

Como pode ser observado na Tabela 13, a simples substituição dos equipamentos por aqueles de classificação A de eficiência energética contribuiria com a redução de 12% do consumo de energia da família, o equivalente a 1,04kWh diários (31,2 kWh mensais). Essa redução provocaria a economia de aproximadamente R\$ 30,00 na conta mensal de energia (considerando um custo de R\$0,96 por kWh).

4.2.2.1.2 Uso de energias renováveis

Para o dimensionamento do painel fotovoltaico, foi escolhido o sistema fixo com tecnologia de silício cristalino (c-Si) para se realizar a análise, considerando seu menor custo de energia fotogerada quando comparado com outras topologias (VERÍSSIMO, 2017). De

¹⁸ Vale ressaltar que, segundo o PPH (2019), foram observados, em maioria, chuveiros elétricos com potências superiores a 4500 W, enquanto o da residência de estudo de caso demonstrou potência máxima igual a 3210W (ELETROBRÁS, 2019).

acordo com Ruther (2004), a tecnologia do c-Si é uma das mais utilizadas e a que apresenta maior eficiência. Inicialmente, foi utilizado no cálculo do dimensionamento o consumo médio de energia elétrica observada nas contas mensais da residência nos últimos anos, Tabela 17.

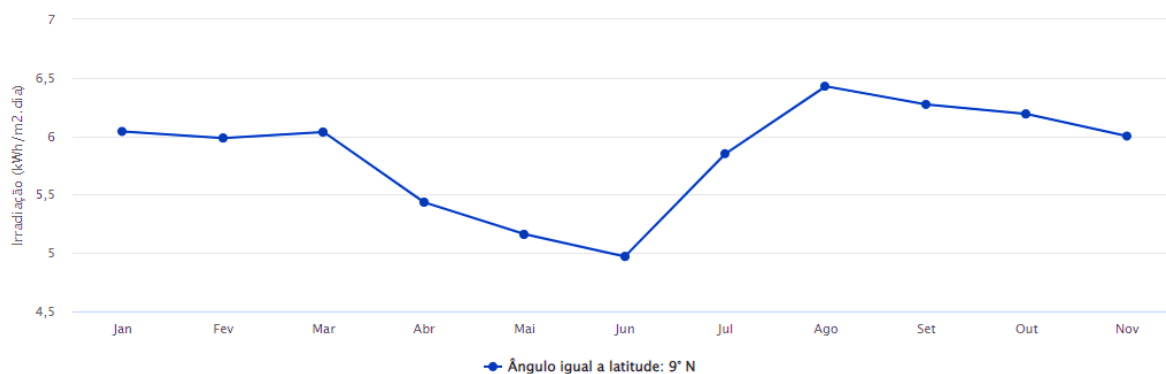
Tabela 17 - Consumos mensais de energia elétrica nos anos de ocupação da residência

<i>Consumo mensal de Energia Elétrica (kWh)</i>												
<i>Ano</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>
2017	-	-	-	-	-	-	-	-	227	206	360	410
2018	359	286	247	315	256	228	190	204	219	305	347	350
2019	324	305	350	305	360	359	206	206	208	273	371	451
2020	367	322	305	325	372	248	203	200	198	255	428	249
2021	406	286	350	414	326	242	247	219	208	341	317	266
2022	257	261	326	309	339	238	-	-	-	-	-	-
Média Mensal	342,6	292	315,6	333,6	330,6	263	211,5	207,3	212	276	364,6	345,2
Média total												294 kWh

(Fonte: Autora, 2022)

Utilizou-se a média de todos os anos de uso considerando a inexistência de mudança significativa do consumo no decorrer do tempo. Desse valor de 294 kWh foi removido os 30kWh da tarifa de disponibilidade da concessionária, o que resultou numa demanda mensal de 264kWh que poderia ser suprida pelo sistema fotovoltaico.

Além dessas informações, também foi utilizada a quantidade de Horas de Sol Pico (HSP) da localidade em questão. Esse valor foi conseguido dividindo-se a irradiação do local (kWh/m²) por 1000 W/m², uma vez que o HPS representa a quantidade de horas em que a irradiação solar seria constante de 1000 W/m². Através do dado de latitude e longitude da cidade de Petrolina (09°23'55" Sul, 40°30'03" Oeste, respectivamente), foi possível obter a irradiação média (5,8 kWh/m². dia, que equivale a 5,8 HSP), considerando um plano com inclinação igual à latitude da cidade. O gráfico da Figura 65 representa a irradiação anual da cidade em plano inclinado com 09°23'55" (latitude), segundo informações da CRESESB (Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito).

Figura 65 - Irradiação Solar de Petrolina (PE) no plano inclinado

(Fonte: CRESESB, 2022)

Para o cálculo de dimensionamento é utilizado um fator de incerteza que considera as perdas do sistema. Ainda que o painel seja instalado em local sem risco de sombreamento em nenhuma hora do dia e com a orientação e inclinações ótimas, ainda existirão as perdas que ocorrem nos condutores, nas conexões e no inversor, sem falar nas perdas por temperatura. Além disso, deve ser dada uma folga de segurança considerando também a inexatidão do fator hora (cujo valor utilizado no cálculo é o médio) e a ocorrência de dias nublados. Sendo assim, observou-se que é utilizado pelos fornecedores da região em média um valor de 20% para representar essas perdas e incerteza do sistema.

Assim, partir dos dados apresentados, foi possível descobrir a potência do sistema necessária para suprir a demanda da residência, Equação 1.

$$P \text{ (kWp)} = \text{Consumo mensal (kWh)} / \text{HSP} * 30 * 0,8$$

$$P = 1,9 \text{ kWp}$$

A partir desse valor de potência e considerando disponibilidade do fornecedor, escolheu-se utilizar módulos fotovoltaicos de potência nominal igual a 550W, da marca ELGIN. Seriam necessários, assim, 4 módulos para suprir a demanda da residência (ficando 300W de potência excedente), que ocupariam uma área de 10,4 m² e teriam uma massa total de 12,6kg. O kit a ser instalado englobaria, além dos módulos, 1 Micro Inversor On-grid - 2000W / 220V Wifi; 1 estrutura de apoio 4 módulos – NT; 1 conector fêmea de corrente alternada (CA) para MI e 1 terminal final CA para MI. O investimento necessário para o sistema seria de R\$ 11.440,22.

Para que seja garantida a eficiência dos painéis, é importante que seja evitada qualquer interferência de sombreamento em sua superfície. No estudo de caso analisado, há uma área de cobertura igual a 57m² disponível para a instalação dos painéis, referente à laje do primeiro pavimento. Para análise do sombreamento, observou-se que as platibandas de 1,1m (o único fator que poderia sombrear o painel, Figura 66) não interfeririam nos módulos fotovoltaicos nas horas de sol pico, uma vez que o painel ocuparia apenas 10,4m² da laje (18% da área disponível) e poderia ser posicionado em local que não recebesse sombreamento.

Figura 66 – Cobertura da Residência



(Fonte: Autora, 2022)

Para o cálculo do período de retorno foi considerado a economia que seria conseguida na conta mensal de energia quando a família passasse a pagar apenas a taxa mínima cobrada pela concessionária. Sabendo que a concessionária cobra R\$ 0,96 por kWh consumido, mensalmente seria economizado um valor médio de R\$ 253,44. Além disso, considerando o incentivo fiscal do município que oferece descontos a partir de 50% no Imposto sobre a Propriedade Territorial Urbana – IPTU (lei municipal de nº 2.655, de 2014) aos proprietários que fizerem uso desses sistemas nas suas edificações, seria economizado mais R\$ 33,48 mensais. Seriam necessários, assim, 40 meses (3 anos e 4 meses) para que o valor economizado se igualasse ao custo do investimento. Vale ressaltar que a Lei 14.300/2022 estipula que a partir de janeiro de 2023 aqueles que instalarem painéis fotovoltaicos em seus imóveis receberão cobrança de imposto sobre a energia produzida, justificado pelo uso da infraestrutura

disponibilidade pela concessionária nos momentos que não ocorre geração simultânea. Assim, haverá de ser considerado tal valor no cálculo do retorno financeiro.

Como bem defende a Fundação Vanzolini e Cerway (2017) no Referencial Técnico do processo AQUA-HQE, é importante que a modalidade energética adotada seja aquela que constitua uma opção verdadeiramente razoável para a realidade estudada. Seguindo este raciocínio, chegou-se à conclusão que, embora seja indicado o uso de placas solares para o aquecimento da água no setor residencial, no presente estudo de caso é mais coerente supor que a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos supriria a demanda energética do chuveiro elétrico e seria ineficiente instalar esse novo sistema. Chegou-se a essa conclusão considerando que os únicos pontos de uso de água quente na residência são os chuveiros elétricos (utilizado apenas por dois dos residentes e responsáveis por aproximadamente 16% do consumo energético mensal) e que o volume de água consumido por ele é relativamente baixo (73,3L/dia). Considerou-se que seria mais pertinente a instalação desse sistema num caso em que ocorresse maior consumo de água quente e que não houvesse necessidade de intervenção numa instalação hidrossanitária já construída, uma vez que esse sistema demandaria a separação entre as instalações de água fria e água quente, quebras e desperdícios, sem levar em conta o investimento financeiro necessário para sua incorporação.

4.2.2.1.3 Envoltória e Estratégias Bioclimáticas

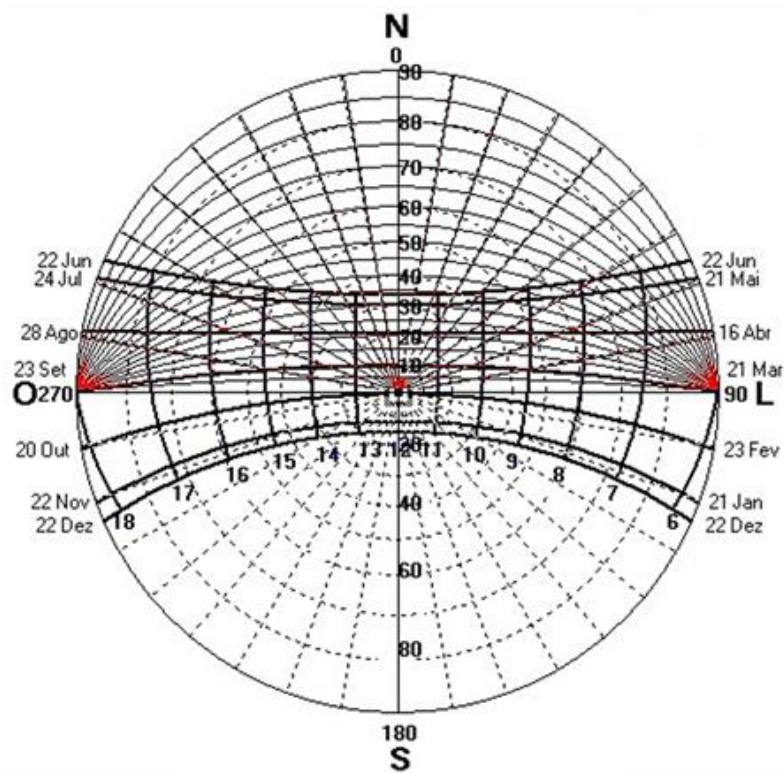
A envoltória da residência de estudo de caso é formada, majoritariamente, por: alvenaria com revestimento externo (material predominante nas paredes externas em 98,43% dos domicílios em Pernambuco, segundo Caracterização dos Domicílios da PPH¹⁹) e cobertura de laje de concreto (presente em 38,72% dos domicílios do estado segundo PPH – ELETROBRÁS, 2019).

Uma das exigências da certificação Casa Azul + CAIXA é referente às estratégias bioclimáticas. É atribuída pontuação 3 para as residências que apresentarem a correta orientação ao sol, que no caso da zona bioclimática 7 (onde está situada a residência de estudo de caso) é a proteção dos cômodos de longa permanência voltados à face oeste. A carta solar de Petrolina (PE) está exposta na Figura 67, onde é possível observar os percursos aparentes do sol ao longo

¹⁹ Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial (ELETROBRÁS, 2019)

do dia em diferentes épocas do ano na cidade. Essa distribuição solar possui influência direta no clima quente da região e no microclima das edificações.

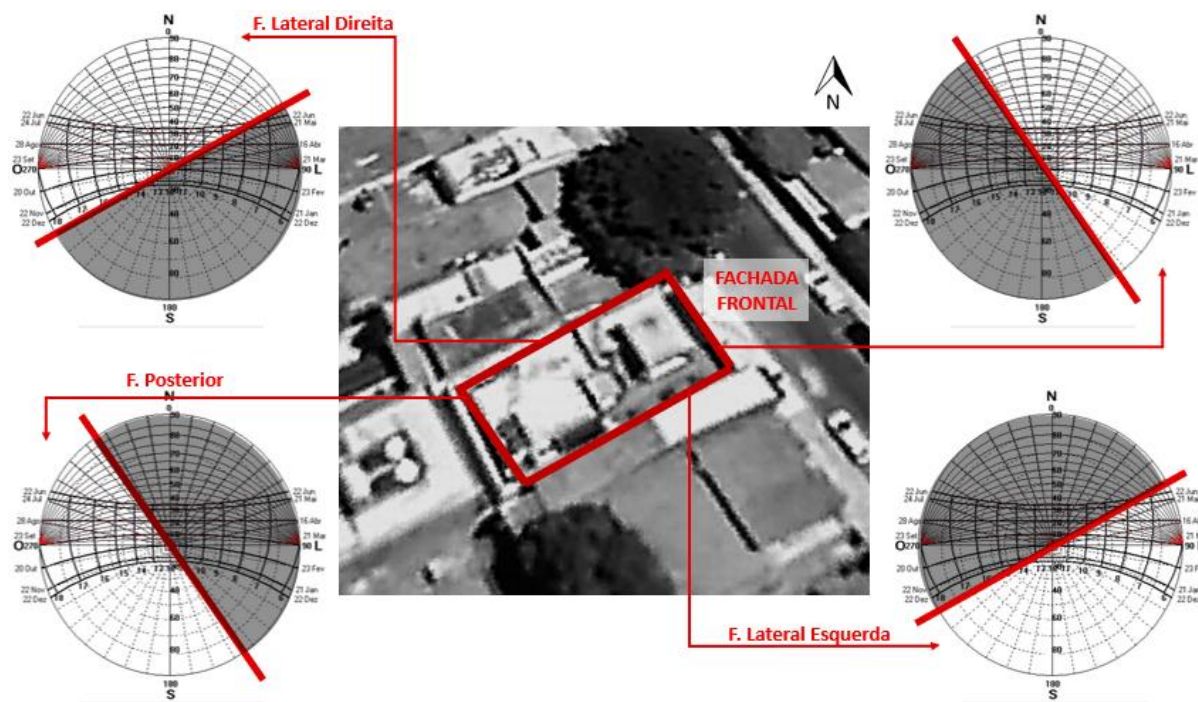
Figura 67 - Carta solar cidade de Petrolina/PE



(Fonte: Autora, 2022. Gerado através do *Analysis SolAr*®)

Como pode ser observado na Figura 68, as fachadas mais vulneráveis à radiação do poente é a Fachada Posterior (orientação sudoeste) e a Lateral Direita (orientação noroeste), por onde provavelmente ocorre maior incremento da carga térmica, demandando sombreamento das aberturas. As Fachadas Frontal (orientação nordeste) e Lateral Esquerda (orientação sudeste) estão suscetíveis à radiação da nascente. Sabendo que, segundo o INMETRO (2022) a direção predominante dos ventos em Petrolina (PE) é Sudeste, a face mais suscetível à entrada de ventilação seria a Lateral Esquerda, e para a saída a face oposta.

Figura 68 - Insolação em cada fachada da residência

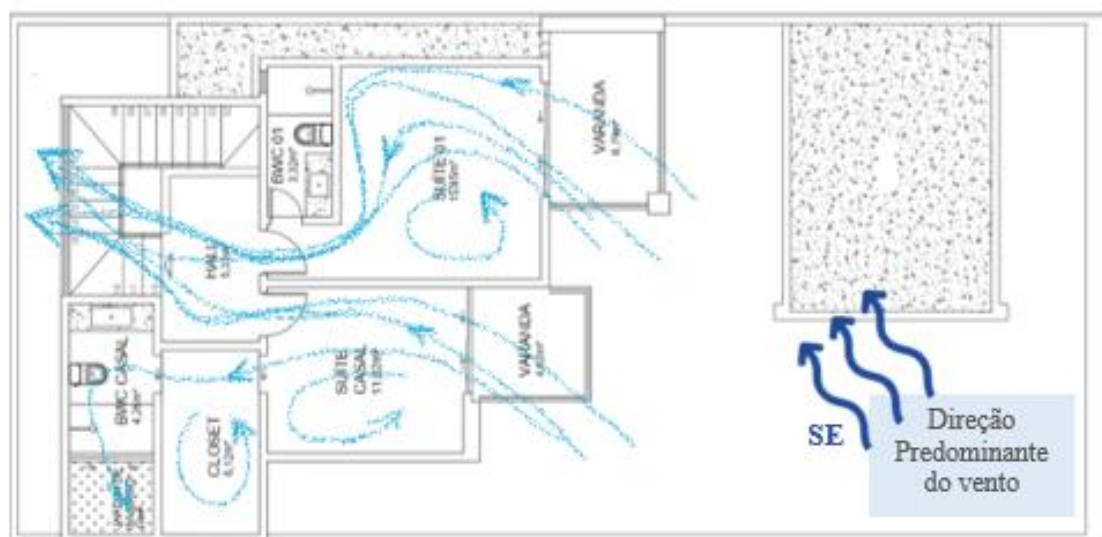


(Fonte: Autora, 2022)

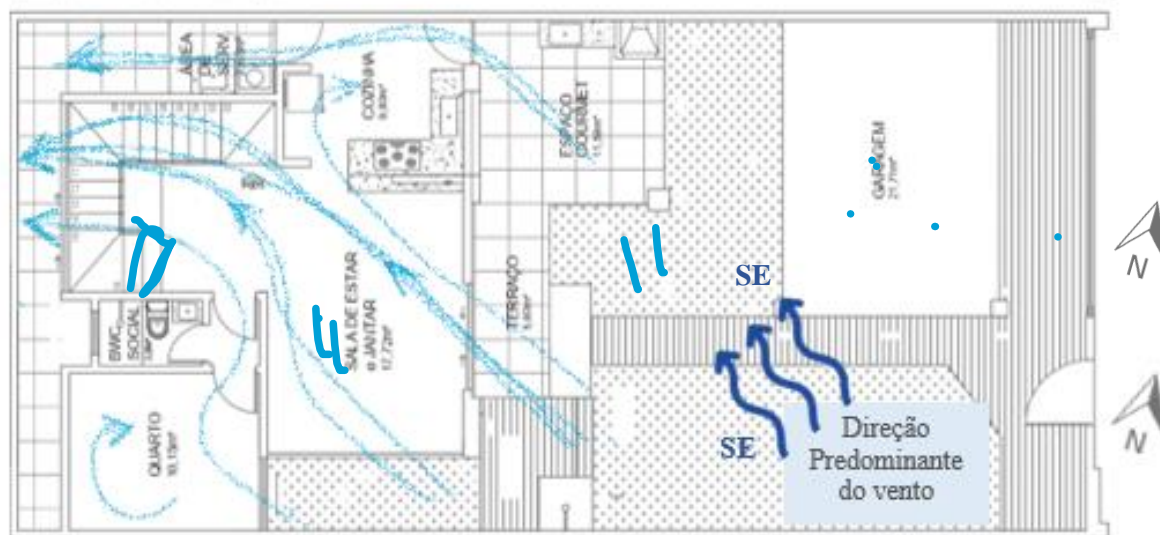
Na avaliação do selo Casa Azul + Caixa, pontuação extra é atribuída às edificações que apresentarem estratégias bioclimáticas baseadas na NBR 15.220-3:2005 (item 6), possíveis de ser consultadas através, por exemplo, do *software Climate Consultant®*, que permite a eleição das melhores estratégias bioclimáticas para o clima informado na simulação. De acordo com as estratégias bioclimáticas indicadas pelo *software*, é recomendado para o clima em questão ventilação natural proporcionada por janelas bem sombreadas, orientadas para as brisas predominantes (com tolerância de até 45° em relação às paredes da edificação) e projetadas de forma que permitam a ventilação cruzada. De acordo com as normais climatológicas 1991-2020, na cidade de Petrolina (PE), em todos os meses do ano, a direção predominante do vento é sudeste (INMETRO, 2022). A Figura 69 expõe, assim, o sentido predominante dos ventos e os fluxos que ocorrem no interior da residência.

Figura 69 – Fluxos de vento no interior da residência

(a)



(b)



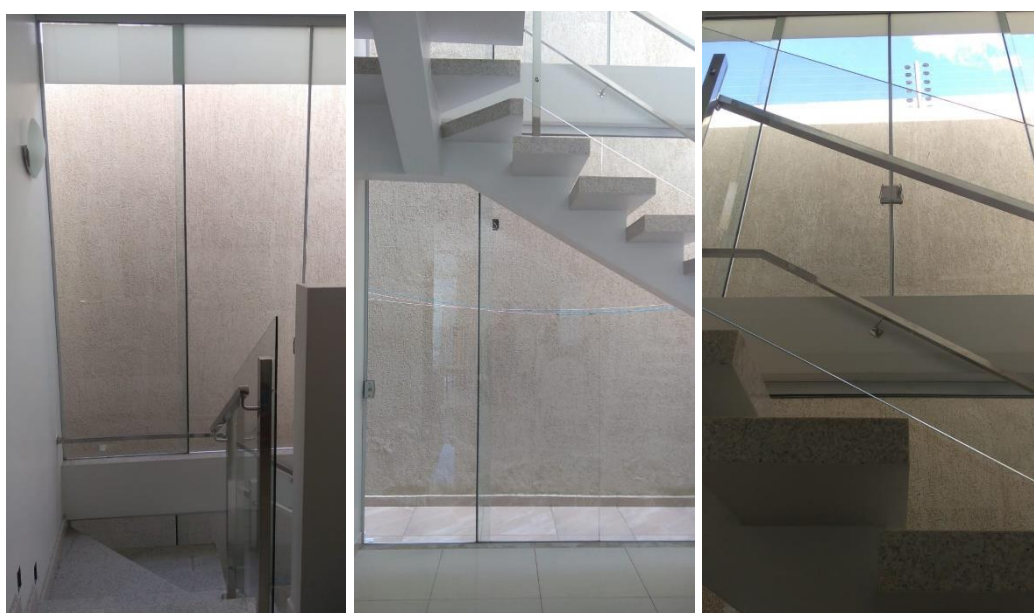
(a) Planta Baixa Primeiro Pavimento; (b) Planta Baixa Pavimento Térreo

(Fonte: Autora, 2022)

Assim, inicialmente, ao se estudar a orientação das aberturas, nota-se que a que mais demanda atenção especial é a parede de vidro da escada, voltada para o oeste. Como pode ser observado na Figura 70, há uma parede de alvenaria próxima à fachada envidraçada (0,80m de distância) que protege o vidro da incidência direta de radiação solar na maior parte do ano, o que atenderia parcialmente à exigência da certificação. É certo que deveria ter sido pensada ainda em fase de projeto uma melhor orientação para essa parede de vidro, mas, embora sua orientação não seja muito favorável para o clima em questão, é importante observar que essa abertura contribui para a iluminação do interior da residência (principalmente do primeiro

pavimento) e com o processo de ventilação natural, pois permite que as trocas de ar ocorram por meio de efeitos do vento (provocado pela diferença de pressão) e pelo efeito chaminé (provocado pela diferença de temperatura). Dessa forma, é possível que ocorra ventilação cruzada na residência, devido à posição da abertura (oposta àquelas por onde ocorre entrada do vento), e movimentação da massa de ar pelo efeito da temperatura, onde ocorre saída de ar quente (de menor pressão) pela abertura mais elevada, contribuindo com a redução da carga térmica na habitação (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014; SHAW, 2018).

Figura 70 - Parede de vidro voltada à face oeste



(Fonte: Autora, 2022)

As aberturas frontais da residência, voltadas para as brisas predominantes e vulneráveis ao sol da manhã, são sombreadas pela cobertura do terraço e da varanda, embora nesta última ainda ocorra incidência direta de radiação solar. Este problema também deveria ter sido avaliado em fase de projeto, uma vez que após a construção as possibilidades de adaptação da residência se tornam muito mais limitadas. Dessa forma, em casos assim, algumas poucas alternativas podem ser consideradas, a exemplo da plantação de árvores no jardim ou a construção de um pergolado com trepadeiras no corredor lateral externo do térreo, os quais poderiam sombrear as aberturas vulneráveis à insolação, sem impedir a ventilação.

É importante pontuar, entretanto, que embora o *Climate Consultant*® ressalte a importância das aberturas na edificação para o melhoramento do microclima na cidade de

Petrolina (PE)²⁰, em situações clima quente e seco, como ocorre no presente estudo de caso, é preferível que a ventilação seja seletiva, uma vez que nos períodos do dia em que a temperatura externa à edificação é maior que a interna a entrada do vento não é vantajosa. Sendo assim, a residência em questão apresenta um ponto positivo para o clima ao qual está submetida, uma vez que todas as aberturas da residência de estudo de caso permitem o fechamento.

Outra recomendação do *software* diz respeito à existência de vidros sul suficientes para equilibrar a luz do dia e permitir ventilação cruzada (cerca de 5% da área do piso). A única abertura voltada para o sul da residência é o vidro lateral da sala, que possui 9,8m² e ilumina um ambiente de 42,6m² (região de sala, escada e cozinha), representando 23% da área de piso e atendendo ao critério estabelecido. No que se refere às exigências relativas à envoltória, o selo casa Azul + CAIXA pede que as aberturas da edificação tenham área mínima igual a 7% a área do piso. Como pode ser observado na Tabela 18, todos os ambientes da residência atendem a esse critério da certificação.

Tabela 18 - Áreas de abertura de ambientes de permanência prolongada

<i>Ambiente</i>	<i>Área de piso (m²)</i>	<i>Elementos transparentes</i>		<i>Aberturas</i>	
		<i>Área (m²)</i>	<i>Percentual da área de piso</i>	<i>Área (m²)</i>	<i>Percentual da área de piso</i>
<i>Sala integrada com cozinha</i>	41,37	26,64	64,41%	13,52	32,68
<i>Escritório</i>	16,15	2,30	14,20%	1,15	7,10%
<i>Quarto Casal</i>	11,03	4,88	44,20%	2,44	22,10%
<i>Quarto Filhas</i>	15,85	5,25	33,12%	6,62	16,56%

(Fonte: Autora, 2022)

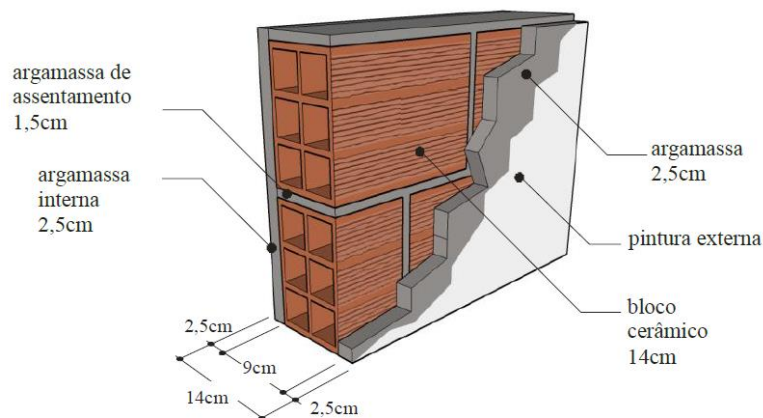
Outro quesito exigido pelas três certificações se refere ao desempenho térmico da envoltória. Sabendo que a investigação detalhada do desempenho bioclimático da residência não é o foco desta pesquisa, considerou-se relevante seguir as orientações do selo Casa Azul + CAIXA para prosseguir a avaliação, uma vez que seu método é baseado nas orientações da NBR 15.575:2021 e esta norma traz um procedimento simplificado de avaliação, o qual não demanda simulação. A norma traz limites de transmitância e capacidade térmica que devem ser respeitados a fim de que a envoltória da residência apresente desempenho mínimo. Assim, para

²⁰ Simulação realizada no *Climate Consultant* através do Modelo de Conforto Adaptativo para edificação com ventilação natural segundo ASHRAE Standard 55-2010.

de fins de comparação, considerou-se utilizar o Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros, fornecido pelo INMETRO (2017). Neste catálogo são informados valores de transmitância térmica (W/m^2K) e capacidade térmica (kJ/m^2K) para uma série de paredes e coberturas formadas por diferentes combinações de materiais construtivos. O documento também traz informações sobre absorvâncias solares para diferentes tipos de cores.

A tipologia de parede da residência do estudo de caso está apresentada na Figura 71 (número 9 do catálogo). Esta tipologia de parede possui transmitância térmica igual a $2,46 W/m^2K$ e capacidade térmica igual a $150 kJ/m^2K$. As tintas acrílicas foscas utilizadas nas fachadas são de cores branca, areia e camurça, com valores de absorvância solar igual a $0,16$; $0,45$ e $0,57$ respectivamente, todos menores que $0,6$ (INMETRO, 2017). Com estes valores de absorvância, o limite informado pela NBR 15575-4:2021 para a transmitância térmica da zona bioclimática 7 é $3,7 W/m^2K$, maior do que o valor apresentado pela residência de estudo de caso. No que se refere o valor de referência para a capacidade térmica, a norma estabelece um valor mínimo de $130 kJ/m^2K$, também respeitado pela edificação estudada.

Figura 71 - Tipologia de parede da residência do estudo de caso



(Fonte: INMETRO, 2017)

No que se refere ao desempenho térmico da cobertura, o fato da cobertura da residência de estudo de caso ser formada laje sem telhamento fez com que a residência de estudo de caso apresentasse valor de transmitância térmica superior ao máximo estabelecido pela NBR 15575-5:2021. Considerando uma absorvância solar igual a $0,72$ (devido à cor do concreto), o limite máximo de transmitância térmica para a zona bioclimática 7 estabelecido em norma é igual a $1,75 W/m^2K$, menor que os $3,76 W/m^2K$ apresentados pela edificação estudada. Ainda que a

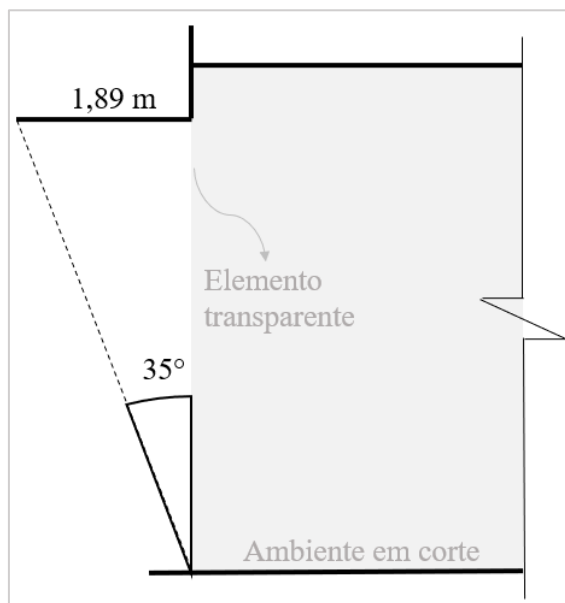
laje da residência fosse pintada de branco e a absorvância solar da superfície fosse reduzida, o valor da transmitância térmica ainda seria superior ao limite estabelecido pela norma (2,69 W/m²K).

A incorporação de telhas sanduíches (compostas por duas faces de telha metálica separadas por uma de poliestireno) reduziria o valor da transmitância térmica para 0,68 W/m²K. Com essa intervenção, a cobertura da residência passaria a respeitar o limite estabelecido pela norma e o incremento da carga térmica na residência seria reduzido significativamente. Outra opção um pouco menos eficiente, mas que também se encaixaria nos limites normativos, seria a incorporação de telhado cerâmico ou de fibrocimento pintados com cores com absorvância solar menor que 0,4.

A residência de estudo de caso também deixa a desejar no que se refere ao percentual de elementos transparentes. Enquanto a norma estabelece um limite de 4m² para ambientes de permanência prolongada com área de piso maior que 20m², os elementos transparentes da sala integrada da residência ocupam uma área de 26,64m² (Tabela 18). Além disso, para os ambientes de áreas menores que 20m², a norma limita a 20% o percentual de elementos transparentes, critério que só é atendido pelo escritório, estando o quarto do casal e das filhas fora desse limite.

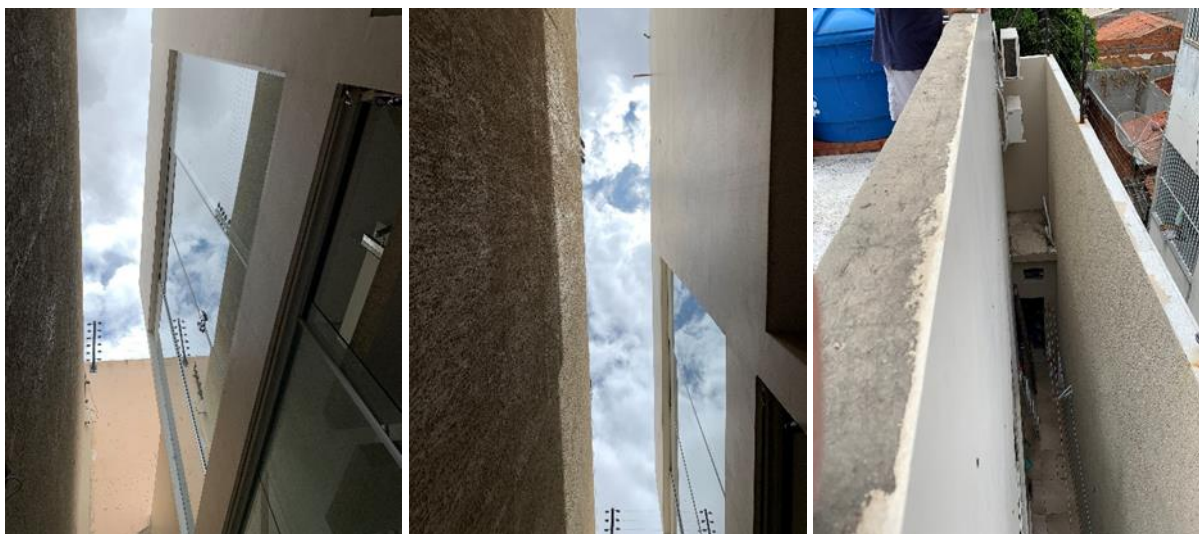
Segundo a norma NBR 15575-4:2021, para a zona bioclimática em questão, é permitido que o percentual de abertura de elementos transparentes seja superior a 20%, desde que sejam utilizados elementos de sombreamento horizontais nas aberturas, conforme os limites estabelecidos na tabela 18 da norma. Essa tabela é dividida em percentual de elementos transparentes separados por orientação de fachada. É especificado que se utilize o menor dos percentuais, quando houver elementos transparentes em mais de uma orientação. Dessa forma, considerou-se o percentual de 23% para a sala, referente às aberturas orientadas a oeste. O ângulo vertical de sombreamento pedido neste caso é 35°, o que resultaria em um elemento de sombreamento horizontal com 1,89m de profundidade (Figura 72). Considerando que o único espaço disponível para construção de sombreamento horizontal é o corredor do fundo da residência (Figura 73), só seria possível construir um sombreamento de 0,8m de largura, e este interferiria na ventilação e na funcionalidade do espaço, uma vez que o corredor de fundo também é utilizado como espaço de varal.

Figura 72 - Delimitação de sombreamento do elemento transparente (ambiente em corte)



(Fonte; Autora, 2022)

Figura 73 - Corredor dos fundos



(Fonte: Autora, 2022)

No que se refere à orientação leste, todos os elementos transparentes são sombreados com marquises cujas larguras variam de 2,20m até 3,55m. Sabendo que a tabela de referência só considera valores percentuais de elementos transparentes até 27% para a fachada leste, os quartos do primeiro pavimento não puderam ser avaliados, uma vez que apresentam valores maiores que esse. Casos assim devem ser avaliadas por meio do procedimento de simulação computacional (conforme a ABNT NBR 15575-1:2021), a qual não foi realizada, uma vez que

não fazia parte da proposta da pesquisa tal nível de detalhamento acerca do tema, ficando como sugestão para trabalhos futuros.

A adequação dos elementos da envoltória depende de cada caso específico e pode envolver complexidade considerável, uma vez que sua alteração, por vezes, demanda modificação projetual e construtiva, as quais nem sempre são possíveis de serem feitas. Assim, as adaptações da envoltória ficam limitadas a, por exemplo, alteração do revestimento das paredes, melhoramento do sistema de cobertura utilizado, incorporação de vegetação ou elementos de sombreamentos mais simples.

Os resultados conseguidos neste estudo deram espaço para uma discussão aprofundada acerca da situação atual de Petrolina-PE frente aos Objetivos 6 e 7 do Desenvolvimento Sustentável (relativos à água e à energia, respectivamente), na escala urbana e do edifício. Notou-se que, embora sejam observados resultados positivos quanto ao atendimento populacional com serviços de água, esgotamento sanitário e energia (segundo informações do SNIS), a gestão de água da cidade ainda carece de melhorias, havendo também desafios relativos à vulnerabilidade energética. Os dados analisados permitiram inferir que nem todos os Índices de Desenvolvimento Sustentável (IDSC) da cidade são de fato fieis à realidade, havendo alguns problemas referentes à gestão da água que aparentemente não têm sido considerados na avaliação. Além disso, os sistemas de certificação ambiental se mostraram uma ferramenta útil para a aplicação dos ODS na escala do edifício, permitindo investigar as possibilidades de melhorias no consumo de água e energia de uma residência que não foi construída para atender a nenhuma certificação. Dessa forma, através dos resultados encontrados foi possível levantar discussões relevantes acerca da aproximação do espaço urbano à sustentabilidade ambiental.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho tinha como objetivo principal a investigação da situação atual de Petrolina (PE) frente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e à Agenda 2030 da ONU nos quesitos água e energia, bem como realizar estudo de caso em residência unifamiliar que permitisse a discussão das interferências do cenário estudado na escala do edifício. Assim, através dos levantamentos documentais acerca da realidade da cidade, da exploração do estudo de caso, das metas mundiais de sustentabilidade e das orientações dos sistemas de certificação voltados à realidade brasileira e específicos para o setor residencial, foi possível realizar a pesquisa e alcançar o objetivo almejado.

A cidade de Petrolina (PE) demonstrou um Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC) superior àqueles observados no Nordeste, em Pernambuco e na Caatinga (regiões onde está inserida). Este fato expõe o destaque da cidade, a qual compõe um arranjo populacional (AP) com a cidade e Juazeiro (BA) e forma uma capital regional C, influenciando cidades num raio de até 640km.

Observando-se mais precisamente o quesito água, percebeu-se que o percentual da população atendida com serviços de água e esgotamento sanitário (completamente tratado) corresponde a 100% e 83,65%, respectivamente. Este dado, juntamente com os demais aspectos observados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022), colocaram a cidade de Petrolina (PE) em nível muito alto de desenvolvimento no que se refere ao alcance do Objetivo 6 (Água Limpa e Saneamento), com pontuação de 85,6 (escala de 0 a 100). Entretanto, o estudo do panorama da cidade permitiu perceber que o fornecimento da água tratada ainda carece de melhorias, questão claramente observável no estudo de caso. A cidade demonstrou um índice de perda de distribuição igual a 37,74%, maior do que aquele exigido pelos ODS (12,1%), o qual, juntamente com as constantes paralizações do abastecimento e os problemas de falta de água observados na residência de estudo de caso (e em outras da cidade), demonstrou uma gestão de água falha no município.

Embora tenham sido observados aumentos nas redes de água e de esgoto²¹ e melhorias nesses, há que se discutir os pormenores em cada pontuação alcançada no IDSC, bem como no atendimento das metas traçadas pela Agenda 2030. Foi comprovado por algumas pesquisas regionais a existência de lançamento de lixo e esgoto urbano de forma irregular no rio, o que

²¹ Dado devido ao crescimento de 255% no consumo de água da cidade entre 1999 e 2020, e de 172% no volume de esgoto coletado entre 2000 e 2020 (SNIS, 2022).

demonstra certa incoerência na classificação da cidade quanto ao nível de esgotamento sanitário (onde, segundo SNIS 2022, toda a população urbana residente é atendida com esgotamento sanitário desde 2016), demonstrando também um desencontro com uma das metas dos ODS, referente à redução das águas residuais não tratadas. O descarte de esgoto bruto nas águas pluviais e a falha no abastecimento urbano demonstram que, aparentemente, algumas questões não têm sido consideradas na avaliação do Índice do Desenvolvimento Sustentável de Petrolina (PE).

Além disso, através do panorama estudado, foi possível perceber redução na formação vegetal da bacia do São Francisco, aumento da pastagem e agricultura, perda de superfície de água natural e desmatamento regional, todos influenciados por interferências antrópicas. O regime pluviométrico irregular e assimétrico (com 86% das chuvas concentrados entre dezembro e março), os baixos valores dos índices de aridez e o risco de desertificação de Petrolina (PE) demonstram a particularidade climática da cidade, expondo o espaço urbano a desafios frente ao desenvolvimento sustentável, fortemente comprometido pelos efeitos adversos das mudanças climáticas.

A preparação prévia da convivência com os episódios de seca, a partir da incorporação de medidas socioambientais que reduzam a vulnerabilidade da cidade, aumentam sua resiliência ambiental, contribuindo com o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Além da atenção necessária às questões climáticas, é importante que seja observada a questão social, uma vez que se observou uma relação direta entre acesso ao saneamento e classe social da população. Este problema conflita diretamente com os ODS, uma vez que demonstra a inexistência de acesso equitativo e universal para todos.

Algumas particularidades também foram observadas em relação ao quesito energia na região. Observou-se um nível alto de desenvolvimento quanto ao Objetivo 7 dos ODS (Energia Limpa e Acessível) na cidade de Petrolina (PE), a qual apresentou pontuação igual a 60,9 (escala de 0 a 100). Entretanto, embora 99,21% dos domicílios da cidade tenham acesso à energia elétrica, a população ainda se depara com desafios significativos em relação à vulnerabilidade energética (influenciado pelos efeitos das mudanças climáticas). Observou-se que as crises hídricas repercutem diretamente na geração de eletricidade do país, uma vez que 55% da energia elétrica do Brasil é proveniente de hidrelétricas e a redução dos níveis dos reservatórios das usinas provocam o acionamento de outras fontes, como as termelétricas. Isto, por sua vez, repercute negativamente na participação de renováveis na matriz energética

nacional. Petrolina (PE) tem alto potencial contributivo neste quesito, uma vez que possui elevados valores médio de radiação diários. Tal cenário é altamente propício para a incorporação de sistemas fotovoltaicos e painéis solares no espaço urbano, em especial nas edificações residenciais, cujo crescimento já tem sido observado nos últimos anos.

O auxílio dos sistemas de certificação escolhidos (AQUA-HQE, Casa Azul + CAIXA e GBC Brasil Casa) foi fundamental para a avaliação específica do setor residencial e da sustentabilidade ambiental na escala do edifício. Foi possível, assim, discutir a respeito da otimização do consumo de água e de energia em uma residência unifamiliar não projetada para atender a nenhuma certificação ambiental e em fase de operação, bem como a aplicabilidades desses sistemas em casos como esse. Observou-se que, embora as certificações tenham apresentado funcionalidade limitada na aplicação dos critérios em residência construída e em operação (considerando reformas e intervenções construtivas necessárias à adequabilidade), o uso de métodos profundamente estudados e amadurecidos acerca da sustentabilidade ambiental no recorte urbano foi essencial para orientar a melhoria do desempenho ambiental da residência no que se refere à água e à energia. Além disso, a pesquisa permitiu avaliar a aplicação de indicadores ambientais em uma edificação em operação por duas perspectivas: (1) a da falta de recurso, onde a otimização do consumo é almejada para minimizar a carência (caso da água do estudo de caso) e (2) a da disponibilidade plena de recurso, onde a otimização do consumo é almejada para reduzir a demanda (caso da energia do estudo de caso).

As auditorias de energia e de água realizadas na residência, por sua vez, permitiram que fossem caracterizadas as demandas de água e de energia, os pontos de maior consumo e as possibilidades de intervenção. Foi observado que os maiores consumos de água da família ocorrem nos horários do almoço e do jantar, devido ao maior uso do banheiro e da cozinha. Os banhos que ocorrem nesses horários fazem com que esses também sejam horários de maiores consumos de energia, devido ao uso de chuveiro elétrico. Além deles, o horário noturno também destaca dentre os demais, devido ao uso dos condicionadores de ar.

O chuveiro se mostrou o ponto de uso de maior consumo de água (responsável por 43% da água consumida pela família) e o terceiro equipamento que mais consome energia (16% da energia elétrica consumida na residência). A caixa de descarga mostrou-se o segundo ponto de uso de maior consumo de água (18%), seguida da máquina de lavar roupa (12%). Dentre os equipamentos de consumo energético, a geladeira foi o equipamento que demonstrou maior consumo (37%), seguida dos condicionadores de ar (32%). Essa elevada contribuição da

climatização do ar na demanda energética da família possui relação direta com o conforto térmico da residência, comprometido pela ausência de telhado (laje exposta) e elevada quantidade de elementos transparentes na envoltória. Vê-se a necessidade da incorporação de estratégias bioclimáticas que reduzam o incremento de carga térmica na residência, estando a maioria delas associadas à intervenção construtiva, o que demonstra a limitação da aplicabilidade das orientações das certificações em completude em cenários de edificações já construídas.

O levantamento desses dados e a caracterização do consumo da família tornou possível o estudo de medidas adaptativas que pudessem ser incorporadas à residência de forma que o uso de energia e de água fosse otimizado, seja através da redução da demanda ou através da atenuação da carência, respectivamente. Assim, tomando como base as indicações dos sistemas de certificação escolhidos para orientação da pesquisa, foi possível levantar discussões a respeito da contribuição que cada requisito definido pelas mesmas poderia trazer a uma residência em operação. Observou-se que alguns dos critérios de água e energia estabelecidos pelas certificações já eram atendidos pela edificação de estudo de caso, são eles: pressão dinâmica máxima da água nas instalações; medição individualizada de água e energia; áreas mínimas permeáveis; qualidade e segurança das instalações. Além desses critérios, houve aqueles que eram dispensáveis, como a medição individualizada de gás (uma vez que a família faz uso de botijão de gás) e o tratamento de águas servidas (uma vez que a residência é conectada à rede de esgotamento sanitário da cidade).

Dentre as exigências não atendidas, tem-se, por exemplo, o aproveitamento de água da chuva. Ao se realizar a análise teórica da incorporação desse sistema na edificação, observou-se que poderia ser conseguida uma contribuição de 51,63L/dia no volume de água consumida em fins que não necessitam de água potável (considerando um reservatório de 4m³ e uma área de contribuição de 76m²). É importante pontuar, entretanto, que a cidade do estudo de caso apresenta uma desuniformidade considerável no regime pluviométrico, o que faz com que o volume reservado tenha maior concentração entre os meses de novembro e abril, apresentando um contraste que vai de 136L (em fevereiro) até 3,5L (em setembro). Dessa forma, ou o uso da água pluvial fica limitado a alguns meses do ano, ou o volume consumido deve ser controlado, a fim de que o valor médio possa ser aproveitado durante todo o ano.

Quando estudadas estratégias que podem contribuir com a redução do consumo energético, foi considerada a substituição teórica dos equipamentos. Ao se calcular a mudança no consumo

que aconteceria caso os equipamentos mais representativos no uso de energia da residência fossem substituídos por aqueles de nível A de eficiência, observou-se uma redução de 12% do consumo energético residencial. Além disso, a incorporação de energias renováveis na residência também foi estudada, pois achou-se coerente considerar a geração de eletricidade através da energia solar, uma vez que a cidade de Petrolina (PE) possui elevados valores de irradiação (valor médio igual a 5,8 kWh/m²). Notou-se que, com um investimento de R\$ 11.440,22, seria possível suprir a demanda energética da residência através de um sistema formado por 4 módulos fotovoltaicos com potência nominal de 500W. O período de retorno financeiro estimado foi de 3 anos e 4 meses, considerando que a família passaria a pagar taxa mínima à concessionária da cidade após a instalação do sistema.

Assim como havia nos sistemas de certificação indicações de medidas viáveis de serem incorporadas em edificações construídas em operação, havia também aquelas cuja incorporação envolveria complexidade considerável. Isto porque a implantação de algumas das exigências das certificações demandaria intervenção construtiva não muito simples na residência, como por exemplo a separação do sistema hidrossanitário em água fria e água quente (para o caso da incorporação de placas solares), ou em águas potáveis e não potáveis (para o caso da instalação do sistema de reuso e de aproveitamento de água da chuva). Entretanto, ainda que não seja fácil a incorporação dos sistemas para uso em capacidades máximas, seu uso pode ser considerado de forma mais simplificada, sem que haja tanta necessidade de quebras e adaptações construtivas na instalação já existente. Isso pode ser conseguido, por exemplo, através do aproveitamento de água da chuva apenas para suprir a demanda do jardim, sendo, neste caso, necessária apenas uma torneira na área externa da residência, ligada diretamente ao reservatório de acumulação.

No caso do sistema de reuso, entretanto, a situação é um pouco mais complicada, uma vez que as águas residuárias requerem maior atenção no que se refere ao tratamento que precede o reaproveitamento. Assim, a incorporação dessa estratégia, além de envolver interferência nas instalações já construídas da residência, também demandariam um investimento financeiro considerável sem perspectiva de retorno, uma vez que a família já paga taxa mínima à concessionária e não haverá redução da conta de água para abater o investimento. Caso esse sistema tivesse sido considerado em fase de projeto hidrossanitário, sua incorporação poderia contribuir com 120,35L diários de águas não potáveis (considerando o consumo atual da residência). Esse volume, quando somado ao volume diário médio de água da chuva possível

de ser armazenado supriria por completo a demanda de água não potável na residência²², sendo capaz de reduzir em 57,7% a pressão exercida no sistema de abastecimento da cidade, uma vez que 171,98L de água potável seria substituído pelas águas dos sistemas.

Dessa forma, é possível perceber que as orientações dos sistemas de certificação quanto ao uso de água e de energia são úteis para residências em operação que não foram projetadas para atender a nenhuma certificação ambiental. Os indicadores das certificações podem contribuir significativamente com a otimização dos consumos familiares e com o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no espaço urbano. Entretanto, é importante pontuar que a adequação das residências a alguns dos critérios estabelecidos pelas certificações envolve certa complexidade, demonstrando uma flexibilidade limitada dos sistemas de certificação à aplicação em residências como a do estudo de caso.

Através da pesquisa realizada, foi possível discutir acerca do cenário de Petrolina (PE) frente aos objetivos mundiais de sustentabilidade (ODS e Agenda 2030) referentes ao quesito água e energia. O estudo permitiu identificar divergências entre a classificação da cidade quanto ao Índice de Desenvolvimento Sustentável e os dados oficiais (bem como aqueles pouco divulgados, percebidos sob maior aproximação, por meio de pesquisas regionais e estudos de caso), principalmente quanto à gestão de água e ao esgotamento sanitário da cidade. A pesquisa também permitiu levantar possibilidades de melhorias na gestão e no consumo de água e de energia na escala urbana e, em especial, na escala do edifício, trazendo reflexões a respeito das contribuições que as orientações dos sistemas de certificação ambiental podem trazer ao uso desses recursos em âmbito residencial. Considerou-se, assim, os objetivos propostos atingidos.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Uma vez que a presente pesquisa se concentrou na exploração de apenas 2 dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (referente à água e à energia), sugere-se que outras pesquisas sejam realizadas para discutir acerca do alcance dos demais ODS em escala urbana e/ou do edifício para esta e outras realidades climáticas brasileiras.

Uma outra sugestão de tema que pode ser melhor aprofundado é referente à confiabilidade das pontuações dos Índices de Desenvolvimento Sustentável das Cidades para cada Objetivo,

²² A demanda de água não potável considerada leva em conta o volume consumido no jardim antes da redução do abastecimento.

uma vez que foram observadas certas incongruências com as classificações da cidade quando ao quesito água, questão essa que também pode ser mais profundamente investigada. Além do problema de descarte de esgoto bruto no Rio São Francisco que, aparentemente, não foi computado pelos dados do SNIS (2022), há também a questão das falhas no fornecimento de água, observado no estudo de caso. Podem ser estudadas, assim, possíveis adaptações tanto na rede de esgotamento sanitário (intuito de cessar o descarte do esgoto bruto no rio) quanto na rede de distribuição de água (intuito de reduzir a necessidade de interrupções no abastecimento do município, bem como suas perdas).

Sabendo que o estudo da escala do edifício desta pesquisa se concentrou na otimização do consumo de água e energia de uma edificação em uso segundo orientações dos sistemas de certificação, ela deteve-se em verificar o que mudaria no consumo residencial caso as orientações das certificações fossem seguidas. Dessa forma, o que se teve foi, na verdade, uma aproximação inicial dos assuntos relacionados à adaptabilidade de edificações já construídas não projetadas para atender a nenhuma certificação ambiental. Dessa forma, sugere-se que seja estudado de forma mais aprofundada a viabilidade econômica e o grau de dificuldade da incorporação das estratégias estudadas na presente pesquisa, principalmente no que se refere aos sistemas que demandam intervenção construtiva.

O presente estudo de caso se concentrou na investigação da economia de água e energia que pode ser conseguida em residência unifamiliar de padrão médio. Sugere-se, assim, que sejam realizadas pesquisas voltadas para conjuntos habitacionais multifamiliares, de outros padrões econômicos e outras realidades climáticas, uma vez que os sistemas de certificações trazem critérios avaliativos também para tal tipo de edificação.

Uma vez que a residência e estudo de caso escolhido sofria com problemas de abastecimento, considera-se relevante sugerir que sejam feitas pesquisas também em residências em estado pleno de abastecimento, uma vez que esse cenário permite investigar redução de consumo e não a incorporação de fontes alternativas de abastecimento. Em residências que consomem quantidade de água que ultrapassa a taxa mínima da concessionária, é relevante avaliar o investimento necessário para a incorporação dos sistemas indicados pelas certificações, uma vez que o custo financeiro da incorporação da estratégia pode ser posteriormente abatido pela economia conseguida nas contas mensais de água, cenário este que não pôde ser considerado no presente estudo de caso.

Outro quesito que se considera relevante de ser estudado é a situação do abastecimento de água da cidade de Petrolina (PE), visando identificar junto a concessionária o porquê de existir famílias submetidas a realidades de escassez hídrica numa região central de cidade banhada pelo rio São Francisco e, teoricamente, 100% abastecida por água tratada.

No que se refere ao método de monitoramento utilizado para auditoria de água e energia, é interessante que as próximas pesquisas considerem realiza-lo de forma a interferir minimamente no dia-dia dos ocupantes, sem que seja necessária qualquer participação da família no monitoramento, uma vez que isso pode interferir nos consumos finais. Sugere-se, por exemplo, que a caracterização do consumo de água seja feita através da instalação de um hidrômetro associado a um *Data Logger* na saída da caixa d'água, uma vez que essa técnica é não intrusiva e consegue ser aplicada sem a percepção do usuário.

REFERÊNCIAS

- ABEP. **Critério de Classificação Econômica Brasil**. Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa. São Paulo: [s.n.].
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989. 13p.
- _____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 13969**: Tanques Sépticos - Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes Líquidos - Projeto, Construção e Operação. Rio de Janeiro, 1997. 60p.
- _____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3** - Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 2005
- _____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho Térmico de Edificações - parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2008.
- _____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: água de chuva: aproveitamento em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
- ABSOLAR (São Paulo). **Geração residencial de energia solar chega a 16 mil unidades no Brasil**. 2017. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/geracao-residencial-de-energia-solar-chega-a-16-mil-unidades-no-brasil/>. Acesso em: 22 jun. 2021.
- Agência de Notícias do IBGE. **MUNIC 2017: 48,6% dos municípios do país foram afetados por secas nos últimos 4 anos**. 2018. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/21636-munic-2017-48-6-dos-municipios-do-pais-foram-afetados-por-secas-nos-ultimos-4-anos>. Acesso em: 18 ago. 2020.
- Agência IBGE Notícias. **IBGE mostra a nova dinâmica da rede urbana brasileira**. 2008. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/13558-asi-ibge-mostra-a-nova-dinamica-da-rede-urbana-brasileira>. Acesso em: 03 jun. 2022.
- AgênciaBrasil (Brasília). **Aneel cria nova bandeira tarifária, e conta de luz fica mais cara**. 2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2021-08/aneel-cria-nova-bandeira-tarifaria-e-counta-de-luz-fica-mais-cara>. Acesso em: 31 ago. 2021.
- ALCANTARA, I. R. M. G. et al. **Técnicas de auditoria do consumo de água: relatos de experi~encia em campo**. In: Tecnologia, ambiente e sustentabilidade: coletânea de artigos. Brasília: LaSUS FAU, 2021. p. 142–156.
- ALMEIDA, Hermes Alves de. MARQUES, Maysa Porto Farias. Análises Comparativas De Índices De Seca Meteorológica Para O Polo De Petrolina, PE, E Juazeiro, BA. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 06, Ed. 04, Vol. 06, pp. 81-98. Abril de 2021.
- AMARAL, M. A. T.. **Green Building: análise das dificuldades (ainda) enfrentadas durante o processo de certificação LEED no Brasil**. 2013. Dissertação (Mestrado em

Responsabilidade Social Corporativa) - Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas, Rio de Janeiro. 2013

AMARAL, V. P.; MORAES, J. D. S.; COSTA, J.; SANTIAGO, A. Estimativa de suscetibilidade à desertificação por meio dos índices de aridez aplicados no município de Petrolina-PE. In: Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 18.; SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 2., 2014, Belém, PA. **Anais[...]** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014.

ANA - Agência Nacional de Águas . GEF – Fundo para o Meio Ambiente Mundial. PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. OEA – Organização dos Estados Americanos. **Estudo Técnico de Apoio ao PBHSF - Nº 10: controle de cheias.** Brasília, 2004. 65 p.

_____. Agência Nacional de Águas. CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. A questão da Água no Nordeste. **A Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco: usos, balanço hídrico, gestão e desafios.** Brasília: CGEE, 2012. Cap. 5. p. 159-181.

_____. Agência Nacional de Águas. **Estudo da ANA aponta perspectiva de aumento do uso de água no Brasil até 2030.** abril 2019. Disponível em:

<https://www.ana.gov.br/noticias/estudo-da-ana-aponta-perspectiva-de-aumento-do-uso-de-agua-no-brasil-ate-2030>. Acesso em: 27 jun 2021

ANDRADE, Matheus Vinicius Vidal de; GALHARDO, Cristiane Xavier. BIOREMEDIATION OF THE SÃO FRANCISCO RIVER EFFLUENTS IN PETROLINA-PE: treatment perspectives. **Risus - Journal On Innovation And Sustainability**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 70-82, fev. 2021.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Banco de Dados de Empreendimentos Outorgados do SIGA:** sistemas informações de geração da aneel siga. Sistemas Informações de Geração da ANEEL SIGA. 2022. Disponível em:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 26 set. 2022b.

_____. - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Valores das bandeiras tarifárias são atualizados para o período 2022-2023.** 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/valores-das-bandeiras-tarifarias-sao-atualizados-para-o-periodo-2022-2023>. Acesso em: 26 set. 2022a.

AWWARF. AWWA Research Foundation. **Residential End Uses of Water.** [s.l: s.n.]. 1999

AZEVEDO, N. J. D. DE. Sistema Para Avaliação De Sustentabilidade Do Ambiente Construído : Aplicação À Habitação De Interesse Social Na Região Metropolitana Do Recife. Recife: UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, 2008.

BALASSIANO, Michel. **ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE REÚSO DE ÁGUAS SERVIDAS: estudo de caso do caxias shopping.** 2018. 103 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

BARRETO, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 23–40, 2008.

BARRETO, D.; MEDEIROS, O. Caracterização da vazão e frequência de uso de aparelhos sanitários. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 4, p. 137–149, 2008.

BENAVIDES, J. R. **Auditoria Energética Como Ferramenta Para O Aproveitamento Do Potencial De Conservação Da Energia: O Caso Das Edificações Do Setor Educacional**. São Paulo: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO INSTITUTO, 2014.

BERTUZZI, G.; GHISI, E. **Potential for potable water savings due to rainwater use in a precast concrete factory**. *Water (Switzerland)*, v. 13, n. 4, p. 16, 2021.

BETTENCOURT, Pedro *et al.* Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco. **Revista Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 37, n. 1, p. 73-80, mar. 2016. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH). <http://dx.doi.org/10.5894/rh37n1-cti3>.

BRASIL **Resolução CNRH n° 54**, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Publicado no D.O.U.

BRASIL (2022). Lei n° 14.300, de 06 de janeiro de 2022. **Lei N° 14.300**. 5. ed. Brasília, Seção 1.

_____, **LEI COMPLEMENTAR N° 034/2022**. Plano Diretor Participativo
BRASIL. Congresso. Câmara dos Deputados. **Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro**. Texto de José de Sena Pereira Júnior. Brasília: Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, 2007.

_____. Ministério da Integração Nacional; INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; FUNCATE – Fundação de Ciência Aplicações e Tecnologia Espaciais. **Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional: R32** - relatório síntese de viabilidade técnico-econômica e ambiental. Projeto São Francisco – Água para todos. Brasília: ENGECORPS/HARZA, 2000. 307 p.

_____. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL. **TRANSFORMANDO NOSSO MUNDO: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. 2016. 59 p.

BRITO; Luiza Teixeira de Lima et al. **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 2007. 181 p.

BUORO, A. B. et al. A certificação ambiental de edifícios. In: **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 591.

CAIXA. **GUIA SELO CASA AZUL + CAIXA**. v. 010. Brasília: Caixa, 2022. 43 p.

CAMILO, Lucas Vilela; MAGALHÃES, Kethlyn Carvalho de Oliveira; SANTOS, Clarissa Vitória Borges dos. **SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO WETLANDS**. XII Semana Universitária e XI Encontro de Iniciação Científica UNIFIMES 2017: Semana Nacional de Ciência e Tecnologia 2017, Anápolis, 2017.

CARMO, ROBERTO L ; DAGNINO, R. S. ; FEITOSA, F. F. ; JOHANSEN, I. C. ; CRAICE, C. . População e consumo de água no Brasil: interfaces e desafios. In: **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2013, Bento Gonçalves. Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013.

CASAGRANDE, B. **Proposta de indicadores para certificação de edifícios inteligentes e sustentáveis**. Campinas: PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS, 2019.

CAVALCANTI, R. C. **O CONSUMO ENERGÉTICO RESIDENCIAL EM CAMPO GRANDE E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**. Florianópolis: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2002.

CEMIG. **Guia do Melhor Consumo: Dicas de Economia de Energia e Segurança Com a Rede Elétrica**. 2014. Disponível em: https://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/Eficiencia_Energetica/Documents/GUIA%20MELHOR%20CONSUMO_CARTILHA.pdf Acesso em: 10 Mar. 2019

CEP. Companhia Energética de Petrolina (Petrolina). **História**. 2016. Disponível em: <http://www.ciapetrolina.com.br/a-cep>. Acesso em: 22 jun. 21.

CEQUEIRA, Michelle Adelino; RODRIGUES, Flávia Mazzer; ALMEIDA, Gleymeron Vieira Lima de. **SUSCEPTIBILIDADE A DESERTIFICAÇÃO PARA O ESTADO DE PERNAMBUCO**. *Geosul*, Florianópolis, v. 35, n. 76, p. 151-170, dez. 2020.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. Brasília, 2016. 252 p.

CHESF - COMPANHIA HIDROELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO. **Sobradinho atinge 100%**. 2022. Disponível em: https://chesf.gov.br/_layouts/15/Chesf_Noticias_Farm/Noticia.aspx?IDNoticia=1077. Acesso em: 25 maio 2022.

_____. Companhia Hidrelétrica do São Francisco. **Centro de Referência em Energia Solar de Petrolina. CRESP**. Disponível em: <https://www.chesf.gov.br/pdi/Documents/Centro%20de%20Refer%C3%Aancia%20em%20Energia%20Solar%20de%20Petrolina.pdf> Acesso em: 22 jun 2021

CIRILO, José Almir; CAMPOS, José Nilson B.; MONTENEGRO, Suzana M. G. L.. **A questão da água no Semiárido brasileiro**. Academia Brasileira de Ciências. Águas no Brasil: análises estratégicas. Editors: Carlos E. de M. Bicudo, José Galizia Tundisi, Marcos C. Bansley Schevenstuh, 2010. Cap. 5. p. 79-91.

COELHO, D. F. B.; CRUZ, V. H. DO N. **EDIFÍCIOS INTELIGENTES**: uma visão das tecnologias aplicadas. São Paulo: Blucher, 2017.

COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A.; DIAS, M. C. **Consumo de água em residências de baixa renda** - estudo de caso. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2009.

COMPESA. **Compesa anda lado a lado com o desenvolvimento de Petrolina**. Petrolina, 21 set 2017a. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/compesa-anda-lado-a-lado-com-o-desenvolvimento-de-petrolina/#:~:text=E%20a%20Companhia%20Pernambucana%20de,%C3%A1gua%20e%20de%20esgotamento%20sanit%C3%A1rio>. Acesso em: 25 mar. 2021.

_____. **Compesa comemora posição de Petrolina no ranking do Saneamento**. Petrolina, 03 jan. 2018b. <https://servicos.compesa.com.br/compesa-comemora-posicao-de-petrolina-no-ranking-do-saneamento/#:~:text=Compesa%20comemora%20posi%C3%A7%C3%A3o%20de%20Petrolina%20no%20ranking%20do%20Saneamento,-18%20de%20abril&text=O%20novo%20ranking%20divulgado%20pelo,melhor%20%C3%A1ndice%20de%20saneamento%20b%C3%A1sico.&text=Petrolina%20subiu%2020%20posi>

%C3%A7%C3%B5es%20no,ao%20estudo%20do%20ano%20passado. Acesso em: 25 mar. 2021.

_____. **Compesa continua com investimentos em obras de esgotamento sanitário em Petrolina.** Petrolina, 10 abr 2019. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/compesa-continua-com-investimentos-em-obras-de-esgotamento-sanitario-em-petrolina/> Acesso em: 23 mar. 2021.

_____. **Compesa Investe em Melhorias no Sistema de Esgotamento Sanitário na Orla I de Petrolina.** Petrolina, 20 abr. 2020. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/compesa-investe-em-melhorias-no-sistema-de-esgotamento-sanitario-na-orla-i-de-petrolina/#:~:text=MANIFESTA%C3%87%C3%83O%20DE%20INTERESSE-,COMPESA%20INVESTE%20EM%20MELHORIAS%20NO%20SISTEMA%20DE,NA%20ORLA%20I%20DE%20PETROLINA&text=A%20Compesa%20est%C3%A1%20investindo%20cerca,da%20Orla%20I%20de%20Petrolina.> Acesso em: 23 mar. 2021.

_____. **Governo Paulo Câmara consegue recursos da Codevasf para Petrolina.** Petrolina, 16 mar 2018a. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/governo-paulo-camara-consegue-recursos-da-codevasf-para-petrolina/#:~:text=Governo%20Paulo%20C%C3%A2mara%20consegue%20recursos%20da%20Codevasf%20para%20Petrolina,-16%20de%20mar%C3%A7o&text=O%20munic%C3%ADpio%20de%20Petrolina%2C%20n> o,Henrique%20Leite%20e%20Idalina%20Bezerra. Acesso em: 25 mar. 2021.

_____. **Obras De Ampliação Do Sistema De Esgotamento Sanitário De Petrolina Avancam.** Petrolina, 11 mar. 2021. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/obras-de-ampliacao-do-sistema-de-esgotamento-sanitario-de-petrolina-avancam/>. Acesso em: 23 mar. 2021.

_____. **Relatório e Tabelas. Índice de Atendimento Urbano de Água e Esgoto por município – 2016.** Petrolina, 03 jan. 2017b. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/relatorios-e-tabelas>. Acesso em: 25 mar. 2021.

CONSELHO NACIONAL E RECURSOS HÍDRICOS. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. **Resolução n. 54**, de 28 de novembro de 2005. 3p. Diário Oficial da União. Brasília-DF, 09 mar. 2006

CRESESB - Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 01 jul. 2022.

CRISPIM, A. B. et al. **A questão da seca no semiárido nordestino e a visão reducionista do estado: a necessidade da desnaturalização dos problemas socioambientais.** Ambiente & Educação, p. 39–59, 2016.

CRISTIANO ANDRÉ TEIXEIRA. **APLICAÇÃO DO MÉTODO BOTTOM-UP PARA ESTIMATIVA DE USOS FINAIS DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO.** Florianópolis: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2020.

DANTAS, Stefano Giacomazzi; POMPERMAYER; Fabiano Mezadre. **Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil e Possíveis Efeitos no Setor Elétrico**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Brasília: Rio de Janeiro: IPEA, 1990. 42p. maio 2018. ISSN 1415-4765

DEOREO, W. B.; HEANEY, J. P.; MAYER, P. W. **Flow trace analysis to access water use**. **Journal** - American Water Works Association, v. 88, n. 1, p. 79–90, jan. 1996.

DIAS, C. H. A. **Classificação filogenética e perfil de resistência a antibacterianos e metais pesados em cepas de Escherichia coli isoladas do Rio São Francisco, município de Petrolina – PE**. Petrolina: Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2018. 61p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina.

DIAS, C.H.A.D; DINARCO, R.V.; MARTINS, M.G. Balneabilidade e Percepção Pública das Águas do Rio São Francisco, Região de Petrolina–PE. **Revista Científica do ITPAC** V.15, n1, pub.7, fevereiro de 2022. DOI: 10.29327/231587.15.1-7

do Município de Petrolina.67p. fev 2022.

ELETOBRAS. ProcelINFO. PPH - **Pesquisa de posse de eletrodomésticos e hábitos de consumo**, classe residencial. Rio de Janeiro, 2019.

ELKINGTON, J. **Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development**. California Management Review, v.36, n.2, p.90-100, 1994.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Planejamento da Transmissão**: base de dados. fluxo de potência. Rio de Janeiro. 2022c.

_____. - Empresa de Pesquisa Energética. **Atlas da Eficiência Energética Brasil 2021**: relatório de indicadores. Rio de Janeiro. 2021. 83 p.

_____. - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional**: relatório síntese 2022 (ano base 2021). Rio de Janeiro. 2022b. 67 p.

_____. Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**: ano base 2021. Ano base 2021. 2022a.

_____. Empresa de pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**: relatório síntese. Rio de Janeiro. 2018. 62 p.

_____. Empresa de pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**. Relatório Final. Brasília. 2011. 267 p.

_____. Empresa de pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**. Relatório Final. Brasília. 2013. 284 p.

FEDRIGO, N. S.; GONÇALVES, G.; LUCAS, P. F. **Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro**. Florianópolis: [s.n.].

FLÖRKE, M., C. Schneider and R.I. McDonald, 2018: **Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth**. Nat. Sustain., 1(1), 51–58, doi:10.1038/s41893-017-0006-8.

FUNDAÇÃO VANZOLINI CERQUAL. **EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS EM CONSTRUÇÃO: AQUA-HQE™ Certificado por Fundação Vanzolini e Cerqual. Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios Residenciais em Construção**. [s.l: s.n.]. 143p. 2021

FUNDAÇÃO VANZOLINI E CERWAY (São Paulo) (org.). **Referencial Técnico-Edifício Sustentável GUIA PRÁTICO AQUA-HQE™ EDIFÍCIOS EM OPERAÇÃO**: edifício sustentável. São Paulo: ., 2017. 324 p. 014.

GBC - U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. **Reference Guide for Building Operations and Maintenance**. [s.l.] U.S. Green Building Council, 2019.

GBC BRASIL - Green Building Council Brasil. **Certificação GBC Brasil Casa®: GUIA RÁPIDO**, 2017.

GBC BRASIL - Green Building Council Brasil. **Certificação GBC Brasil LIFE®: GUIA COMPLETO**, 2021.

GHISI, Enedir *et al.* **USO RACIONAL DE ÁGUA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL**: uso de fontes alternativas de água. Florianópolis, 2015. 38 p. 2 v.

GHISI, Enedir; CORDOVA, Marcelo Marcel. **Netuno 4: manual do usuário**. Florianópolis: ., 2014. 62 p.

GO ASSOCIADOS. **Estudo de Perdas de Água do Instituto Trata Brasil de 2022 (SNIS 2020)**: desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico no brasil. São Paulo, 2022a. 74 p.

_____. **Ranking do Saneamento Instituto Trata Brasil 2022 (SNIS 2020)**. São Paulo, 2022b. 139 p.

GOULART, Solange. **Sustentabilidade nas Edificações e no Espaço Urbano**. Disciplina desempenho térmico de edificações. Laboratório de Eficiência Energética em edificações. UFSC. Florianópolis, 2007. 32 p.

HAMMES, Gabriela; GHISI, Enedir; THIVES, Liseane Padilha. Water end-uses and rainwater harvesting: a case study in brazil. **Urban Water Journal**, [S.L.], v. 17, n. 2, p. 177-183, 7 fev. 2020. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/1573062x.2020.1748663>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. **Panorama Petrolina**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/petrolina/panorama>. Acesso em: 05 fev. 2019.

_____. - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão Urbano-Regional do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2021. 144 p.

_____. - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Regiões de Influência das Cidades 2018**. Volume especial. Rio de Janeiro, 2020b. 56 p.

_____. - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**: características gerais dos domicílios e dos moradores 2019. Rio de Janeiro. 2020c. 9 p.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Em 2017, o Brasil consumia 6,3 litros d'água para cada R\$ 1 gerado pela economia**. 2020a. Editora Estatísticas Econômicas. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/27607-em-2017-o-brasil-consumia-6-3-litros-d-agua-para-cada-r-1-gerado-pela-economia>. Acesso em: 08 set. 2021.

IDSC - ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DAS CIDADES – BRASIL (São Paulo). **Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil: a evolução das 5.570 cidades brasileiras em direção a agenda 2030 da ONU.** A evolução das 5.570 cidades brasileiras em direção a agenda 2030 da onu. 2022. Disponível em: <https://idsc.cidadessustentaveis.org.br/>. Acesso em: 21 ago. 2022.

IEMA. **Geração termoelétrica e emissões atmosféricas: poluentes e sistemas de controle.** São Paulo: [s.n.].

INMETRO. . **Normal Climatológica do Brasil 1991-2020:** direção predominante do vento (pontos cardeais e colaterais). Direção Predominante do vento (Pontos cardeais e colaterais). 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais#>. Acesso em: 20 jan. 2022.

_____. **Tabelas de eficiência energética.** 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica>. Acesso em: 20 mar. 2022.

_____. **Anexo geral V - N° 50/2013.** Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros. Inmetro. p. 01 – 28. 2017.

IPCC - Intergovernmental Panel Of Climate Change. **Climate Change 2022:** Mitigation Of Climate Change - Summary For Policy Makers. Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report Of the Intergovernmental Panel On Climate Change. 2022. 53 p. ISBN 978-92-9169-160-9.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. . **ETIQUETAGEM DE APARELHOS ELÉTRICOS FIXOS DE AQUECIMENTO INSTANTÂNEO DE ÁGUA.** 2019. São Paulo. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/consuce.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2022.

JANJUA, Shahana; SARKER, Prabir; BISWAS, Wahidul. Sustainability assessment of a residential building using a life cycle assessment approach. **Chemical Engineering Transactions**, [S.L.], v. 72, p. 19-24, fev. 2019. AIDIC: Italian Association of Chemical Engineering. <http://dx.doi.org/10.3303/CET1972004>.

KIPERSTOCK, Asher. **Como medir o atraso das cidades em termo de sustentabilidade,** 22 de jun. de 2021. Notas de Aula. Disciplina. De Dinâmicas do Espaço Habitado, Universidade Federal de Alagoas. 2021

KITA, Monica Fischer Nunes. ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DAS CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS AOS DESAFIOS DA AGENDA 2030. **Revista Internacional de Ciências**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 27-46, 21 jun. 2018. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/ric.2018.30754>.

KUMAR, A. et al. Electrical Energy Audit in Residential House. **Procedia Technology**, v. 21, p. 625–630, 2015.

LAMBERTS, R. **Desempenho térmico em edificações.** Florianópolis: [s.n.]. v. 7o

LAMBERTS, R. et al. Brasil, **Plano Nacional de Eficiência Energética, etiquetagem e o selo Casa Azul da Caixa.** In: Edifício Ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 592.

LAMBERTS, R. et al. **Casa Eficiente** - Consumo e Geração de Energia. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. v. 2

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R.. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Florianópolis: Eletrobras/Procel, 2014. 382 p.

LEAL, N. M. G. **Influência de medidas de conservação de energia no desempenho energético: estudo de caso de um hotel econômico de pequeno porte em Maceió-AL**. Maceió: Universidade Federal ed Alagoas, 2018.

LIU, S. et al. Impacts of residence time during storage on potential of water saving for grey water recycling system. **Water Research**, v. 44, n. 1, p. 267–277, jan. 2010.

LOPES, Iug; GUIMARÃES, Miguel Júlio Machado; MELO, Juliana Maria Medrado de; RAMOS, Clovis Manoel Carvalho. **Balanço Hídrico em Função de Regimes Pluviométricos na Região de Petrolina-PE**. Irriga, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 443-457, 28 ago. 2017. Brazilian Journal of Irrigation and Drainage - IRRIGA. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v22n3p443-457>.

MAPBIOMAS. **BACIA DO SÃO FRANCISCO: Dia Nacional em Defesa do Rio São Francisco**. FACTSHEET. 2020. 11 p.

MARINOSKI, Ana Kelly. **Método para avaliação de viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial**. 2010. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

MATALLO JUNIOR, H. **A desertificação no mundo e no Brasil**. Desertificação. Brasília: UNESCO. 2003.

MATHEUS, Dácio Roberto et. al.. UFABC, Univerdidade Federal do ABC. FUNASA, Fundação Nacional de Saúde, Ministério da Saúde; SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Manual de Sistemas de Wetlands Construídas para o Tratamento de Esgotos Sanitários: Implantação, Operação e Manutenção**. 53f. São Paulo, 2018.

MI - Ministério da Integração Nacional; INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; FUNCATE – Fundação de Ciência Aplicações e Tecnologia Espaciais. **Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional: R32** - relatório síntese de viabilidade técnico-econômica e ambiental. Projeto São Francisco – Água para todos. Brasília: ENGEORPS/HARZA, 2000. 307 p.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos (org.). **Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco**. Brasília: Il. Color, 2006. 148 p.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **CONSUMO SUSTENTÁVEL: manual de educação**. Brasília: Consumers International, 2005. 160 p.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira**. Fonte: Ministério de Minas e Energia. 2018 Disponível em: http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/31252/1/2017_AdrianadeSouzaOliveira.pdf. Acesso em: 05 mar. 2019

MONTES, M. A. T. **DIRETRIZES PARA INCORPORAR CONCEITOS DE SUSTENTABILIDADE NO PLANEJAMENTO E PROJETO DE ARQUITETURA RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR E COMERCIAL EM FLORIANÓPOLIS**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

NASCIMENTO, KKF, Santos, FS, Jale, JS & Ferreira, TAE. (2020). Comparison of methods and distribution models for the modeling of wind speed data in the municipality of Petrolina, Northeast Brazil. **Research, Society and Development**, 9(7): 1-16, e308974221.

NHAMO, Godwell; DUBE, Kaitano; CHIKODZI, David. Sustainable Development Goals: concept and challenges of global development goal setting. **Handbook Of Global Health**, [S.L.], p. 1-40, 2020. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-05325-3_79-1.

OLIVEIRA, Leandro Faroni de. **Microgeração de Energia Solar em Residências e Suas Aplicações**. 2015. 43f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica, Departamento de Engenharia Elétrica, Rio de Janeiro, 2015.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Geração por Usina em Base horária**. 2022. Disponível em: <https://dados.ons.org.br/dataset/geracao-usina>. Acesso em: 26 set. 2022.

PBE EDIFICA. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R)**. 2021. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/nova-ini/inir>. Acesso em: 05 fev. 2022.

PCS - Programa Cidades Sustentáveis (São Paulo) **PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS**. Disponível em: <https://www.cidadessustentaveis.org.br/paginas/pcs>. Acesso em: 20 ago. 2022a.

_____. - PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS (São Paulo). **Guia de Indicadores para a Gestão Pública (GPS)**. Disponível em: https://www.cidadessustentaveis.org.br/arquivos/Publicacoes/Guia_de_Indicadores_para_a_Gestao_Publica.pdf. Acesso em: 21 ago. 2022b.

_____. - Programa Cidades Sustentáveis. **Guia de Referências para Produção de Indicadores e para Metas de Sustentabilidade Urbana**. 2019. Disponível em: https://www.cidadessustentaveis.org.br/assets/pdf/Referencias-para-indicadores-e-metas_PCS-CEBRAP_2019.pdf. Acesso em: 06 set. 2022.

_____. - Programa Cidades Sustentáveis. **O Sistema de Informações Geográficas do Programa Cidades Sustentáveis**. 2022c. Disponível em: <https://www.cidadessustentaveis.org.br/planejamento-integrado/sig>. Acesso em: 06 set. 2022.

PEIXOTO BOTELHO, G. L. **Avaliação do consumo de água em domicílios: fatores intervenientes e metodologia para setorização dos usos**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2015.

PEREIRA, E. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. [s.l.] Universidade Federal de São Paulo, 2017.

PERNAMBUCO. Diário Oficial de Pernambuco. **Esvaziamento de Três Marias ameaça Rio São Francisco**. Minas Gerais, 13 jan 2016a. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/brasil/2016/01/esvaziamento-de-tres-marias-ameaca-rio-sao-francisco.html>. Acesso em: 25 mar 2021.

_____. Diário Oficial de Pernambuco. **Minas anuncia medidas para garantir reserva de água no Rio São Francisco**. Minas Gerais, 14 jan. 2016. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/brasil/2016/01/minas-anuncia-medidas-para-garantir-reserva-de-agua-no-rio-sao-francis.html>. Acesso em: 25 mar 2021.

_____. Diário Oficial de Pernambuco. **Minas anuncia medidas para garantir reserva de água no Rio São Francisco.** Minas Gerais, 14 jan. 2016b. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/brasil/2016/01/minas-anuncia-medidas-para-garantir-reserva-de-agua-no-rio-sao-francis.html>. Acesso em: 25 mar 2021.

_____. Diário de Pernambuco. **Petrolina dará descontos de até 80% no IPTU para quem usar energia solar.** 2020. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/economia/2020/03/petrolina-dara-descontos-de-ate-80-no-iptu-para-quem-usar-energia-sol.html>. Acesso em: 08 set. 2021.

_____. Diário Oficial de Pernambuco. **Região banhada pelo Rio São Francisco é tema de reunião de especialistas em Petrolina.** 21 mai 2015b. Acesso em: < <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2015/05/regiao-banhada-pelo-rio-sao-francisco-e-tema-de-reuniao-de-especialistas-em-petrolina.html>. Acesso em: 25 mar 2021.

_____. Diário Oficial de Pernambuco. **Sobradinho tem a maior vazão em sete anos.** Pernambuco, 06 nov 2020. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/economia/2020/11/sobradinha-tem-a-maior-vazao-em-sete-anos.html> Acesso em: Acesso em: 25 mar 2021.

_____. GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. **Domicílios particulares permanentes, moradores e média de moradores em domicílios particulares permanentes, por situação do domicílio (IBGE). 2010.** Disponível em: http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=1111&Cod=3 Acesso em: 18 ago. 2020.

PETROLINA. **Prefeitura inicia obra aguardada por décadas no Dom Avelar.** Petrolina, 23 Set 2019a. Disponível em: <https://petrolina.pe.gov.br/prefeitura-inicia-obra-aguardada-por-decadas-no-dom-avelar/> Acesso em: 22 mar. 2021.

_____. **Prodecon notifica Compesa após 60 bairros de Petrolina ficarem sem água em pleno Natal.** Petrolina, 27 Fev 2019b. Disponível em: <https://petrolina.pe.gov.br/prodecon-notifica-compesa-apos-60-bairros-de-petrolina-ficarem-sem-agua-em-pleno-natal/> Acesso em: 22 mar. 2021.

PIASSINI, Diógenes Júnior et al. **Conceitos Da Arquitetura Bioclimática Ligados ao Conforto Térmico e Eficiência Energética Dos Edifícios.** Anais de Arquitetura e Urbanismo / ISSN 2527-0893, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 78 - 90, dec. 2016. ISSN 2527-0893.

POMPÊO, Marcelo. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros.** São Paulo ; Instituto de Bio- ciências da USP, 2017. 138 p. : il.

PPSEC Engenharia Ltda (Petrolina). **PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE PETROLINA (PE), REFERENTE ÀS PRESTAÇÕES DOS SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO.** Petrolina, 2019. 454 p.

PROCEL. Programa Nacional de Conservação de Energia. **Selo Procel de Economia de Energia.** 2021 Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7b88A19AD9-04C6-43FC-BA2E-99B27EF54632%7d> . Acessado em abr. 2022

PROCEL. Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. **Procel Info: pesquisas de posse e hábitos de consumo de energia (pphs). Pesquisas de Posse e Hábitos de Consumo de Energia (PPHs).** 2019. Disponível em: <http://www.procel.gov.br/main.asp?View={4A5E324F-A3B0-482A-B1CD-F75A2A150480}>. Acesso em: 15 jul. 2022.

_____. Programa Nacional de Conservação de Energia. **Resultados PROCEL 2018: Ano Base 2017.** Rio de Janeiro: Procel/Eletrobras. 2018.

RAMALHO, Maria Francisca de Jesus Lírio. **A fragilidade ambiental do Nordeste brasileiro: o clima semiárido e as imprevisões das grandes estiagens. Sociedade e Território**, Natal, v. 25, n. 2, p. 104-115, jul/dez, 2013.

REIS, Juliana Linhares Brant; ABRAHÃO, Bruno Otávio de Lacerda; MOURA, Diego Luz. OS PROBLEMAS DO RIO SÃO FRANCISCO NA PERCEPÇÃO DE MORADORES DE PETROLINA E JUAZEIRO: a saúde em foco. **Saúde e Pesquisa**, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 473, 12 fev. 2018. Centro Universitario de Maringa. <http://dx.doi.org/10.17765/1983-1870.2017v10n3p473-484>.

RIBEIRO, Ana Kelly Marinoski. **Método para avaliação do impacto ambiental da implantação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e água cinza em residências unifamiliares a partir da análise do ciclo de vida.** 2015. 276 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

ROCHA, A. L.; BARRETO, D. **PERFIL DO CONSUMO DE ÁGUA DE UMA HABITAÇÃO UNIFAMILIAR**, 1999. (Nota técnica).

ROSA, G.; GHISI, E. **Water quality and financial analysis of a system combining rainwater and greywater in a house.** *Water (Switzerland)*, v. 13, n. 7, 2021.

RÜTHER, Ricard. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil / Ricardo Rütther.** – Florianópolis: LABSOLAR, 2004. 114 p. : il.

SANTANA, Daniel Richard et al. **Aproveitamento de Águas Pluviais e Reúso de Águas Cinzas em Edificações: princípios de políticas tarifárias baseados em uma análise de viabilidade técnica, ambiental e econômica.** Brasília Df. Centro De Apoio Ao Desenvolvimento Tecnológico, 2017. 79 p. Disponível em: http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/abastecimento_agua_esgotamento_sanitario/regulacao/reuso_aguas_cinza_aproveitamento_aguas_pluviais/reusodf_1_politicas_tarifarias.pdf. Acesso em: 18 ago. 2020.

SARAMAGO, R. DE C. P.; LOPES, J. M. A. D. **Certificação Ambiental De Edificações Para Uso Residencial: Análise Crítica.** n. December 2020, p. 397–410, 2019.

SBPC - Revista da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. *Ciência&Cultura*, v. 1, jan, fev, mar. 2019.

SHAW, Miguel Ângelo de Oliveira. **Eficiência Térmica de Coberturas Ventiladas: Estudos no clima tropical semiárido.** 2018. 64f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, Juazeiro – BA, 2018.

SILVA, A. S. et al. Usos Finais de Eletricidade e Rotinas de Uso Como Base para Estratégias de Eficiência Energética por Meio de Auditoria Residencial. **XII ENCAC, VIII ENLAC**, 2013.

SILVA, Patrick Gonçalves da. **Dimensionamento de um Sistema Hidráulico Predial para Reuso de Águas Cinzas em uma Edificação Residencial**. 2017. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2017.

SILVEIRA, J. R.; NEVES, J. P.; VIEIRA, B. H. R.; SANTOS, M. S. C.; PITALUGA, D. P. S. **Tratamento de efluentes por sistema wetland construído de uma unidade universitária**. *Tecnia*, v.5, n.1, 136-152, 2020.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. . **Série Histórica do Município de Petrolina**. 2022. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 05 set. 2022.

SNS - Secretaria Nacional de Saneamento (Ministério de Desenvolvimento Regional.); SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Diagnóstico Temático: Serviços de Água e Esgoto**. Gestão Técnica de Água. Brasília, 2022. 56 p.

SOUZA, Tiago Luiz Santana de; JÔNIO, Claudemiro de Lima. **Avanço de Instalações de Geradores Fotovoltaicos On-Grid em um Município do Semiárido Pernambucano**. 171º Congresso Nacional do Meio Ambiente. Caldas, p. 1-5. 23 set. 2020.

TESTON, Andrea; GERALDI, Matheus; COLASIO, Barbara; GHISI, Enedir. Rainwater Harvesting in Buildings in Brazil: a literature review. **Water**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 471, 12 abr. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w10040471>.

THIVES, Liseane Padilha; GHISI, Enedir; THIVES JÚNIOR, Juarez Jonas. Regional inequalities in electricity access versus quality of life in Brazil. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 47-65, set. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212022000300609>.

TRATA BRASIL (São Paulo). **Painel de Saneamento Brasil**: indicadores por localidade - Petrolina (município). Indicadores por localidade - Petrolina (Município). 2022. Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/explore/localidade?SE%5B1%5D=261110>. Acesso em: 07 set. 2022.

TUBELO, Renata C. S.; RODRIGUES, Lucelia T. RodriguES; GILLOTT, Mark. A Comparative Study of the Brazilian Energy Labelling System and the Passivhaus Standard for Housing. **Buildings**. Basel, Switzerland. 2014, 4, p 207-22, may 2014. ISSN 2075-5309

UNESCO. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **Map of the world distribution of arid regions: Map at scale 1:25,000,000 with explanatory note**. MAB Technical Notes 7, Paris, 54 p, 1979.

UNITED NATIONS. **The Sustainable Development Goals Report 2022**. New York: United Nations, 2022. 68 p.

_____. **Resolution A/Res 70/1: Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. [s.l: s.n.].

_____. **Resolution A/Res 70/1: Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. [s.l: s.n.].

_____, **The 2030 Agenda and the Sustainable Development Goals: An opportunity for Latin America and the Caribbean (LC/G.2681-P/Rev.3)**, Santiago, 2018.94p.

VERÍSSIMO, M.P.; XAVIER, C.L. Tipos de commodities, taxa de câmbio e crescimento econômico: evidências da maldição dos recursos naturais para o Brasil **Rev. Econ. Contemp.**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 267-295, mai-ago/2014.

VERÍSSIMO, Pedro Henrique Alves. **AVALIAÇÃO DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA COMPARANDO DIFERENTES TOPOLOGIAS DE SISTEMAS DE FIXAÇÃO UTILIZANDO DUAS DIFERENTES TECNOLOGIAS FV**. 2017. 112 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

VIANNA, Marcos Rocha. **Instalações Hidráulicas Prediais**. 4. ed. Nova Lima: Imprimatur Artes Ltda, 2013. 316 p.

ZARDINI, Cecília de Sousa. **Aproveitamento de Água de Chuva – Estudo da Viabilidade em Diferentes Capitais Brasileiras**. 2014. 63f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitarista) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2