



Universidade Federal do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

Programa de Engenharia Urbana

Leonardo Costa Ricchezza de Farias

**USINA SOLAR NO ESPAÇO URBANO:**  
Uma análise da geração fotovoltaica em armazéns logísticos para distribuição de energia elétrica.

Rio de Janeiro  
2021



UFRJ

Leonardo Costa Ricchezza de Farias

**USINA SOLAR NO ESPAÇO URBANO:**

Uma análise da geração fotovoltaica em armazéns logísticos para distribuição de energia elétrica.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientador: Roberto Machado Corrêa

Rio de Janeiro  
2021

De Farias, Leonardo Costa Ricchezza.

USINA SOLAR NO ESPAÇO URBANO: Uma análise da geração fotovoltaica em armazéns logísticos para distribuição de energia elétrica / Leonardo Costa Ricchezza de Farias. – 2021.

f.: 141 : Il: 65 ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2021.

Orientador: Roberto Machado Corrêa

1. Energias Renováveis. 2. Sustentabilidade. 3. Usina Solar Urbana. 4. Armazéns Logísticos. I. Corrêa, Roberto Machado. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica. III. Usina solar no espaço urbano: Uma análise da geração fotovoltaica em armazéns logísticos para distribuição de energia elétrica.



USINA SOLAR NO ESPAÇO URBANO:  
Uma análise da geração fotovoltaica em armazéns logísticos para distribuição de energia elétrica.

Leonardo Costa Ricchezza de Farias

Orientador: Roberto Machado Corrêa

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Aprovado pela banca:

Assinatura manuscrita de Roberto Machado Corrêa em azul, sobre uma linha horizontal.

Presidente, Prof. Roberto Machado Corrêa, D.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro

Assinatura manuscrita de José Luis Menegotto em preto, sobre uma linha horizontal.

Prof. José Luis Menegotto, D.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro

Assinatura manuscrita de Cláudia Ribeiro Pfeiffer em preto, sobre uma linha horizontal.

Profa. Claudia Ribeiro Pfeiffer, D.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro  
2021

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Roberto Machado, que me aceitou como orientando e mesmo num momento delicado de afastamento social mundial se manteve presente me incentivando e me conduzindo na realização deste trabalho. Obrigado pela compreensão, serenidade e positividade.

Igualmente agradeço aos professores Claudia Pfeiffer e Menegotto que gentilmente aceitaram participar da banca de avaliação e que me ajudaram na formação do pensamento crítico durante o processo acadêmico.

Agradeço também a todo o corpo docente, que mesmo nas cobranças e discordâncias, me ajudaram a ter uma visão mais holística e sistêmica para a Engenharia Urbana. Aos funcionários da POLI e do PEU, meu profundo respeito, quando mesmo na diversidade, mantiveram tudo em ordem e funcionando, sempre atenciosos em resolver qualquer problema permitindo dedicar-me ao processo acadêmico.

A todos os meus amigos do curso de mestrado, que indistintamente me ajudaram na correria para as entregas de trabalho, as noites “viradas”, os almoços descontraídos, as discussões e trocas de informações e cumplicidade.

A minha mãe, a meu filho e a minha companheira que sempre me incentivaram, ajudaram e entenderam minha ausência.

Agradeço a empresa que opera o Armazém Logístico, objeto de estudo desta dissertação, que gentilmente cedeu sua fatura de energia elétrica.

## RESUMO

DE FARIAS, Leonardo Costa Ricchezza. **Usina solar no espaço urbano: Uma análise da geração fotovoltaica em armazéns logísticos para distribuição de energia elétrica.** Rio de Janeiro, 2021. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

O crescimento urbano acelerado não fora acompanhado por investimentos em infraestrutura. A expansão desordenada e segmentada das cidades resultou em desequilíbrio social. Bairros pobres nas periferias chegam a consumir menos de 100 kWh/ano/residência, como é o caso de Acari, bairro da periferia do Rio de Janeiro. A diversificação das fontes de energia na matriz elétrica, torna-se particularmente importante à partir da consolidação das intensas variações climáticas, prejudicando as hidrelétricas que respondem por mais da metade da geração de energia elétrica no Brasil. Desta forma, Armazéns Logísticos podem ser aliados importantes na geração de energia elétrica por possuírem características particulares que os candidatam a serem usinas solares urbanas com a vantagem de estarem junto aos consumidores. Neste estudo, procurou-se investigar o impacto da utilização de um Armazém Logístico localizado dentro do espaço urbano, como uma usina fotovoltaica para distribuição de energia elétrica. Verificou-se as características de consumo elétrico do Armazém Logístico, foi dimensionado um sistema solar a ser instalado no telhado do edifício, determinado a quantidade de energia gerada e fornecida à rede e verificado a viabilidade econômico-financeira do sistema. Os resultados confirmam a viabilidade técnica e econômica do sistema solar indicando a possibilidade desses edifícios serem usados como Usinas Solares Urbanas, atraindo investimentos para o setor elétrico e novas estratégias de incentivo à produção de energia limpa, contribuindo com a sustentabilidade do sistema elétrico e com o planejamento da infraestrutura urbana. O sistema reduz as perdas técnicas do sistema e possibilita a redução da tarifa, o que pode beneficiar o consumidor das periferias das cidades contribuindo com sua evolução social.

Palavras-Chaves: Energias renováveis, Sustentabilidade, Usina Solar Urbana, Armazéns Logísticos

## **ABSTRACT**

DE FARIAS, Leonardo Costa Ricchezza. Solar Power Plant in Urban Space: An analysis of photovoltaic generation in logistics warehouses for electricity distribution. Rio de Janeiro, 2021. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

Accelerated urban growth was not accompanied by investments in infrastructure. The disorderly and segmented expansion of cities resulted in social and environmental imbalance. Some poor neighborhoods in the peripheries of large cities consume less than 100 kWh/year/household, as is the case of Acari, a neighborhood on the outskirts of Rio de Janeiro. The diversification of energy sources in the electrical matrix became particularly important following the consolidation of intense climatic variations, affecting hydroelectric electricity production, which accounts for more than half of the power generated in Brazil. As such, Logistic Warehouses can be important allies in the generation of photovoltaic energy, since they have particular characteristics that make them suitable to be urban solar plants, with the advantage of being close to consumers. In this study we sought to investigate the impact of using a Logistic Warehouse located within the urban space as a photovoltaic plant for electricity distribution. The characteristics of electrical consumption of the Logistics Warehouse were quantified, a solar system was designed to be installed on the building's roof, the amount of energy generated and supplied to the grid was determined, and the economic and financial feasibility of the system was verified. The results confirm the technical and economic viability of the solar system and indicate the possibility of using these buildings as Urban Solar Power Plants, attracting investments for the electricity sector and new strategies to encourage the production of clean energy, and contributing to the sustainability of the electrical system and urban infrastructure planning. The system reduces technical losses in the system and enabling the reduction of tariffs, which can benefit consumers from the outskirts of cities economically, contributing to their social growth.

**Keywords:** Renewable Energy, Sustainability, Solar Urban Plant, Logistics Warehouses

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: PERCENTUAL DA POPULAÇÃO RESIDENTE EM ÁREAS URBANAS NO MUNDO - 1950-2050 .....	16
FIGURA 2: POPULAÇÃO RURAL E URBANA NO BRASIL EM 2010.....	17
FIGURA 3: POPULAÇÃO URBANA NO BRASIL SEGUNDO AS REGIÕES EM 2010 .....	17
FIGURA 4: PERCENTAGEM DA POPULAÇÃO EM ÁREAS URBANAS E RURAIS NO BRASIL - 1950-2050 .....	18
FIGURA 5: COMPARAÇÃO DA EVOLUÇÃO DO IDH COM O CONSUMO TOTAL ELÉTRICO. ....	25
FIGURA 6: COMPARAÇÃO DO CONSUMO ELÉTRICO <i>PER CAPTA</i> ANUAL COM O IDH DOS 60 PAÍSES MAIS POPULOSOS. ....	26
FIGURA 7: EVOLUÇÃO DA RELAÇÃO DO CONSUMO ELÉTRICO DIÁRIO <i>PER CAPTA</i> COM O IDH DURANTE 30 ANOS DE 20 PAÍSES SELECIONADOS.....	27
FIGURA 8: COMPARAÇÃO DO CONSUMO ELÉTRICO <i>PER CAPTA</i> ANUAL COM O IDH DAS REGIÕES DO BRASIL.....	28
FIGURA 9: COMPARAÇÃO DO CONSUMO ELÉTRICO <i>PER CAPTA</i> ANUAL COM O IDH DOS ESTADOS DO BRASIL. ....	29
FIGURA 10 – EVOLUÇÃO DA RELAÇÃO DO CONSUMO ELÉTRICO <i>PER CAPTA</i> E O IDH DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO ENTRE 1991 E 2015. ....	29
FIGURA 11: RELAÇÃO ENTRE O CONSUMO ELÉTRICO RESIDENCIAL POR UNIDADE CONSUMIDORA COM O IDHM POR BAIRRO.....	34
FIGURA 12: EVOLUÇÃO DA PARCELA DA POPULAÇÃO URBANA BRASILEIRA COM ACESSO A ELETRICIDADE.....	35
FIGURA 13: FLUXOGRAMA DA RELAÇÃO DO ACESSO DO CONSUMO ELÉTRICO À RENDA. ....	37
FIGURA 14: COMPARAÇÃO DA VARIAÇÃO PERCENTUAL DO PIB EM RELAÇÃO AO CONSUMO ELÉTRICO NO BRASIL. ....	39
FIGURA 15: EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA PRIMÁRIA RENOVÁVEL E NÃO RENOVÁVEL NO BRASIL EM QUILO TONELADA DE PETRÓLEO EQUIVALENTE.....	41
FIGURA 16: MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL EM 2017 .....	42
FIGURA 17: MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA EM 2017 .....	42
FIGURA 18: MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA EM 2019.....	43
FIGURA 19: EVOLUÇÃO DA EMISSÃO DE CO <sub>2</sub> .....	45
FIGURA 20: ENERGIA ARMAZENADA EM % DA CAPACIDADE MÁXIMA DAS HIDRELÉTRICAS (SUBSISTEMA SE/CO) .....	49
FIGURA 21: QUANTIDADE DE PAÍSES COM POLÍTICAS REGULATÓRIAS EM ENERGIA SUSTENTÁVEIS. ....	57
FIGURA 22: CAPACIDADE GLOBAL DE ENERGIA RENOVÁVEL. ....	58
FIGURA 23: CAPACIDADE GLOBAL DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (GW).....	58
FIGURA 24: EVOLUÇÃO DA FONTE SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL. ....	59
FIGURA 25: COMPARAÇÃO DOS MAPAS DE IRRADIAÇÃO SOLAR NO PLANO HORIZONTAL. ....	60
FIGURA 26: COMPARAÇÃO DOS MAPAS DE POTENCIAL FOTOVOLTAICO DE BRASIL, CHINA E ALEMANHA. ....	61
FIGURA 27: MAPA SOLARIMÉTRICO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – IRRADIAÇÃO SOLAR DIRETA MÉDIA ANUAL .....	62



FIGURA 28: CRISTAL CILÍNDRICO MONOCRISTALINO. ....	63
FIGURA 29: CÉLULAS SOLARES A) MONOCRISTALINAS, B) POLICRISTALINAS, C) FILME FINO. ....	64
FIGURA 30: A) PAINÉIS SOLARES DE FILME FINO OFERECEM UMA SOLUÇÃO MAIS ESTÉTICA NUM TELHADO CURVADO; B) TELHAS CERÂMICAS COM CÉLULAS SOLARES DE FILME FINO.....	65
FIGURA 31: A) SISTEMAS ISOLADOS; B) SISTEMAS CONECTADOS À REDE. ....	66
FIGURA 32: SISTEMA HÍBRIDO DE FONTE SOLAR E EÓLICA. ....	67
FIGURA 33: SISTEMAS ISOLADOS. A) IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA; B) BOMBEAMENTO DE ÁGUA DE POÇO; C) ECODUCHA EM PRAIA DO RIO DE JANEIRO; D) ILUMINAÇÃO RODOVIÁRIA NO ARCO METROPOLITANO DO RIO DE JANEIRO. ....	68
FIGURA 34: SISTEMAS CENTRALIZADOS NA ALEMANHA. A) EM LEIPZIG; B) EM BAVÁRIA. ....	68
FIGURA 35: SISTEMAS CENTRALIZADOS NO BRASIL. A) EM TABOAS DO BREJO VELHO (BAHIA); B) EM PIROPORA (MINAS GERAIS). ....	69
FIGURA 36: EXEMPLOS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO ESPAÇO URBANO.....	70
FIGURA 37: A) EVOLUÇÃO DA MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA. B) EVOLUÇÃO DO POTENCIAL FOTOVOLTAICO LIBERADOS PARA OPERAÇÃO ANUALMENTE. ....	72
FIGURA 38: CRONOLOGIA DOS PRINCIPAIS MARCOS REGULATÓRIOS DE BRASIL, ALEMANHA E CHINA NA IMPLEMENTAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS EM ENERGIAS FOTOVOLTAICAS.....	76
FIGURA 39: (A) CONDOMÍNIO LOGÍSTICO; (B) REGIÃO DE AGRUPAMENTO DE ARMAZÉNS DE DISTRIBUIÇÃO.....	78
FIGURA 40: ÁREA CONSTRUÍDA EM GALPÕES LOGÍSTICOS. ....	79
FIGURA 41: LOCALIZAÇÃO DO ARMAZÉM - INSERIDO NA REGIÃO DE AGRUPAMENTO DE ARMAZÉNS DE DISTRIBUIÇÃO. ....	81
FIGURA 42: O ARMAZÉM DE DISTRIBUIÇÃO ESTÁ LOCALIZADO NO BAIRRO DA PAVUNA NO LIMITE COM O MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DE MERITI ENTRE AS PRINCIPAIS VIAS EXPRESSAS DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO.....	82
FIGURA 43: TELHADO DO ARMAZÉM DE DISTRIBUIÇÃO. ....	83
FIGURA 44: LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA (LATITUDE E LONGITUDE) DO ARMAZÉM DE DISTRIBUIÇÃO.....	84
FIGURA 45: A) PLANTA DE ARQUITETURA DE COBERTURA; B) PLANTA DE ARQUITETURA DE CORTE. ....	85
FIGURA 46: MAPA SOLAR DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO DOS TELHADOS DAS EDIFICAÇÕES. .....	86
FIGURA 47: IRRADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA MÉDIA DE TRÊS LOCALIDADES PRÓXIMAS AO ARMAZÉM DE DISTRIBUIÇÃO.....	87
FIGURA 48: CONSUMO ELÉTRICO MENSAL DO ARMAZÉM DE DISTRIBUIÇÃO. ....	87
FIGURA 49: TELA INICIAL DO SIMULADOR PVSYS 7.1.....	89
FIGURA 50: PLANTA DO TELHADO COM A DISPOSIÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS. ....	90
FIGURA 51: INSERÇÃO NO SIMULADOR DA LATITUDE, LONGITUDE E ALTURA DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA SOLAR.....	91

FIGURA 52: COMPARAÇÃO DA IRRADIAÇÃO SOLAR MÉDIA FEITA PELO SIMULADOR (METEONORM 7.3) E COM OS DADOS FORNECIDOS PELO SUNDATA EM SÃO JOÃO DE MERITI ANTERIORMENTE FEITOS NA ANÁLISE PRÉVIA:.....	92
FIGURA 53: INSERÇÃO NO SIMULADOR DA INCLINAÇÃO E DO DESVIO AZIMUTAL DO TELHADO. ....	94
FIGURA 54: INSTALAÇÃO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS SOBRE ESTRUTURA AUXILIAR PARA CORREÇÃO DA INCLINAÇÃO DO TELHADO. ....	95
FIGURA 55: TELA NO SIMULADOR ONDE É POSSÍVEL DEFINIR O MÓDULO FOTOVOLTAICO, O INVERSOR E FAZER O BALAÇO DOS MÓDULOS NAS ÁGUAS DO TELHADO. FONTE: PVSYST 7.1 (2021) .....	96
FIGURA 56: FICHA TÉCNICA DO PAINEL FOTOVOLTAICO ESCOLHIDO NO SIMULADOR. ....	97
FIGURA 57: FICHA TÉCNICA DO INVERSOS ESCOLHIDO NO SIMULADOR. ....	98
FIGURA 58: CONSUMO DE ENERGIA ATIVA DO ARMAZÉM COM DADOS FORNECIDOS PELA CONCESSIONÁRIA UTILIZANDO O FATOR DE AJUSTE PARA O CONSUMO DE PONTA. ....	101
FIGURA 59: PRODUÇÃO DE ENERGIA NORMALIZADA (POR kWp INSTALADO). ....	102
FIGURA 60: ÍNDICE DE PERFORMANCE (EFICIÊNCIA DO SISTEMA). ....	103
FIGURA 61: DIAGRAMA DE PERDAS POR ANO. ....	104
FIGURA 62: CONSUMO E ENERGIA GERADA AO LONGO DA VIDA ÚTIL DO SISTEMA. ....	107
FIGURA 63: TRANSFORMADOR INSTALADO NO POSTE DENTRO DO IMÓVEL PARA ATENDER AO OBJETO DE ESTUDO. ....	109
FIGURA 64: COMPOSIÇÃO DA TAXA DE JUROS COBRADA PELA BNDES NO PROGRAMA FUNDO CLIMA - REFERÊNCIA A FEVEREIRO DE 2021. ....	112
FIGURA 65: COMPOSIÇÃO TARIFÁRIA DA ENERGIA ELÉTRICA PARA AS REGIÕES DO RIO DE JANEIRO ATENDIDAS PELA LIGHT SESA. ....	113
FIGURA 66: COMPOSIÇÃO TARIFÁRIA DE ENERGIA APÓS OS DESCONTOS CONCEDIDOS E A REDISTRIBUIÇÃO DOS PERCENTUAIS.....	117
FIGURA 67: RESULTADO FINANCEIRO APRESENTADO PELO PVSYST 7,1. ....	123
FIGURA 68: REDUÇÃO DE CO2 OBTIDA PELA OPERAÇÃO DA MINIUSINA FOTOVOLTAICA DURANTE A VIDA ÚTIL DO SITEMA. ....	124

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: CONTRIBUIÇÃO DOS FATORES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE PARA O CRESCIMENTO DO PIB EM PAÍSES SELECIONADOS, 1980 - 2001 .....	24
TABELA 2: CONSUMO ELÉTRICO PER CAPTA (2013 A 2017) E IDH DOS ESTADOS DO BRASIL .....	31
TABELA 3: CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO AS 10 PRIMEIRAS POSIÇÕES EM RELAÇÃO IDH E O CONSUMO PER CAPTA DE ENERGIA ELÉTRICA .....	32
TABELA 4: CONSUMO RESIDENCIAL POR REGIÃO DO BRASIL E FAIXA DE CONSUMO (GWh) .....	36
TABELA 5: RESERVAS DE PETRÓLEO COMPROVADAS - 2018.....	46
TABELA 6: RESERVAS DE GÁS NATURAL COMPROVADAS - 2018 .....	47
TABELA 7: RESERVAS DE CARVÃO COMPROVADAS - 2018.....	47
TABELA 8: CAPACIDADE MÁXIMA DE ARMAZENAMENTO ELÉTRICO DAS HIDRELÉTRICAS NO BRASIL.....	48
TABELA 9: VALORES DE PRODUTIVIDADE MÉDIA DIÁRIA ANUAL E POTÊNCIA INSTALADA DE PAÍSES SELECIONADOS E O ESTADO DO RIO DE JANEIRO. ....	62
TABELA 10: CONSUMO DE ENERGIA ATIVA E REATIVA MENSAL DO ARMAZÉM LOGÍSTICO.....	99
TABELA 11: ENERGIA GERADA PELO SISTEMA FOTOVOLTAICO MENSAL POR HORA (kWh). .....	105
TABELA 12: TABELA DO RELATÓRIO DE RESULTADOS PRINCIPAIS DO SIMULADOR.....	106
TABELA 13: CUSTO CAPEX ( <i>CAPITAL EXPENDITURE</i> OU DESPESAS DE CAPITAL).....	108
TABELA 14: CUSTO DO INVESTIMENTO INICIAL TOTAL .....	109
TABELA 15 VALORES TARIFÁRIOS REFERENTE A FEVEREIRO DE 2021 – CLASSE A4 - VERDE .....	114
TABELA 16: VALORES TARIFÁRIOS REFERENTE A FEVEREIRO DE 2021 - RESIDENCIAL .....	115
TABELA 17: VALORES TARIFÁRIOS FINAIS APÓS DESCONTOS CONCEDIDOS UTILIZADOS NO ESTUDO DE VIABILIDADE.....	116
TABELA 18: PARÂMETROS FINANCEIROS INICIAIS PARA CÁLCULO DA ANÁLISE ECONÔMICA. ....	121
TABELA 19: RESULTADOS FINANCEIROS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	126
TABELA 20: RESUMO DA ANÁLISE ECONÔMICA E COMPARATIVO LCOE ENTRE FONTES RENOVÁVEIS. ....	128
TABELA 21: COMPARAÇÃO DE ATIVOS FINANCEIROS, INFLAÇÃO, E O RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO NA MINIUSINA. ....	128

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Potência do módulo Fotovoltaico.....	88
Equação 2: Fator de Ajuste Tarifário.....	100
Equação 3: Taxa de Juros – BNDES .....	111
Equação 4: Valor Presente Líquido .....	118
Equação 5: Índice de Rentabilidade .....	118
Equação 6: Taxa Interna de Retorno .....	119
Equação 7: Retorno sobre o Investimento .....	119
Equação 8: Custo Nivelado de Energia .....	120

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEP	- Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa
ABSOLAR	- Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANNEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES	- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CA	- Corrente Alternada
CC	- Corrente Contínua
CCC	- Conta de Consumo de Combustível
CCEE	- Câmara de Comercio de Energia Elétrica
CEPEL	- Centro de Pesquisa de Energia Elétrica
CFURRH	- Compensação Financeira pela Utilização dos Recursos Hídricos
CMMAD	- Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CO <sub>2</sub>	- Dioxido de Carbono
CRESESB	- Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
EEG	- Erneuerbare-Energien-Gesetz - Lei de Fontes de Energia Renovável
EIA	- Energy Information Administration - US
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
ESI	- Environmental Sustainability Index
ESRI	- Enviromental Systems Research Institute
ESRL	- Earth System Research Laboratories
FA	- Fator de Ajuste Tarifário
FIT	- Feed-in-Tariff – Tarifa de Alimentação
FDC	- Fundação Dom Cabral
HFP	- Horário Fora de Ponta – conforma o horário de consumo de energia
HP	- Horário de Ponta – conforme o horário de consumo de energia
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	- Índice de Desenvolvimento Humano
IEA	- International Energy Agency
IPCA	- Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IR	- Índice de Rentabilidade

IUNC	- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources
kWh	- Kilo Watt Hora
kWp	- Kilo Watt pico
LCOE	- Custo Nivelado de Energia
MW	- Megawatt
GW	- Gigawatt
ODM	- Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	- Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável
OECD	- Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento
ONS	- Operador do Sistema Elétrico
ONU	- Organização das Nações Unidas
PIB	- Produto Interno Bruto
POF	- Pesquisa de Orçamentos Familiares
RN	- Resolução Normativa
ROI	- Retorno sobre o Investimento
Secovi-SP	- Sindicato da Habitação do Estado de São Paulo
TIR	- Taxa Interna de Retorno
TMA	- Taxa mínima de Atratividade
TMT	- Tempo Máximo Tolerado
UFMG	- Universidade Federal de Minas Gerais
UFRJ	- Universidade Federal do Rio de Janeiro
UN	- United Nations
UNDP	- United Nations Development Programme
VPL	- Valor Presente Líquido
WUP	- World Urbanization Prospects

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	16
1.1. OBJETIVOS .....	19
1.2. JUSTIFICATIVA .....	20
1.3. METODOLOGIA .....	21
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	22
2. ENERGIA E DESENVOLVIMENTO .....	23
2.1. O CONSUMO DE ENERGIA COMO INDICADOR SOCIOECONÔMICO .....	23
2.2. A NECESSIDADE DE UM DESENVOLVIMENTO URBANO MAIS SUSTENTÁVEL .....	38
3. ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	54
3.1. FONTES SUSTENTÁVEIS DE ENERGIA .....	55
3.2. ENERGIA SOLAR E TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	63
3.3. ASPECTOS CONJUNTURAIS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	70
3.4. USINAS GERADORAS FOTOVOLTAICAS DENTRO DO ESPAÇO URBANO .....	77
4. ESTUDO DE CASO .....	79
4.1. METODOLOGIA DO ESTUDO DE CASO .....	79
4.2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO OBJETO DE ESTUDO	81
4.3. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	86
4.4. DIMENSIONAMENTO DA USINA SOLAR URBANA.....	88
4.5. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA USINA SOLAR URBANA.....	107
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS. ....	129
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	132

## 1. INTRODUÇÃO

Antropologicamente, somos gregários, é de nossa natureza conviver em grupos, e desde sempre vivemos perto de quem detêm o poder, seja pela força, pela ideologia ou pela capacidade de troca. Forma-se um sistema de dominação e algumas formas centralizadas e hierárquicas do exercício do poder, onde, para Weber (2004: p.177) poder é, “genericamente, a probabilidade de uma pessoa ou várias impor, numa ação social, a vontade própria, mesmo contra a oposição de outros participantes desta”. Assim sendo, o espaço urbano cria formas, fragmentadas e articuladas, não excludentes entre si, podendo ocorrer simultaneamente, que reproduzem e condicionam as diferenças sociais pela concentração de capital, formando um conjunto de símbolos e campos de lutas (CORRÊA, 1995).

Assim as cidades foram se formando, se desenvolveram e atraíram pessoas na busca de trabalho manual e intelectual. De acordo com o acompanhamento feito pelo *World Urbanization Prospects*<sup>1</sup> (WUP), a percentagem da população urbana no mundo cresce a cada ano (Figura 1), estimando que em 2050 perto de 68,4% da população mundial viva em áreas urbanas (UN, 2018).

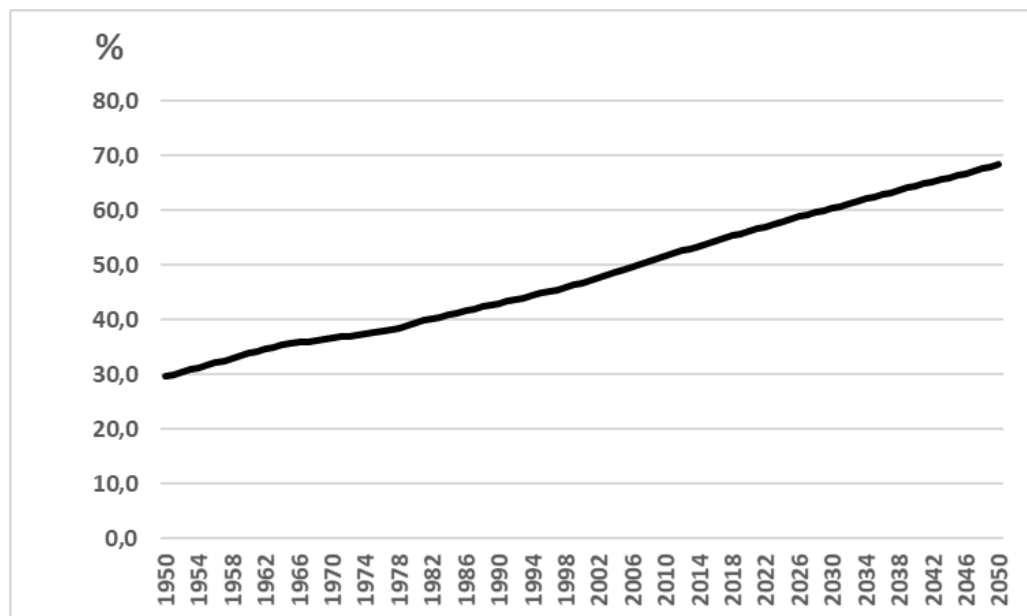


Figura 1: Percentual da População Residente em Áreas Urbanas no mundo - 1950-2050

Fonte: Organização das Nações Unidas - Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais.

<sup>1</sup> World Urbanization Prospect – Periódico publicado pelo Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas que traz estimativas e projeções das populações urbanas e rurais de todos os países do mundo.



No Brasil, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (2013), pode-se observar nas Figuras 2 e 3 que em 2010 a população urbana chegou a 84,36% tendo a região sudeste a maior concentração de pessoas vivendo em cidades. Observa-se ainda na Figura 4, de acordo com os levantamentos da WUP (UN, 2018), um rápido crescimento populacional nas cidades brasileiras entre 1950 a 2000, perdendo força a partir de então, fenômeno que acompanhou a expansão econômica no país, e que deve chegar em 2050 com aproximadamente 92,4% da sua população vivendo nas regiões urbanas.

### População Urbana na Brasil em 2010

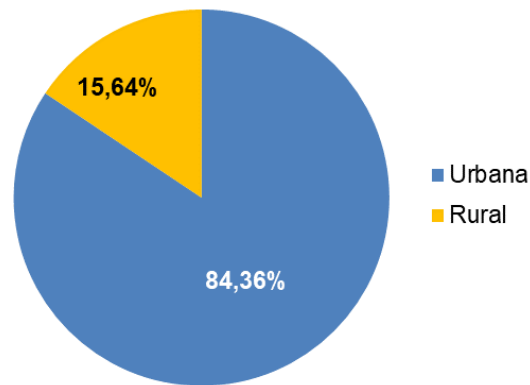


Figura 2: População Rural e Urbana no Brasil em 2010

Fonte: IBGE

### População Urbana segundo as Regiões

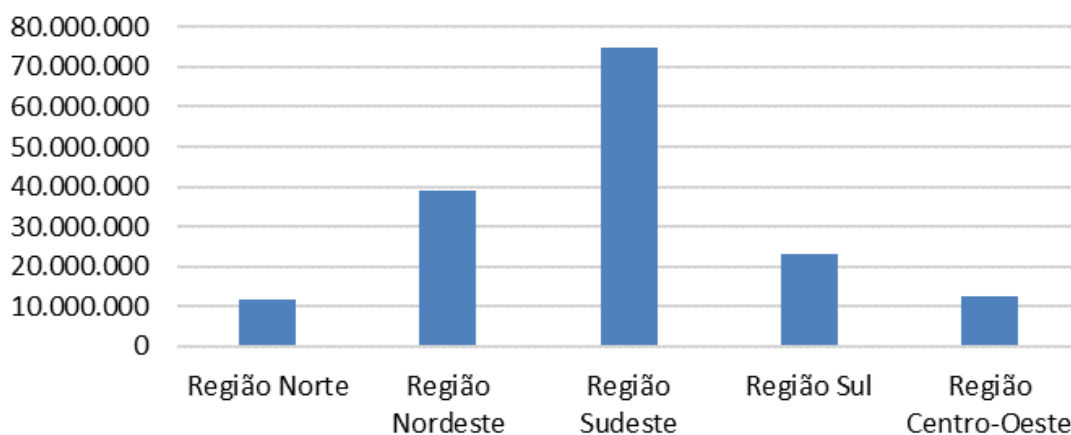


Figura 3: População Urbana no Brasil segundo as Regiões em 2010

Fonte: IBGE

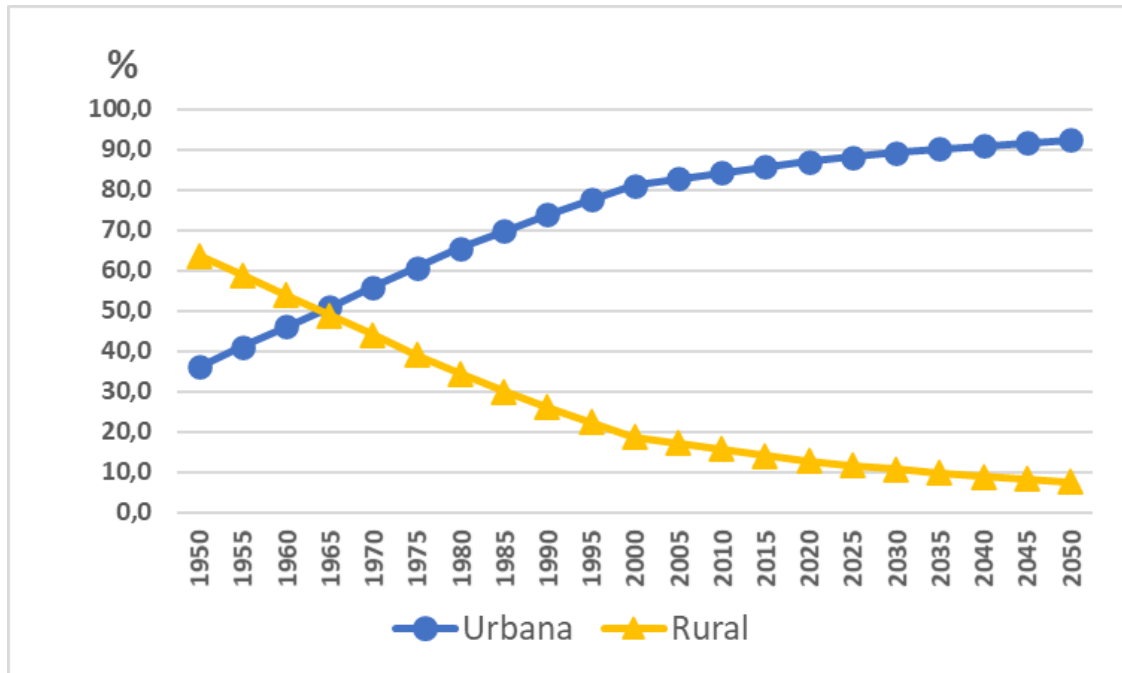


Figura 4: Percentagem da População em Áreas Urbanas e Rurais no Brasil - 1950-2050

Fonte: Organização das Nações Unidas - Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais

O crescimento acelerado das cidades criou uma distribuição urbana desigual dissociada da oferta de serviços públicos e infraestrutura que não foi seguida na mesma velocidade. Problemas surgem como a distribuição da oferta e consumo de energia, a expansão da rede de saneamento e coleta de resíduos sólidos, a violência, e a segurança ambiental, alagamentos, deslizamentos de morros e poluição dos cursos d'água.

Desta forma, a urbanização das áreas metropolitanas brasileiras reproduz o processo de formação das cidades, assumindo o padrão definido pela segmentação e diferenciação social, demográfica, econômica e ambiental, caracterizado pela baixa qualidade de vida urbana. Para o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais da Secretaria das Nações Unidas, em pesquisa realizada em 2017,

“embora o PIB<sup>2</sup> seja a medida mais utilizada para avaliar a prosperidade e o desempenho econômico, não revela nada sobre como a renda é distribuída para um país; o impacto da atividade econômica sobre os recursos naturais e o meio ambiente; ou a

<sup>2</sup> Produto Interno Bruto (PIB) - É a soma em valores monetários de todos os bens e serviços finais produzidos numa determinada região que pode ser um país, estado ou cidade, durante um período determinado que geralmente é de um ano.

qualidade de vida desfrutada pela população em termos de educação, saúde ou segurança pessoal.” (ALARCÓN, 2017)

Evidencia-se a necessidade de equacionar a oferta de infraestrutura urbana, de forma sustentável, nas periferias das cidades onde se concentram indústrias, centros de distribuição e a população de baixa renda. Nesse aspecto, o acesso e o consumo de energia elétrica, gerada por sistemas fotovoltaicos, tornam-se um aliado importante do nível de qualidade de vida dessa população.

Sendo assim, investigou-se a capacidade de geração de energia elétrica solar e sua viabilidade econômica para um armazém de distribuição para ser utilizado como usina geradora de energia fotovoltaica, qual o excedente de energia que poderia ser injetado na rede elétrica convencional e qual a área de abrangência a ser atendida por esse excedente, tornando-se um importante aliado na expansão da rede elétrica da cidade, contribuindo com a redução da pressão por investimentos públicos na melhoria da qualidade da energia elétrica distribuída e na expansão da rede de transmissão e distribuição, com a possibilidade de parcerias público privadas e investimentos privados, pela vantagem da geração estar junto à população mais carente da cidade.

## **1.1. OBJETIVOS**

Este trabalho tem como objetivo geral analisar o potencial e a viabilidade econômica da geração solar de agrupamentos de centros de distribuição e armazéns logísticos, localizados nas periferias das cidades, para serem usados como miniusinas de energia fotovoltaica para distribuição elétrica, dentro do espaço urbano.

Como objetivos específicos pretende-se:

- pontuar a interdependência da condição socioeconômica em função do baixo consumo de energia elétrica de uma região;
- relacionar a necessidade de uma matriz elétrica mais diversificada e sustentável;

- comparar a irradiação solar ente Brasil, Alemanha e China e levantar a legislação e incentivos que esses países adotaram para as instalações solares;
- simular a capacidade e a viabilidade da geração fotovoltaica no telhado de um Armazém Logístico, calcular o excedente de energia elétrica gerada e a quantidade de residências atendidas por esse excedente na região carente próxima ao armazém.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

Historicamente o desenvolvimento da humanidade está atrelado ao consumo crescente de energia. Desde a utilização da máquina a vapor, na Revolução Industrial<sup>3</sup>, aos avanços tecnológicos conquistados pelo homem como os computadores, a integração nas comunicações, os equipamentos médicos entre outros, indispensáveis para a vida moderna, necessitam de energia para seu funcionamento. Sem energia, fenômenos como a globalização, a vida como conhecemos, não existiria.

Existe uma relação direta entre o consumo de energia e o desenvolvimento econômico e social. As projeções de expansão da demanda de energia são baseadas nas estimativas do crescimento demográfico e na evolução econômica de uma região, quanto mais desenvolvida é uma região, maior essa relação. Portanto a consequente melhoria no desenvolvimento social, a partir do o acesso a bens e serviços que antes não lhe eram possíveis, depende intrinsecamente do acesso ao consumo de energia da população. Portanto, sem consumo de energia não é possível o desenvolvimento social. Assim, a evolução do padrão social induz a outras importantes dimensões nessa relação: à pressão pela oferta e distribuição igualitária de energia e políticas tarifárias diferenciadas. A utilização dos agrupamentos de armazéns de distribuição e condomínios logísticos como geradores de energia elétrica fotovoltaica podem contribuir com o aumento da oferta e a melhoria da qualidade da energia entregue nas áreas residenciais carentes onde

---

<sup>3</sup> Revolução Industrial – Período que marcou a transição para novos processos de manufatura ente os séculos XVIII e XIX. Esta transformação incluiu a transição de métodos de produção artesanais para a produção por máquinas, a fabricação de novos produtos químicos, novos processos de produção de ferro, maior eficiência da energia da água, o uso crescente da energia a vapor e o desenvolvimento das máquinas-ferramentas, além da substituição da madeira e de outros biocombustíveis pelo carvão.

é baixo o consumo elétrico contribuindo com a equalização dessas relações para possibilitar o acesso a bens e serviços.

### 1.3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da pesquisa foram adotados os seguintes procedimentos técnicos: pesquisa bibliográfica, pesquisa documental e estudo de caso. O estudo de caso se limitou a analisar um Armazém de Distribuição localizado no bairro da Pavuna, no limite do município do Rio de Janeiro com o município de São João de Meriti, com 7.844,41 m<sup>2</sup> de telhado, vizinho a bairros com os mais baixos Índices de Desenvolvimento Humano<sup>4</sup> (IDH) da cidade e a duas comunidades carentes.

A pesquisa bibliográfica se restringiu a consulta de livros, dissertações acadêmicas, artigos e periódicos. A pesquisa documental se utilizou de registros da legislação Brasileira e de Alemanha e China, de relatórios do censo Demográfico pertinentes ao objeto da pesquisa, anuários estatísticos, manuais e normas técnicas e de demonstrativo de gasto de energia elétrica da unidade edificada em estudo. Tanto a pesquisa bibliográfica quanto a pesquisa documental embasaram o referencial teórico deste estudo.

O estudo de caso foi adotado para facilitar a compreensão da área residencial a ser beneficiada com a adoção da geração de energia fotovoltaica pelos agrupamentos de armazéns de distribuição e condomínios logísticos e assim entender os motivos que levaram ao objeto deste estudo.

Como instrumento utilizado para obtenção e análise dos dados foram elaborados gráficos e planilhas em Excel. A simulação do potencial de energia solar e da instalação das placas do sistema fotovoltaico será feito com os simuladores Meteororm 7.3 e PVsyst 7.1. De posse da capacidade instalada e do consumo

---

<sup>4</sup> Índice de Desenvolvimento Humano - Proposto em 1990 pelo economista paquistanês Dr. Mahbub-ul-Haq e seu colega indiano Amartya Sen. O IDH é um índice paralelo a noção de desenvolvimento econômico, onde se propõem colocar as pessoas no centro do desenvolvimento, faz parte do Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento, e integra aspectos como a qualidade de vida, o bem-estar individual e social, inspirada na Declaração Universal dos Direitos Humanos, composto pela média de três outros índices: o índice de expectativa de vida, o índice de escolaridade e o índice de renda.

energético da edificação será estimado o total de residências que poderão ser atendidas com o excedente elétrico gerado pela instalação fotovoltaica.

#### **1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação de mestrado está estruturada em cinco capítulos. O primeiro capítulo introduz o tema, apresentando algumas considerações a respeito do crescimento urbano acelerado desvinculado da expansão da oferta de infraestrutura urbana, em especial o acesso à energia elétrica. Em seguida, são definidos os objetivos deste estudo, sua justificativa, relacionando o acesso de comunidades carentes à energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos instalados em Armazéns de distribuição e Condomínios Logísticos vizinhos e, em seguida, a estrutura da dissertação.

O Capítulo 2 aborda o consumo de energia como um indicador socioeconômico. Faz um comparativo da evolução econômica e social com o consumo elétrico de alguns países, do Brasil e da Cidade do Rio de Janeiro. Traz uma análise da necessidade da diversificação das fontes de geração de energia em especial a energia elétrica no Brasil, devido a recorrentes secas que estão afetando os reservatórios que abastecem as hidrelétricas, provocadas pelas crescentes concentrações de gases de efeito estufa que alteram as condições do clima. É feita uma introdução dos indicadores de qualidade de vida sob a ótica da academia e do mercado imobiliário inferindo na necessidade de criar novas escolhas para que sustentabilidade, desenvolvimento social e progresso não sejam mais divergentes entre si.

O Capítulo 3 trata de fonte de energias renováveis. É apresentada a quantidade crescente do número de países com políticas regulatórias em energias sustentáveis, como também uma avaliação da capacidade global de geração fotovoltaica. Uma comparação da irradiação solar no Brasil, Alemanha, China e Rio de Janeiro. São descritos os tipos de sistemas fotovoltaicos. É feita uma comparação cronológica dos principais marcos regulatórios de Brasil, Alemanha e China na implementação de políticas públicas em energias fotovoltaicas e exemplifica o que são agrupamentos de Armazéns de Distribuição e Condomínios

Logísticos citando a vantagem da utilização de usinas fotovoltaicas dentro do espaço urbano.

O Capítulo 4 traz o estudo de caso. Apresenta o objeto de estudo, sua configuração, geometria da cobertura do armazém, tamanho e localização. É realizado um dimensionamento do potencial fotovoltaico e após descontar a energia que é consumida no próprio armazém, é calculado o excedente de energia gerada. Os resultados e discussões estão nas considerações finais, no Capítulo 5.

## **2. ENERGIA E DESENVOLVIMENTO**

### **2.1. O CONSUMO DE ENERGIA COMO INDICADOR SOCIOECONÔMICO**

Estudos feitos pela Agência Internacional de Energia (IEA), referentes a 2001 mostram a importância que a disponibilidade de energia e sua acessibilidade têm na participação do Produto Interno Bruto (PIB) dos países estudados.

A relação de complementariedade entre o uso de energia e crescimento econômico é intuitivamente óbvio [...]. Numerosos estudos demonstram que a energia, o capital e o trabalho podem, em princípio, serem substituída uma pela outra em algum grau. Um aumento nos custos de insumos de energia pode ser compensado por um maior investimento em tecnologias eficientes em termos de energia. [...] Em muitos países pobres, o baixo investimento em serviços públicos, a gestão ineficiente, carente de preços e um clima geralmente pouco atraentes para o investimento privado causa escassez e detêm o crescimento econômico. (IEA, 2004, p 333)

Em todos os países pesquisados pela IEA observa-se no setor energético uma parcela importante para o crescimento econômico de cada um, a Tabela 1 mostra que 77% do PIB brasileiro corresponde ao setor energético.

Tabela 1: Contribuição dos fatores de produção e produtividade para o crescimento do PIB em países selecionados, 1980 - 2001

Crescimento médio anual do PIB	Contribuição dos fatores de produção e da produtividade para o crescimento do PIB (% do crescimento do PIB)				
	Energia	Trabalho	Capital	Produtividade total dos fatores	
Brasil	2,4	77	20	11	-8
China	9,6	13	7	26	54
Índia	5,6	15	22	19	43
Indonésia	5,1	19	34	12	35
Coreia do Sul	7,2	50	11	16	23
México	2,2	30	60	6	4
Turquia	3,7	71	17	15	-3
Estados Unidos	3,2	11	24	18	47

Fonte: Agência Internacional de Energia. WEO 2014.

A IEA considera ainda a participação dos serviços modernos de energia, considerando o seu uso total, um importante indicador da relação entre consumo de energia primária e desenvolvimento social e econômico. Ainda de acordo com o IEA, essa relação é muito mais forte se considerada a energia comercial sozinha. A demanda de energia comercial é dez vezes maior nos países mais ricos do que nos países mais pobres onde a população vive com menos de 2 dólares por dia (IEA, 2004. p 335). Pode-se considerar ainda um processo migratório para a energia elétrica dependendo do nível socioeconômico das famílias.

“Sem acesso adequado a energia moderna, comercial, os países pobres podem ser presos em um círculo vicioso de pobreza, instabilidade social e subdesenvolvimento. O Aumento do uso de energia moderna pelas famílias é um elemento chave no processo mais amplo de desenvolvimento humano, geralmente envolvendo a industrialização, a urbanização e o aumento de mobilidade pessoal. [...] Com o aumento da renda, as famílias nos países em desenvolvimento passam geralmente a utilizar serviços modernos de energia para cozimento, aquecimento, iluminação e a utilizar eletrodomésticos. [...] O processo é, na maioria das vezes gradual. As pessoas mudam primeiro a partir de combustíveis tradicionais para combustíveis modernos intermediários, como carvão e querosene, e, finalmente para os combustíveis avançados, como gás liquefeito de petróleo, gás natural e energia elétrica.” (IEA, 2004. p 335, 336)



No Brasil, também se observa essa relação. Consequentemente, é verdadeira a relação entre o consumo de energia elétrica e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) como mostrado na Figura 5 onde se faz uma comparação entre a evolução desses índices ao longo de 21 anos. Percebe-se então uma paridade entre a evolução do consumo total de energia elétrica e a evolução do IDH. Em 2010 acontece uma queda significativa de 12% no IDH brasileiro, de 0,813 em 2009 para 0,715 em 2010, consequência da crise internacional financeira de 2008, mas mantém a paridade de crescimento nos anos seguintes.

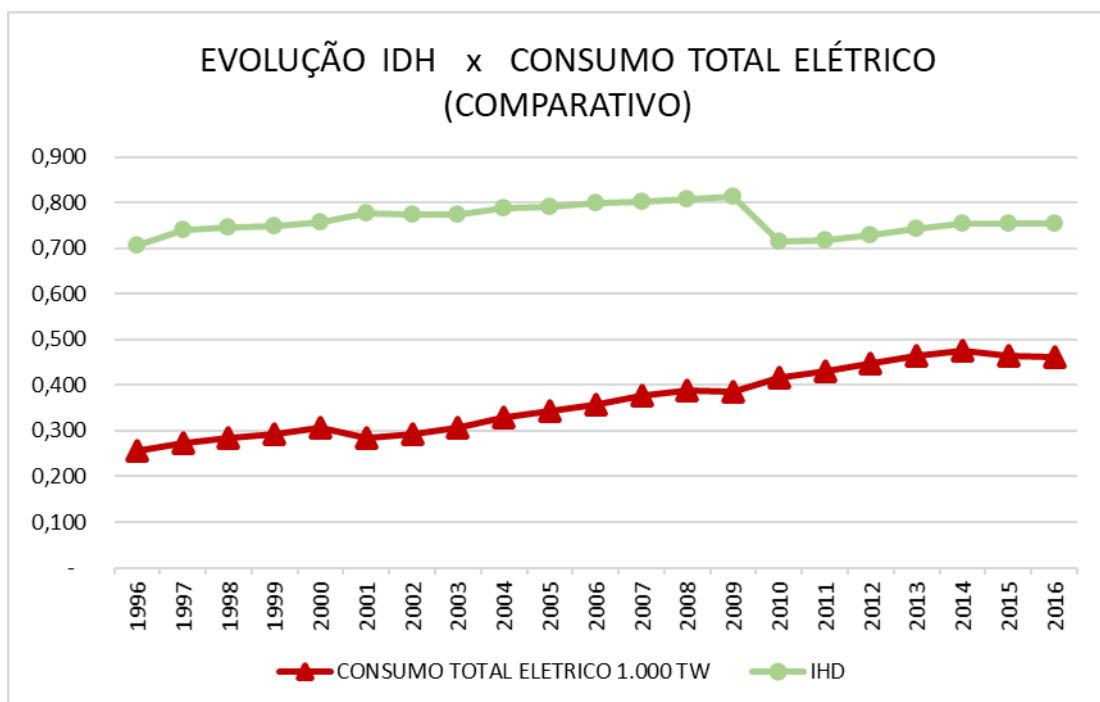


Figura 5: Comparação da evolução do IDH com o consumo total elétrico.

Fonte: Autor (PNUD e EPE)

Para entender melhor a correlação do uso de energia elétrica e o desenvolvimento humano, Pasternak, (2000) comparando o consumo total (energia residencial, comercial e industrial) *per capita* de energia com o IDH de 60 países mais populosos do mundo, observou como mostrado na Figura 6, um consumo mínimo de 4.000 kwh/ano/habitante para os países desenvolvidos, com IDH acima de 0,900. A maioria desses países; Itália, Alemanha, Reino Unido, Holanda, França, Japão, Austrália, Estados Unidos e Canadá, pertencem à Organização para

Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD<sup>5</sup>), organização de cooperação internacional composta de 34 membros, que tem como objetivo promover políticas que visem o desenvolvimento econômico e o bem-estar social, onde o Brasil não consta como membro.

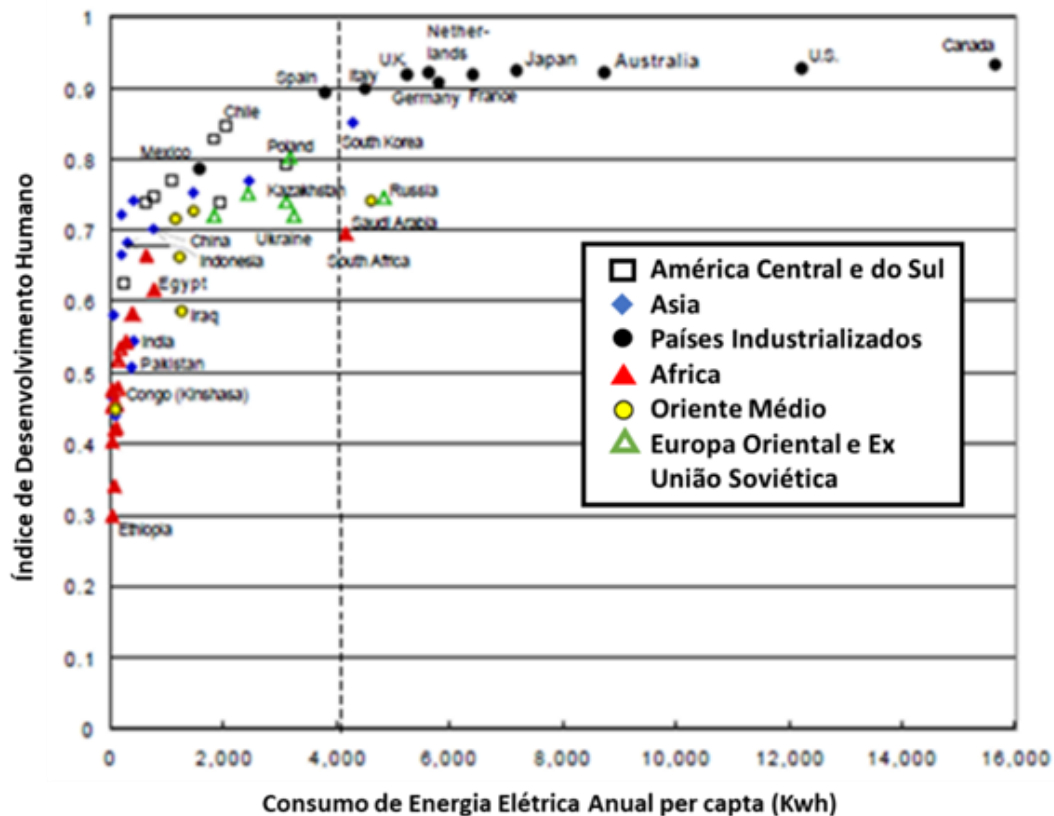


Figura 6: Comparação do consumo elétrico *per capita* anual com o IDH dos 60 países mais populosos.

Fonte: Pasternack (2000)

Samantha DeMartino e David Le Blanc (2010) analisando o caminho percorrido pelo desenvolvimento de vinte países ao longo de 30 anos, de 1975 a 2005, demonstrou que a correlação entre o IDH e o consumo de energia *per capita* mantem a mesma trajetória da curva proposta por Pasternak em 2000 como mostra a Figura 7. Esta constatação é importante, porque demonstra que mesmo em sociedades com características de desenvolvimento distintas, a evolução do IDH e

<sup>5</sup> OECD – Países membros: Áustria, Bélgica, Dinamarca, França, Grécia, Islândia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Holanda, Noruega, Portugal, Suécia, Suíça, Turquia, Reino Unido, Alemanha, Espanha, Canadá, Estados Unidos, Japão, Finlândia, Austrália, Nova Zelândia, México, República Tcheca, Hungria, Polónia, Coreia do Sul, Eslováquia, Chile, Estônia, Israel, Eslovênia.

do consumo *per capita* de energia ao longo do tempo se dá de forma semelhante, seguindo a curva proposta por Pasternak. Desta forma, é plenamente viável a utilização desse instrumento para subsidiar o planejamento energético visando a melhoria do IDH através de políticas públicas mais eficientes, “restituindo a energia elétrica o seu caráter de vetor indutor do desenvolvimento, e não meramente a sua consequência” (SILVA e GUIMARÃES, 2012).

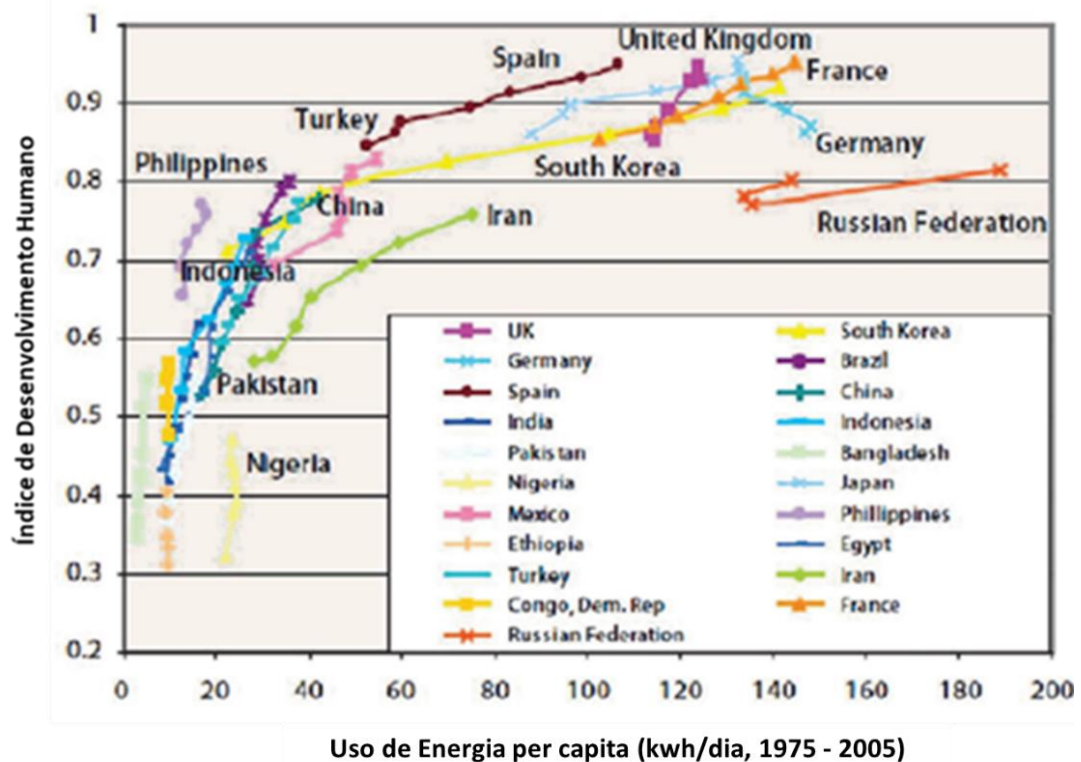


Figura 7: Evolução da relação do consumo elétrico diário *per capita* com o IDH durante 30 anos de 20 países selecionados.

Fonte: Samantha DeMartino e David Le Blanc (2010)

No Caso do Brasil pode-se observar que essa correlação se mantém tanto comparando-se as regiões do país quanto comparando os estados como pode-se observar nas Figuras 8 e 9. Olhando para as regiões, todas estão abaixo da curva proposta por Pasternak tendo o Nordeste a pior relação IDH x Consumo elétrico/ano *per capita* e o Sul e Sudeste, muito próximos, com as maiores relações. Tendo como referência a curva proposta por Pasternak, estando todas as regiões do país abaixo desta curva, conclui-se que há espaço para a melhora do IDH mantendo o consumo elétrico/ano *per capita* com uma melhor distribuição de renda. Olhando para os

estados, observa-se o Maranhão e o Piauí com as piores relações de IDH x consumo elétrico/ano *per capita* e o Distrito Federal e Santa Catarina com as melhores relações, com IDH próximos, contudo, Santa Catarina tem um consumo 48,73% maior que o Distrito Federal. Pode-se concluir que, seguindo o mesmo raciocínio das regiões, o estado de Santa Catarina possui, relativamente, uma alta concentração de renda e o Distrito Federal embora possua o melhor índice IDH dentre os estados, é o 10º. em consumo elétrico/ano *per capita*. Isso pode ser explicado por ser um distrito, Capital do País, com concentração elevada da renda e baixa concentração populacional relativa. É a região onde está concentrado o poder político do país. Neste caso, o gráfico indica que exista espaço para a melhora do consumo elétrico sem a necessidade de uma melhora do IDH. Combinando esses fatores, pode-se concluir que também existe a necessidade de uma melhor distribuição da renda, visto que o IDH é impulsionado pela classe política vivendo na região.

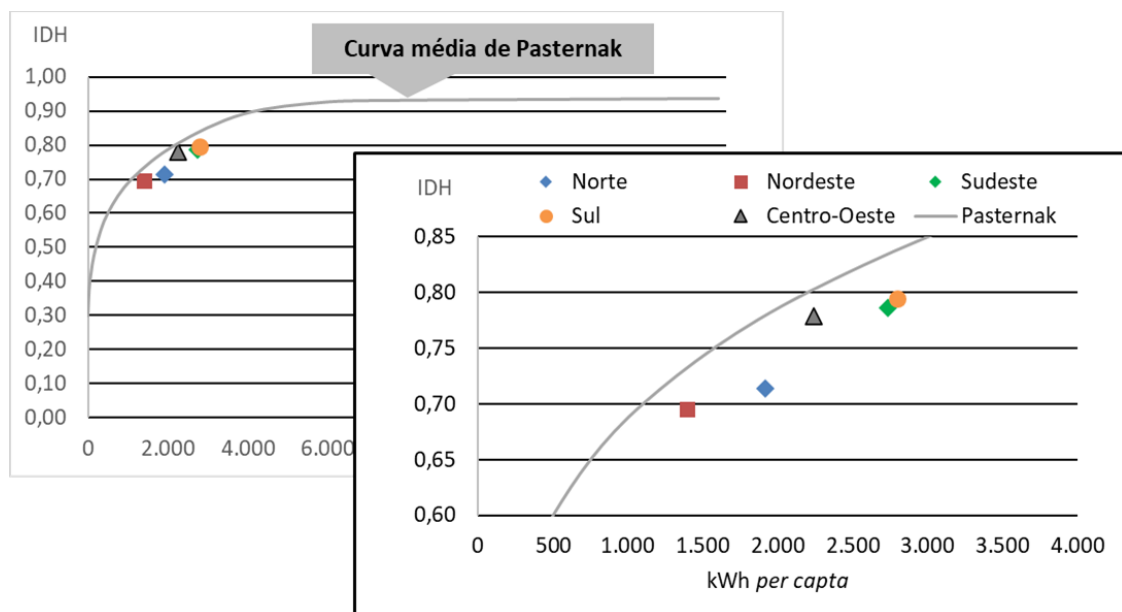


Figura 8: Comparação do consumo elétrico *per capita* anual com o IDH das Regiões do Brasil.

Fonte: Autor (IPEA e EPE, 2015)

O estado do Rio de Janeiro, localizado na região sudeste, possui um lugar modesto nessa relação IDH x consumo elétrico/ano *per capita*, está abaixo da curva proposta por Pasternak, observado na Figura 9, mostrando que também há espaço para a melhora do IDH, indicando a necessidade de uma melhor distribuição de renda ainda mantendo o mesmo consumo elétrico/ano *per capita*. Olhando para a

cidade do Rio de Janeiro, na evolução do consumo elétrico anual *per capita* e do IDH mostrada na Figura 10, percebe-se também uma proximidade a linha de Pasternak entre os anos 1991 à 2000, na década seguinte, 2000-2010, a cidade melhorou o IDH mantendo muito próximos o consumo elétrico anual *per capita* mas nos anos seguinte, de 2010 até 2015 percebe-se uma queda acentuada o IDH com o consumo elétrico anual *per capita* praticamente inalterado nesses anos em decorrência da crise econômica mundial iniciada em 2008.

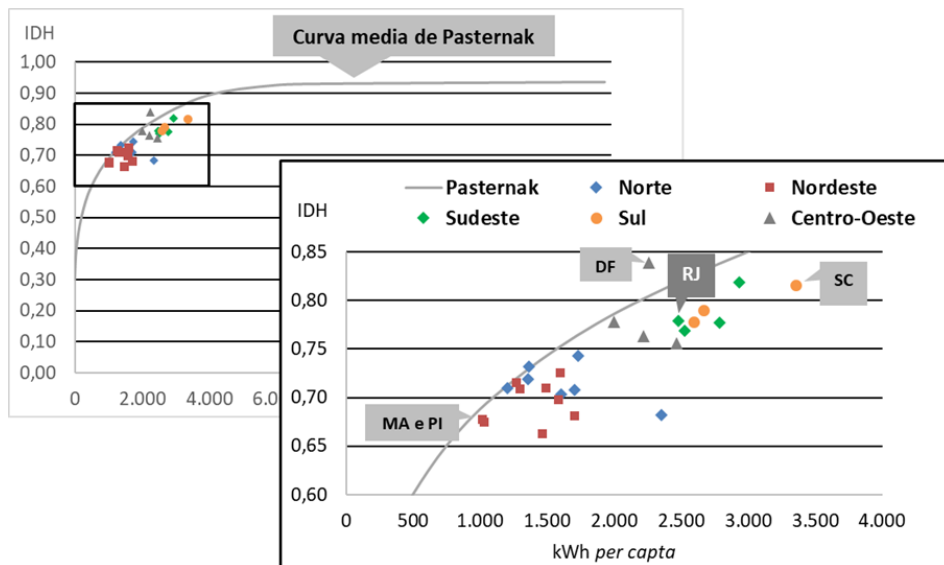


Figura 9: Comparação do consumo elétrico per capita anual com o IDH dos Estados do Brasil.

Fonte Autor (IPEA e EPE, 2015)

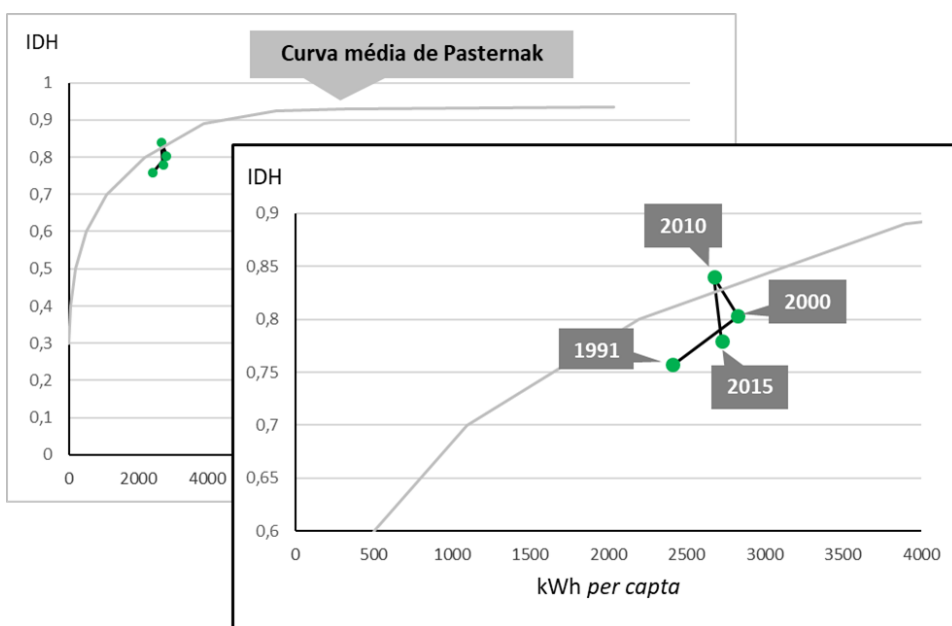


Figura 10 – Evolução da relação do consumo elétrico per capita e o IDH da Cidade do Rio de Janeiro entre 1991 e 2015.

Fonte: Autor (IPP – Tabelas 1727 e 2275 de 1991, 2000, 2010 e IPEA 2015)

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em seu relatório de Projeção de demanda de energia elétrica para 2026, calculou o índice de elasticidade – renda<sup>6</sup> do consumo de energia elétrica para o período 2021 – 2026, registrando um indicador de 1,34 para o período (EPE, 2017, pag. 51). Isso significa que a cada 1% de aumento no PIB brasileiro, aumenta 34% no consumo de eletricidade, conseqüentemente aumentando o IDH. Contudo, o crescimento do PIB não significa necessariamente o crescimento da renda da população como um todo, é necessário que essa renda seja distribuída.

Embora já mostrado a possibilidade de uma melhora no IDH, ou seja, uma melhora na expectativa de vida, na escolaridade e na renda, para o mesmo nível de consumo elétrico, sugerindo a necessidade de investimentos na educação e na distribuição de renda, no Anuário Estatístico de Energia Elétrica com dados de 2013 a 2017 elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), mostrado na Tabela 2, observa-se o caminho contrário. O consumo elétrico *per capita* no Brasil caiu a uma taxa média de 1,83% no período de 2014 a 2016 reduzindo de 2.616 kWh/ano/habitante para 2.520 kWh/ano/habitante e se mantendo praticamente estável no período de 2016 para 2017, acompanhando a retração do PIB e podendo refletir uma redução no IDH nos anos seguintes.

Ainda olhando para os estados brasileiros, nessa correlação do IDH com o consumo de energia elétrica por habitante/ano mostrado, percebe-se que mesmo as regiões Sul e Sudeste, com IDHM (médio) de 0,795 e 0,786<sup>7</sup>, não atingem a energia mínima a ser consumida de 4.000 kWh/ano/habitante estabelecida por Pasternak, tendo Santa Catarina o maior e o Rio de Janeiro o menor consumo *per capita*, de 3.455 kWh/ano/habitante e 2.320 kWh/ano/habitante respectivamente em 2017 nessas regiões. Considerando a proposta de Pasternak e comparando as correlações do IDH e o consumo elétrico das duas cidades mencionadas, identifica-se uma melhor qualidade de vida em Santa Catarina do que no Rio de Janeiro.

---

<sup>6</sup> Índice de Elasticidade-renda - é uma medida do quanto a quantidade demandada de um bem responde a uma variação na renda dos consumidores, calculada como a variação percentual da quantidade demandada dividida pela variação percentual da renda

<sup>7</sup> As Nações Unidas consideram o IDH acima de 0,793 como muito alto.

Tabela 2: Consumo elétrico per capita (2013 a 2017) e IDH dos estados do Brasil

	2013	2014	2015	2016	2017	IDH 2015 (4)
	<b>Consumo per capita (kWh/hab)</b>					
<b>Brasil (1)</b>	<b>2.557</b>	<b>2.616</b>	<b>2.556</b>	<b>2.520</b>	<b>2.525</b>	<b>0,761</b>
<b>Brasil (2)</b>	<b>2.294</b>	<b>2.332</b>	<b>2.269</b>	<b>2.232</b>	<b>2.241</b>	
<b>Norte</b>	<b>1.765</b>	<b>1.865</b>	<b>1.916</b>	<b>1.923</b>	<b>1.912</b>	<b>0,714</b>
Rondônia	1.686	1.724	1.706	1.639	1.690	0,708
Acre	1.078	1.113	1.202	1.232	1.285	0,710
Amazonas	1.553	1.607	1.601	1.486	1.430	0,703
Roraima	1.432	1.599	1.732	1.765	1.742	0,743
Pará	2.116	2.266	2.351	2.417	2.412	0,682
Amapá	1.293	1.337	1.356	1.411	1.332	0,719
Tocantins	1.221	1.293	1.361	1.413	1.432	0,732
<b>Nordeste</b>	<b>1.423</b>	<b>1.432</b>	<b>1.396</b>	<b>1.393</b>	<b>1.389</b>	<b>0,695</b>
Maranhão	1.612	1.265	1.016	978	983	0,677
Piauí	907	965	1.027	1.052	1.080	0,675
Ceará	1.227	1.280	1.268	1.325	1.263	0,715
Rio Grande do Norte	1.538	1.596	1.595	1.601	1.597	0,725
Paraíba	1.250	1.289	1.299	1.293	1.300	0,709
Pernambuco	1.399	1.445	1.488	1.482	1.482	0,710
Alagoas	1.446	1.486	1.466	1.450	1.466	0,663
Sergipe	1.732	1.740	1.706	1.662	1.595	0,681
Bahia	1.546	1.632	1.585	1.564	1.582	0,698
<b>Sudeste</b>	<b>2.832</b>	<b>2.839</b>	<b>2.740</b>	<b>2.666</b>	<b>2.665</b>	<b>0,786</b>
São Paulo	3.107	3.087	2.935	2.831	2.863	0,819
Minas Gerais	2.608	2.604	2.523	2.569	2.561	0,769
Espírito Santo	2.717	2.796	2.787	2.462	2.424	0,777
Rio de Janeiro	2.404	2.480	2.479	2.393	2.320	0,779
<b>Sul</b>	<b>2.781</b>	<b>2.912</b>	<b>2.801</b>	<b>2.790</b>	<b>2.858</b>	<b>0,795</b>
Paraná	2.630	2.732	2.665	2.624	2.705	0,790
Santa Catarina	3.354	3.513	3.357	3.351	3.455	0,816
Rio Grande do Sul	2.589	2.729	2.596	2.611	2.639	0,778
<b>Centro-Oeste</b>	<b>2.168</b>	<b>2.243</b>	<b>2.241</b>	<b>2.193</b>	<b>2.216</b>	<b>0,779</b>
Mato Grosso do Sul	1.958	2.028	2.002	1.945	2.041	0,778
Mato Grosso	2.344	2.473	2.469	2.414	2.549	0,756
Goiás	2.101	2.168	2.218	2.195	2.207	0,763
Distrito Federal	2.316	2.349	2.257	2.164	2.023	0,839

(1) inclui autoprodução total

(2) inclui apenas autoprodução circulante na rede

Fonte: EPE e IPEA (2018)

A Tabela 3 mostra a posição do Brasil comparada aos dez primeiros colocados quanto ao IDH e suas posições em relação ao consumo anual de energia elétrica líquida<sup>8</sup> por habitante em 2017. Há uma grande defasagem no consumo de energia em relação aos países desenvolvidos com elevado IDH, como a Noruega e Singapura (1º. e 9º. colocados). O Brasil possui um consumo de 2.466 kwh/ano/habitante em 2017, que representa 10,70% do consumo da Noruega e 28,91% de Singapura. O Brasil ocupa o 87º em consumo de energia por habitante/ano e a 79ª posição no IDH.

Desta forma, o Brasil pode se valer destas informações para direcionar suas políticas públicas de investimentos na expansão de oferta de energia elétrica de forma mais assertiva.

Tabela 3: Classificação segundo as 10 primeiras posições em relação IDH e o consumo per capita de energia elétrica

2017				
Posição conforme o IDH	IDH	País	Consumo <i>per capita</i> de energia elétrica líquida (Kw/h/hab)	Posição conforme Consumo Elétrico
1	0,953	Noruega	23.039,77	2
2	0,943	Suíça	6.931,69	29
3	0,939	Irlanda	5.525,62	41
4	0,938	Alemanha	5.262,01	34
5	0,937	Hong Kong, China (SAR)	6.020,64	38
5	0,937	Austrália	9.432,54	16
7	0,935	Islândia	54.592,54	1
7	0,935	Suécia	13.460,30	8
9	0,934	Singapura	8.529,34	18
10	0,932	Países Baixos (Holanda)	6.429,62	35
79	0,760	Brasil	2.466,53	87

Fonte: Autor (ONU - Human Development Report, EIA – Energy Information Administration US)

Os estudos de Pasternak (2000) e DeMartino e Le Blanc (2010) podem ser usados para avaliar como se comporta o desenvolvimento das sociedades, podendo ser usado como instrumento para direcionar os recursos públicos-privados nas regiões metropolitanas onde se concentram a maior parcela da sociedade.

<sup>8</sup> Energia Líquida – É a quantidade líquida de energia fornecida por uma determinada fonte, ou seja, calculada diminuindo-se da quantidade total de energia da fonte, a energia gasta para produzi-la.



Um segundo indicador importante considerado pela IEA, em 2004, na relação entre consumo de energia e desenvolvimento social e econômico é a parcela da população com acesso à energia elétrica em suas casas (IEA, 2004). Neste caso, faz-se necessário entender como as classes sociais estão representadas no contexto urbano. Para isso, pesquisou-se como se comporta a curva proposta por Pasternak em relação ao consumo elétrico residencial anual por bairro e o consumo elétrico anual por classe social e por bairro com os respectivos IDH de cada bairro.

Com dados fornecidos pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2013) e pelo Instituto Pereira Passos (IPP, 2010), foi possível elaborar o gráfico da Figura 11 onde percebe-se o mesmo comportamento proposto por Pasternak com uma exceção, o bairro de Camorim. Pode-se entender então que as análises feitas anteriormente para os estados também podem ser aplicadas para os bairros tendo o cuidado de correlacionar o consumo elétrico residencial anual com o IDH de cada bairro. O bairro de Acari apresenta a pior relação com um consumo residencial total de 46.000 kWh/ano mas com 8.011 domicílios com energia elétrica, consumindo apenas 5,74 kWh/ano/domicílio com um IDH de 0,654; contrastando com o bairro do Joá que possui apenas 250 domicílios com energia elétrica mas consumindo 3.839.000 kWh/ano apresentando uma média de 15.356 kWh/ano/domicílio e um IDH de 0,923. Isso sugere a necessidade de investimentos, tanto na melhoria da quantidade e qualidade da energia entregue, quanto na aferição da energia consumida, podendo por fim traduzir-se na possibilidade do aumento do consumo elétrico nos bairros mais pobres da cidade através do planejamento de distribuição elétrica mais equilibrada.

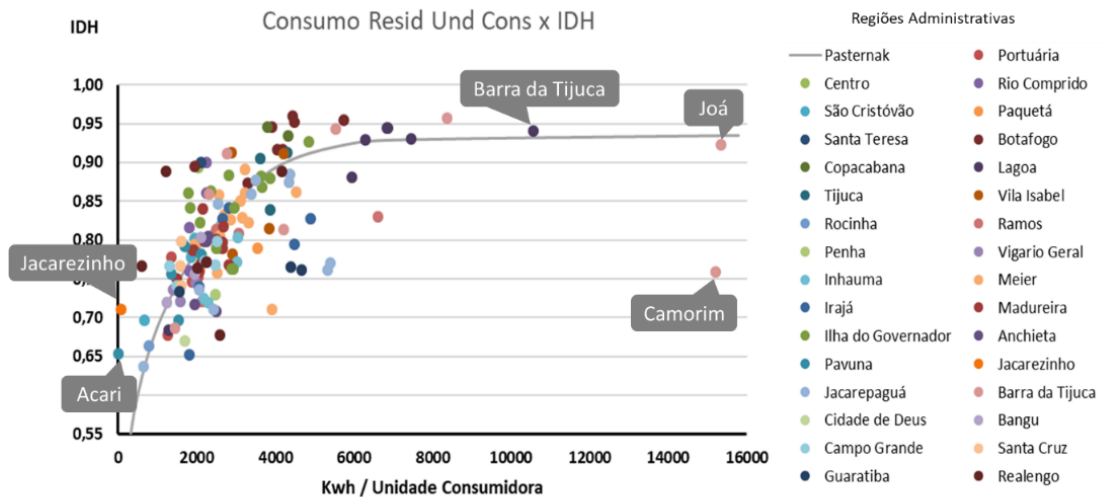


Figura 11: Relação entre o consumo elétrico residencial por unidade consumidora com o IDHM por Bairro.

Fonte: Autor (IPP – Tabelas 3155 e 2501 e PNUD - 2010)

A Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP) utiliza o Critério de Classificação Econômica Brasil, conhecido como Critério Brasil<sup>9</sup> que utiliza como base o estudo de Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF<sup>10</sup>), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), mas inclui o acesso a serviços públicos como acesso a água encanada e rua pavimentada. Em 2018, com dados referentes a 2017, a ABEP divulgou que 28,5% da população brasileira, 59,12 milhões de pessoas, pertencem às classes D e E, com renda domiciliar mensal de 75,58% do salário mínimo vigente na época que era de R\$ 937,00 (ABEP, 2017) e conforme estimativa populacional do IBGE, dos 63,57 milhões de pessoas residentes nas regiões metropolitanas, 20,9% ou seja, 13,28 milhões, pertencem às essas mesmas classes sociais. Porém, conforme dados do Banco Mundial (2019), 100% da população urbana no Brasil teve acesso a eletricidade, marca atingida em 2017 como mostrado na Figura 12, evidenciando que o acesso à energia elétrica não se traduz, necessariamente, ao consumo elétrico. É necessário criar mecanismos que contribuam com a redução das tarifas de energia e neste sentido usinas solares dentro do espaço urbano podem se tornar um aliado em potencial.

<sup>9</sup> CRITÉRIO BRASIL - A metodologia de desenvolvimento do Critério Brasil que entrou em vigor no início de 2015 está descrita no livro Estratificação Socioeconômica e Consumo no Brasil dos professores Wagner Kamakura (Rice University) e José Afonso Mazzon (FEA /USP), baseado na Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) do IBGE.

<sup>10</sup> POF - Avalia as estruturas de consumo, de gastos, de rendimentos e parte da variação patrimonial das famílias, oferecendo um perfil das condições de vida da população a partir da análise dos orçamentos domésticos. Além das informações diretamente associadas à estrutura orçamentária, várias características dos domicílios e das famílias são também investigadas, incluindo a autoavaliação subjetiva sobre qualidade de vida.

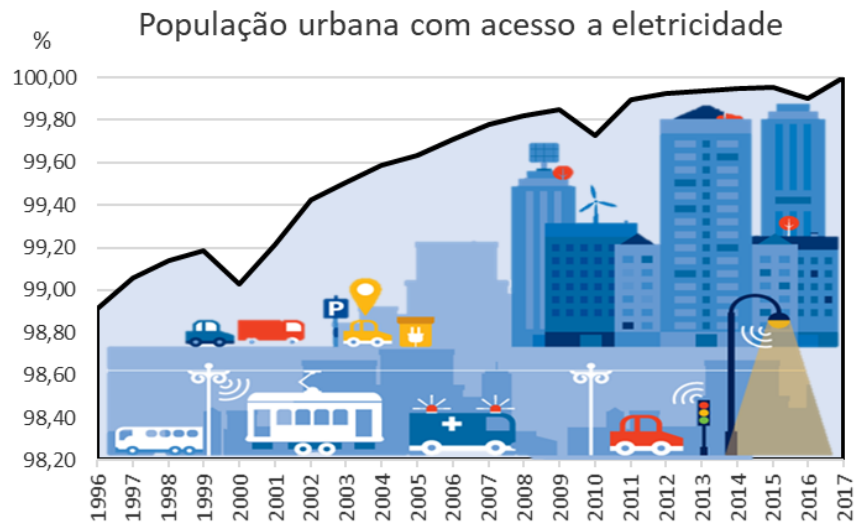


Figura 12: Evolução da parcela da população urbana brasileira com acesso a eletricidade.

Fonte: The World Bank (World Development Indicators - 2019)

De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2017), pode-se perceber na Tabela 4 que a população de baixa renda<sup>11</sup>, classes C<sub>2</sub> e D-E conforme o Critério Brasil, vem reduzindo o consumo de energia a partir de 2014 representando uma redução de 31,74% no período de 2014 para 2017. Uma queda acentuada também acontece na região sudeste. Responsável por 31,20% da geração de energia, a maior do país, a região sudeste teve uma redução de 31,04% no consumo de energia elétrica para a mesma faixa de renda e no mesmo período, que de acordo com o Critério Brasil em 2017, somam 40,67 milhões de pessoas, ou seja, 46,8% da população da região sudeste, representando um consumo médio alarmante de 94,22 kWh/ano/pessoa. Para efeito de comparação, a EPE observou no mesmo anuário estatístico, que o consumo médio residencial no Brasil foi de 1.895,01 kWh/ano, ou seja, 157,92 kWh/mês.

Os levantamentos feitos pela EPE em relação ao consumo elétrico da classe social de baixa renda, confirmam os levantamentos feitos anteriormente em relação ao consumo elétrico por domicílio nos bairros mais pobres da cidade do Rio de Janeiro (ver Figura 11)

<sup>11</sup> Considerando a população de baixa renda aquelas pessoas com renda de até 2 salários mínimo, que para o Critério Brasil representam as classes C<sub>2</sub> e D-E.

Tabela 4: Consumo residencial por região do Brasil e faixa de consumo (GWh)

	2013	2014	2015	2016	2017	$\Delta\%$ (2017/2016)	Part. % (2017)
<b>Brasil</b>	<b>124.908</b>	<b>132.302</b>	<b>131.190</b>	<b>132.872</b>	<b>134.368</b>	<b>1,1</b>	<b>100</b>
Baixa renda	16.742	18.849	13.835	13.329	12.866	-3,5	9,6
<b>Norte</b>	<b>7.425</b>	<b>8.474</b>	<b>9.074</b>	<b>9.476</b>	<b>9.497</b>	<b>0,2</b>	<b>7,1</b>
Baixa renda	1.042	1.458	1.353	1.450	1.445	-0,3	15,2
<b>Nordeste</b>	<b>23.964</b>	<b>25.496</b>	<b>26.114</b>	<b>26.910</b>	<b>27.059</b>	<b>0,6</b>	<b>20,1</b>
Baixa renda	8.561	9.147	6.498	6.135	5.984	-2,5	22,1
<b>Sudeste</b>	<b>63.946</b>	<b>66.361</b>	<b>64.785</b>	<b>64.796</b>	<b>65.255</b>	<b>0,7</b>	<b>48,6</b>
Baixa renda	4.857	5.557	4.074	4.031	3.832	-5,0	5,9
<b>Sul</b>	<b>19.671</b>	<b>21.278</b>	<b>20.353</b>	<b>20.714</b>	<b>21.247</b>	<b>2,6</b>	<b>15,8</b>
Baixa renda	1.432	1.540	1.079	1.037	961	-7,3	4,5
<b>Centro Oeste</b>	<b>9.902</b>	<b>10.692</b>	<b>10.865</b>	<b>10.976</b>	<b>11.311</b>	<b>3,1</b>	<b>8,4</b>
Baixa renda	849	1.147	831	677	644	-4,8	5,7

Fonte: EPE (2017)

Considerar que o consumo de energia residencial está relacionado ao poder aquisitivo de cada indivíduo, sugere que o planejamento energético de uma cidade não deve estar vinculado apenas a oferta e demanda de energia. Mas também devem ser levantados o modo de vida das pessoas, seus padrões de consumo, sua faixa de consumo e sua renda. Cada indivíduo é influenciado pelo contexto econômico de maneira diferenciada e que depende do seu poder aquisitivo e seu gasto de energia. Em seu estudo Falco (2010) sugere ainda que a mudança de padrões de consumo elétrico das famílias relacionados a fatos adversos é mínima. Por outro lado, conjunturas econômicas favoráveis, como a distribuição de renda e consequentemente o aumento no poder de compra, repercutem positivamente sobre o consumo elétrico residencial das famílias, criando um ciclo ascendente de desenvolvimento social.

Contudo, o padrão de consumo elétrico é ao mesmo tempo determinado pela condição socioeconômica, traduzida pelo acesso a bens e serviços, promovendo o agrupamento das classes sociais, como também é determinante dessa condição socioeconômica à medida que facilita o acesso à informação. Traduzindo, pode-se relacionar o consumo elétrico ao acesso à educação, a capacitação e a um melhor conhecimento sobre os fatos que acontecem no mundo. Portanto, é possível considerar que o acesso à energia elétrica é um fator

importante capaz criar condições para uma evolução social e não apenas ser determinado por ela.

Uma visão contrária ao senso comum de primeiro aumentar a renda para depois consumir energia, também é verdadeira. Com restrições no consumo de energia elétrica pela classe social mais baixa cria-se um ciclo vicioso de estagnação social. Na Figura 13, observa-se a cadeia de interdependência do consumo de eletricidade e a renda. Num primeiro momento, sem consumo de energia não há possibilidade de evolução socioeconômica. É necessário o consumo de algum tipo de energia para iniciar o ciclo de renda e acesso a bens e serviços que possam retroalimentar o consumo de eletricidade.

Desta forma, é importante para o desenvolvimento socioeconômico de uma região que no planejamento da expansão de rede elétrica esteja inserido a necessidade socioeconômica da população residente servindo de parâmetro de oferta de energia elétrica, ou seja, procurar atender a todos de forma igualitária em todas as regiões, contudo com políticas tarifárias diversificadas.

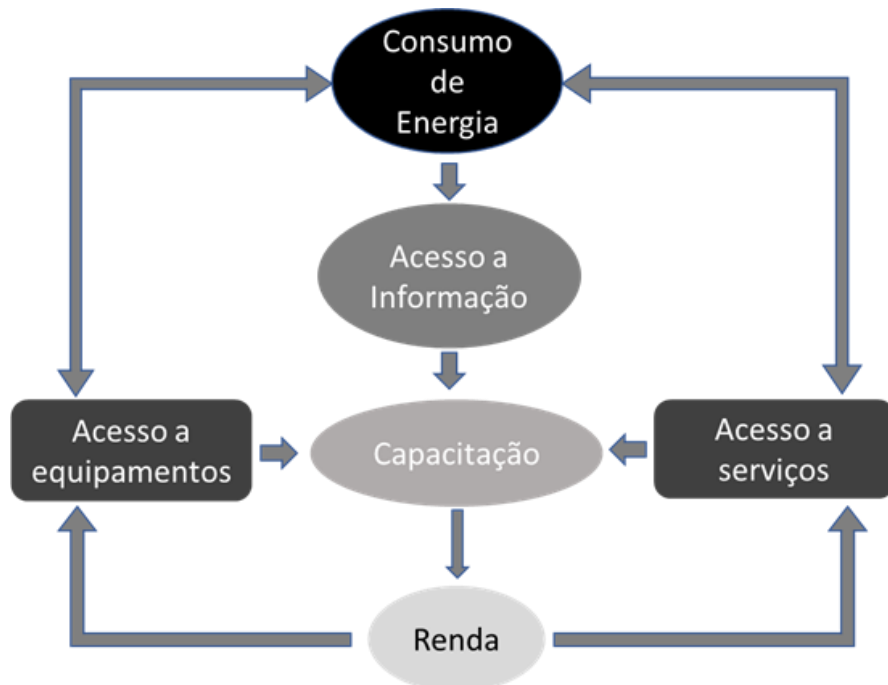


Figura 13: Fluxograma da relação do acesso do consumo elétrico à renda.

Fonte: Autor (2020)

Conclui-se que o Brasil possui grande potencial para investimentos e crescimento energético, contudo estes investimentos não devem ser atrelados a degradações ecológicas ou baseados em ações imprudentes e desastrosas que acabam resultando no oposto, na piora da qualidade de vida das pessoas.

## **2.2. A NECESSIDADE DE UM DESENVOLVIMENTO URBANO MAIS SUSTENTÁVEL**

Sem energia o mundo não se desenvolve, portanto é necessário investimentos contínuos em geração de energia elétrica para continuar crescendo.

O impacto que os ciclos de expansão econômica têm sobre o consumo local de energia são grandes. Ocorreu no Brasil em 1994 a implementação do Plano Real<sup>12</sup> e segundo o Atlas de Energia Elétrica do Brasil produzido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), “ao conter a inflação e estabilizar a moeda, permitiu o aumento abrupto de renda da população. A expansão do consumo de energia elétrica deu um salto de 4,55% em 1994 e de 6,41% no ano seguinte”. (ANEEL, 2008)

Segundo a série histórica produzida pelo IBGE, de 2007 a 2016 a economia brasileira apresentou uma variação acumulada do PIB de 21,20% em 10 anos, uma variação média anual de 2,12%, e de acordo com a EPE, acompanhado pela variação acumulada no consumo de energia elétrica de 26,56%, representando uma variação média anual de 2,65% no mesmo período, como pode ser observado na Figura 14. Destaca-se no gráfico a crise de energia elétrica que o país atravessou em 2001 demonstrado pela queda acentuada de 13,14% no consumo elétrico em relação ao ano anterior, e a crise financeira internacional provocada pela concessão de crédito fácil de alto risco com a quebra do banco Lehman Brothers nos Estados Unidos da América iniciada em 2008 e que levou o PIB brasileiro a uma retração de 1,07% e a queda do consumo elétrico em 2009. Percebe-se também um deslocamento das curvas no período de 1996 a 1999, em 2003 e em 2012, contudo, as tendências que elas refletem são as mesmas. Considerando a atual taxa de

---

<sup>12</sup> Plano Real - foi um conjunto de reformas econômicas implementadas no Brasil, em 1994, no governo de Itamar Franco. Seu objetivo principal era combater a hiperinflação no país após a década de 80, conhecida como a década perdida. Foi o 13º plano econômico executado desde 1979.

crescimento médio anual do PIB, de 2,12% e o consumo médio *per capita* de 2.525 kWh/ano, mostrado na Tabela 2, o país atingirá o nível de consumo elétrico de 4.000 kWh/ano/habitante proposto por Pasternak em 2039, ou seja, serão necessários 22 anos de investimentos crescentes a uma taxa de 2,12% a.a. no setor elétrico. De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia (EPE, 2020. pag. 146), em 2020 o Brasil deve investir perto de R\$ 5 Bilhões, que comparando com o PIB nacional de 2019, que foi de R\$ 7,3 Trilhões, representa módicos 0,068% do PIB daquele ano. Até 2024, o Brasil investirá R\$ 67,7 bilhões em linhas de transmissão e subestações, dos quais 78% já possuem outorga<sup>13</sup>.

Os países em desenvolvimento, como o Brasil, costumam apresentar variações do consumo de energia mais acentuadas em função de fatores como a demanda reprimida por eletrodomésticos, eletroeletrônicos e automóveis, e existência de uma forte economia informal.

Segundo a *International Energy Agency* (2019) os investimentos globais em energia se estabilizaram após 3 anos de declínio, em US\$ 1,85 trilhão em 2018. A maior parte dos investimentos foram para o setor elétrico que envolve geração, transmissão e distribuição e absorveram quase US\$ 771 bilhões, 41,86% dos investimentos totais em energia. Quase metade, 40%, foram para compor o setor de energias renováveis.

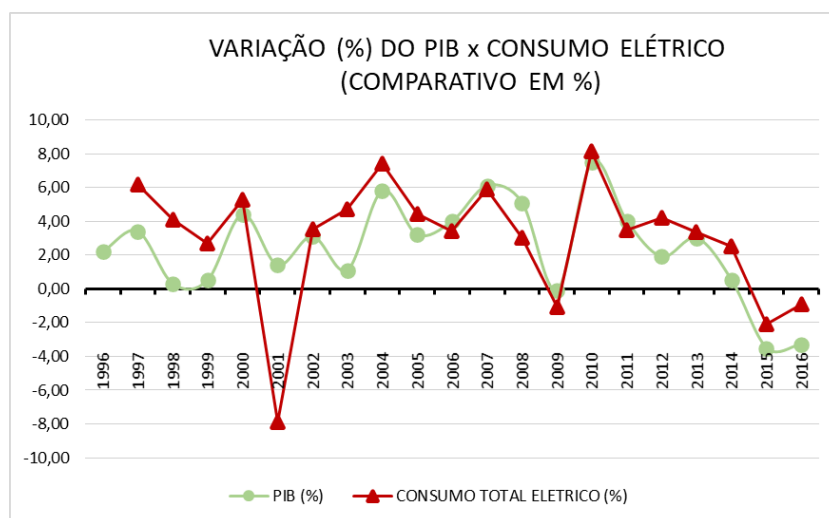


Figura 14: Comparação da variação percentual do PIB em relação ao consumo elétrico no Brasil.

Fonte: Autor (IBGE e EPE - 2020)

<sup>13</sup> Outorga – Permissão para funcionamento.

Como visto, os países desenvolvidos são, historicamente, os maiores consumidores mundiais de energia, porém, sua participação no total mundial tem recuado ao longo do tempo, pois tendem a utilizar, com maior frequência na produção industrial, equipamentos energeticamente mais eficientes que, ao longo do tempo, passaram a requerer menor volume de energia para se manter em operação. Já os países em desenvolvimento estão mais sujeitos a bruscas mudanças de tendências na economia, seja pela política econômica interna restritiva, seja pela grande dependência do capital internacional, dado o pequeno volume de poupança interna.

Outra característica que se observa nos países desenvolvidos é uma certa diversificação no tipo de fontes de energia resultado de políticas públicas aplicadas por governos individualmente. Essas políticas, ainda em andamento, visam à diversificação da matriz energética e a consequente redução da utilização dos combustíveis fósseis em função da volatilidade e da tendência de alta dos preços do petróleo quanto da necessidade de contenção do volume de emissões de gases causadores do efeito estufa<sup>14</sup>.

Analisando a produção de energia primária<sup>15</sup> no Brasil de 1990 à 2016, percebe-se na Figura 15 que as fontes não renováveis como petróleo e gás, causadores dos gases de efeito estufa, estão ganhando espaço na matriz energética<sup>16</sup> nacional. Em 2016 alcança-se uma diferença de 33,56% em relação as energias renováveis.

---

<sup>14</sup> Gases de efeito estufa - são substâncias gasosas que absorvem parte da radiação infravermelha, emitida principalmente pela superfície terrestre, e dificultam seu escape para o espaço. Isso impede que ocorra uma perda demasiada de calor para o espaço, mantendo a Terra aquecida. Embora seja um fenômeno natural, grande parte destes gases é produzida pelos seres humanos em diversas atividades antrópicas, como queima de combustíveis fósseis, gases emitidos por escapamentos de carros, tratamento de dejetos, uso de fertilizantes, atividades agropecuárias, queimadas de florestas e diversos outros processos industriais, aumentando sua concentração na atmosfera e alterando o clima no planeta.

<sup>15</sup> Energia primária – Todos os produtos energéticos providos pela natureza na sua forma direta

<sup>16</sup> Matriz Energética - é toda energia disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos, é uma representação quantitativa da oferta de energia, ou seja, da quantidade de recursos energéticos oferecidos por um país ou por uma região.



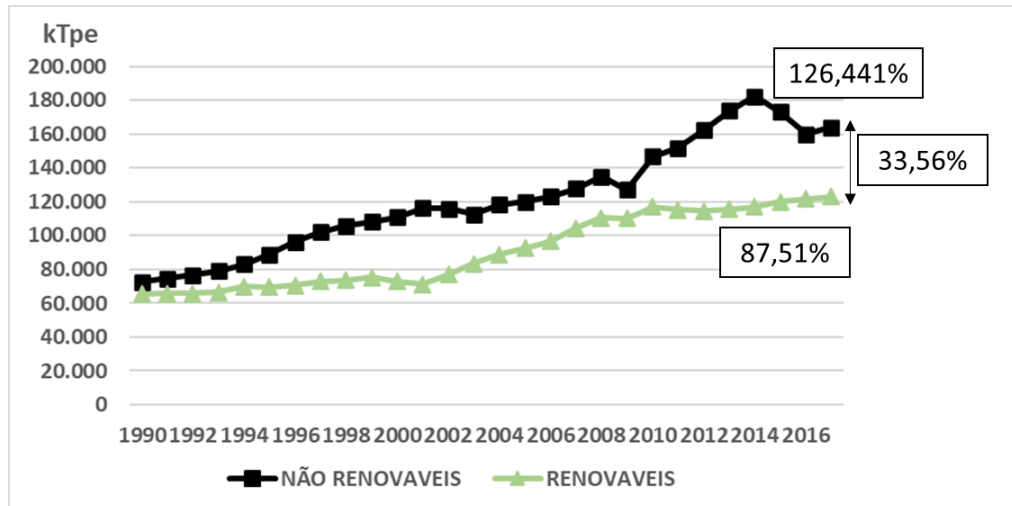


Figura 15: Evolução da produção de energia primária renovável e não renovável no Brasil em Quilo Tonelada de Petróleo Equivalente.

Fonte: IEA (2019)

Um levantamento feito pela *International Energy Agency* referente a 2017, mostrado na Figura 16, aponta que a matriz energética mundial é baseada nas fontes não renováveis como petróleo e seus derivados com 31,9%, carvão mineral com 26,9%, gás natural com 22,5% e a nuclear com 4,9%, representando um total de 86,2% da energia gerada. O Brasil segue a mesma tendência, com 58,1% de suas fontes de energia provenientes de fontes não renováveis, observado na Figura 17.

Fontes de geração de energia elétrica por biomassa e hidráulica são consideradas fontes renováveis de energia, porque são provindas dos recursos naturais assim como o sol, o vento, e a geotérmica, que são naturalmente abastecidos. De acordo com o Ministério das Minas e Energia (MME, 2019), nota-se que na matriz elétrica<sup>17</sup> brasileira, mostrada na Figura 18, há um predomínio da fonte hidráulica com 64,4% de toda geração de energia elétrica no país. A matriz de produção elétrica reverte a tendência da matriz energética com predomínio das fontes renováveis com 81,9% de toda geração de energia elétrica. Contudo para manter a vazão necessária e poder movimentar as turbinas para gerar eletricidade, as usinas hidrelétricas necessitam de grandes áreas inundadas impactando o

<sup>17</sup> Matriz Elétrica - é toda energia disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida na forma de energia elétrica. É uma representação quantitativa da oferta da quantidade de recursos energéticos oferecidos por um país ou por uma região para gerar energia elétrica.

ecossistema, causando desequilíbrio entre as espécies nativas, transtornos à comunidade da região além de produzir grande quantidade de  $\text{CO}_2$ <sup>18</sup> pelo apodrecimento das áreas inundadas.

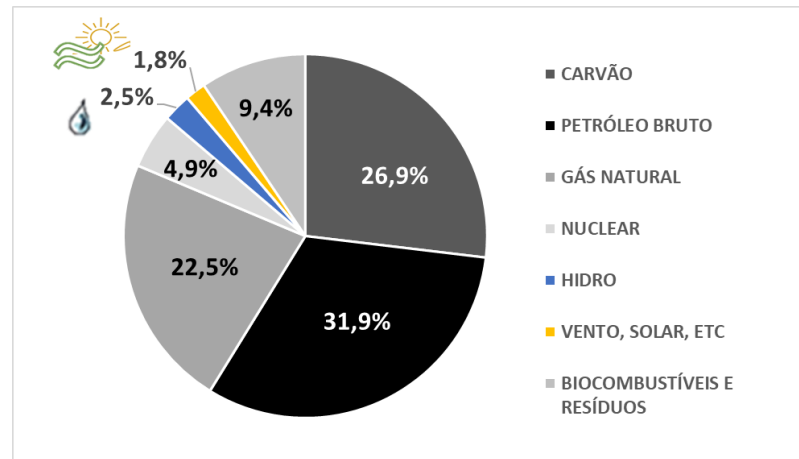


Figura 16: Matriz Energética Mundial em 2017

Fonte: IEA (2017)

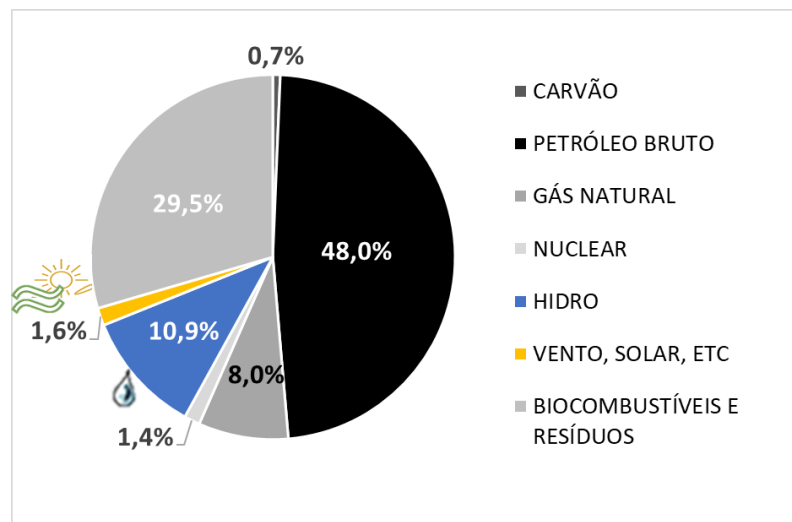


Figura 17: Matriz Energética Brasileira em 2017

Fonte: IEA (2017)

<sup>18</sup>  $\text{CO}_2$  – Dióxido de Carbono, popularmente conhecido com Gás Carbônico, é um composto químico gasoso essencial para a vida no planeta. É liberado para a atmosfera mediante o processo de combustão natural, resultante da respiração de animais e da flora, ou pela combustão forçada liberada pela queima de matéria orgânica ou combustíveis.

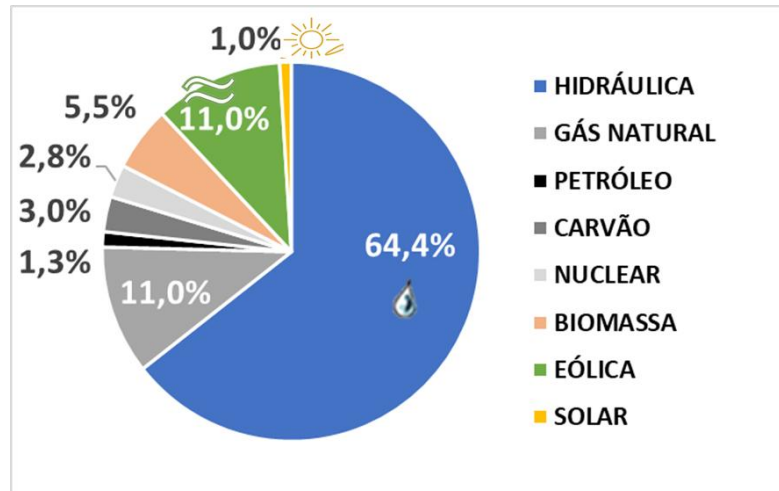


Figura 18: Matriz Elétrica Brasileira em 2019

Fonte: Ministério das Minas e Energia – MME (2019)

Introduzido no encontro internacional *The World Conservation Strategy*<sup>19</sup> em 1980, sustentabilidade é um termo complexo e todas as possíveis abordagens contêm intrinsicamente, o conceito de equilíbrio da biosfera e bem-estar social (SICHE *et al.*, 2007) e segundo Veiga (2010 *apud* GONZALEZ, 2010), “sustentabilidade ecossistêmica corresponde a um suposto equilíbrio” da habilidade da vida biológica continuar sobrevivendo em uma determinada área onde ganha força o conceito de resiliência, que segundo Gonzalez (2010) é a “capacidade que tem um sistema de enfrentar distúrbios mantendo sua função e estrutura”, e acrescenta que é necessário desenhar um novo paradigma, de acordo com o qual, as questões das diversas áreas do saber possam ser avaliadas de forma sistêmica, de forma multidisciplinar. Desta forma, sustentabilidade e resiliência estão interligadas e neste contexto, cidades resilientes são capazes de resistir, absorver e se recuperar de forma eficiente dos efeitos de um desastre, e de maneira organizada prevenir que vidas e bens sejam perdidos.

É a partir da Conferência de Estocolmo que os países apontaram para a necessidade de utilizarem racionalmente seus recursos naturais. Em 1987, o

<sup>19</sup> The World Conservation Strategy - é o primeiro documento internacional sobre conservação de recursos vivos produzido com insumos de governos, organizações não governamentais e outros especialistas. O relatório argumenta que, para que o desenvolvimento seja sustentável, deve apoiar a conservação em vez de dificultá-la.

Relatório Brundtland<sup>20</sup> publicou um documento definindo e divulgando pela primeira vez um conceito para desenvolvimento sustentável afirmando ser o desenvolvimento que “atende as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades” (CMMAD<sup>21</sup>, 1988). Esse relatório levou à realização no Rio de Janeiro, em 1992, da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, conhecida como a Cúpula da Terra ou Rio-92, que adotou a Agenda 21, um diagrama para a proteção do nosso planeta e seu desenvolvimento sustentável que além de abordar as questões ambientais também foram incluídas questões sociais e econômicas, indissociáveis, como modelo a um desenvolvimento mais sustentável, sendo depois ratificado pelo Protocolo de Kyoto em 1997.

Uma Assembleia Geral das Nações Unidas (ONU) realizou uma seção especial chamada Cúpula de Terra+5 que recomendou a adoção de ações juridicamente vinculadas às reduções de gases de efeito estufa. Já em setembro de 2000 foi realizada a Cúpula do Milênio onde 189 nações firmaram um compromisso para combater os problemas sociais e a extrema pobreza. Esse compromisso levou aos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), oito alvos a serem alcançados até 2015. Em setembro de 2015, foi criada uma agenda mundial adotada pela ONU em substituição as ODM absorvendo ações contra a pobreza, a proteção do planeta e incluindo novos temas, como a mudança global do clima, desigualdade econômica, inovação, consumo sustentável, paz e justiça, entre outras prioridades. Essas medidas estenderam o compromisso para todos os setores da sociedade global: empresas públicas e privadas, ONGs, governos, lideranças políticas, ativistas e sociedade civil. Foram estabelecidos 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas para serem atingidos até 2030, ficando conhecido como Agenda 2030.

Os ODS's e metas estimularam ações para o desenvolvimento de forma sustentável e nesse contexto, o 7º objetivo propõe “assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos” (UNDP, 2015) tendo

---

<sup>20</sup> Gro Harlem Brundtland – Norueguesa que em 1987 foi presidenta da Comissão sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas.

<sup>21</sup> CMMAD (Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Para o CMMAD os objetivos que derivam do conceito de desenvolvimento sustentável estão relacionados com o processo de crescimento das cidades e objetiva a conservação do uso racional dos recursos naturais incorporados a atividades produtivas

como uma das metas aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global.

Essa discussão levou a comparação entre a capacidade de uma determinada área biologicamente produtiva gerar uma oferta contínua de recursos renováveis e absorver seus resíduos e as pressões a que são submetidas em decorrência do “aumento do consumo de energia e matéria prima pelas sociedades humanas”. (VEIGA, 2010).

Uma parte da energia solar que incide na Terra é responsável pelos ventos e correntes marítimas. A diferença de pressão atmosférica determinada pela variação de temperatura do ar que ocasionam os ventos, e a diferença de pressão nos oceanos que ocasionam as marés, são responsáveis pelo equilíbrio climático no planeta, necessário à agricultura. Segundo Gonçalves (2004) a partir da revolução industrial os níveis atmosféricos de CO<sub>2</sub> aumentaram 31,4% até o ano de 1999. Uma crescente concentração de gases estufa na atmosfera, altera o equilíbrio climático necessário à permanência da vida humana. Segundo a *Earth System Research Laboratories* (ESRL, 2020) as emissões de CO<sub>2</sub> no mundo aumentaram 22,1% em 39 anos a partir de 1980. (Figura 19).

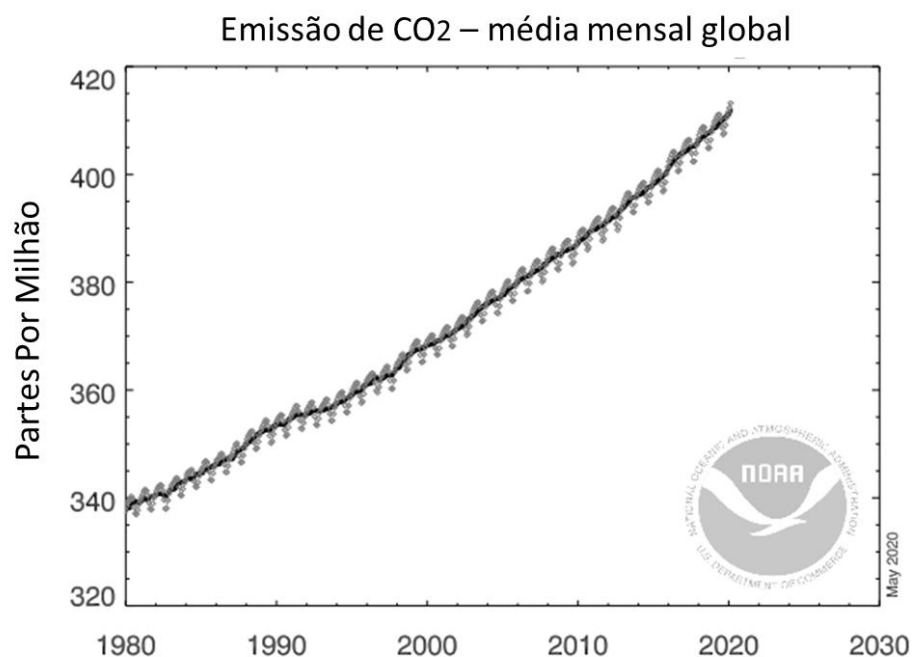


Figura 19: Evolução da Emissão de CO<sub>2</sub>.

Fonte: ESRL (Global Monitoring Laboratory - 2020)

Desde sempre a humanidade buscou garantir sua sobrevivência e atender suas necessidades tendo o espaço e o tempo transformado e modificado essas demandas. Durante a história, a ciência criou oportunidades apontando caminhos para mudanças sociais e ambientais. Desde a Revolução Industrial, a demanda energética do mundo sempre foi suprida pelo consumo de elementos fósseis encontrados na natureza. Esse consumo sempre crescente rumo ao esgotamento de nossos recursos naturais abrindo caminho para discussões sobre desenvolvimento, energia e economia.

Analisando as Tabelas 5, 6 e 7, considerando o consumo atual e as reservas disponíveis, há previsões de que o petróleo se esgote em 2070, as reservas de gás natural em 2071, e as reservas de carvão em 132 anos. O Brasil possui uma grande quantidade de carvão a ser explorada com reservas para mais de 500 anos de exploração, contudo o impacto ambiental gerado o descarta como fonte de energia primária predominante (BRITISH PETROLEUM, 2019).

Tabela 5: Reservas de Petróleo Comprovadas - 2018.

<b>PETRÓLEO</b>				
<b>Total de Reservas Comprovadas</b>	<b>2018</b>			
	Bilhoes Barris	Bilhões de Toneladas	Parte do total	R/P Anos
<b>América do Norte</b>	<b>236,7</b>	<b>35,4</b>	<b>13,7%</b>	<b>28,7</b>
<b>América do Sul e Central</b>	<b>325,1</b>	<b>51,1</b>	<b>18,8%</b>	<b>136,2</b>
<b>Europa</b>	<b>14,3</b>	<b>1,9</b>	<b>0,8%</b>	<b>11,1</b>
<b>Asia Ocidental</b>	<b>144,7</b>	<b>19,6</b>	<b>8,4%</b>	<b>27,4</b>
<b>Oriente Médio</b>	<b>836,1</b>	<b>113,2</b>	<b>48,3%</b>	<b>72,1</b>
<b>Africa</b>	<b>125,3</b>	<b>16,6</b>	<b>7,2%</b>	<b>41,9</b>
<b>Asia Oriental e Oceania</b>	<b>47,6</b>	<b>6,3</b>	<b>2,8%</b>	<b>17,1</b>
<b>Mundial</b>	<b>1729,7</b>	<b>244,1</b>	<b>100,0%</b>	<b>50,0</b>
Brasil	13,4	2,0	0,8%	13,7

Fonte: BRITISH PETROLEUM - BP Statistical Review of World Energy, 2019.

Tabela 6: Reservas de Gás Natural comprovadas - 2018

<b>GÁS NATURAL</b>			
<b>Total de Reservas Comprovadas</b>	<b>2018</b>		
	Trilhões de metros cúbicos	Parte do total	R/P Anos
<b>América do Norte</b>	<b>13,9</b>	<b>7,1%</b>	<b>13,2</b>
<b>América do Sul e Central</b>	<b>8,2</b>	<b>4,2%</b>	<b>46,3</b>
<b>Europa</b>	<b>3,9</b>	<b>2,0%</b>	<b>15,5</b>
<b>Asia Ocidental</b>	<b>62,8</b>	<b>31,9%</b>	<b>75,6</b>
<b>Oriente Médio</b>	<b>75,5</b>	<b>38,4%</b>	<b>109,9</b>
<b>Africa</b>	<b>14,4</b>	<b>7,3%</b>	<b>61,0</b>
<b>Asia Oriental e Oceania</b>	<b>18,1</b>	<b>9,2%</b>	<b>28,7</b>
<b>Mundo</b>	<b>196,9</b>	<b>100,0%</b>	<b>50,9</b>
Brasil	0,4	0,2%	15,1

Fonte: BRITISH PETROLEUM - BP Statistical Review of World Energy, 2019.

Tabela 7: Reservas de Carvão comprovadas - 2018

<b>CARVÃO</b>			
<b>Total de Reservas Comprovadas</b>	<b>2018</b>		
	Milhões de Toneladas	Parte do total	R/P Anos
<b>América do Norte</b>	<b>258012</b>	<b>24,5%</b>	<b>342</b>
<b>América do Sul e Central</b>	<b>14016</b>	<b>1,3%</b>	<b>158</b>
<b>Europa</b>	<b>134593</b>	<b>12,8%</b>	<b>215</b>
<b>Asia Ocidental</b>	<b>188853</b>	<b>17,9%</b>	<b>329</b>
<b>Oriente Médio e Africa</b>	<b>14420</b>	<b>1,4%</b>	<b>53</b>
<b>Asia Oriental</b>	<b>444888</b>	<b>42,2%</b>	<b>79</b>
<b>Mundo</b>	<b>1054782</b>	<b>100,0%</b>	<b>132</b>
Brasil	6596	0,6%	>500

Fonte: BRITISH PETROLEUM - BP Statistical Review of World Energy, 2019.

No Brasil, como visto, 64,4% da geração de energia elétrica é proveniente de fonte hídrica. Com a constante alteração do clima percebe-se, na Figura 20, uma forte variação da capacidade de armazenamento elétrico dessas fontes. Percebe-se um agravamento dos períodos de seca que são naturalmente cíclicos como relata Patrícia Diehl Madeira (2014), meteorologista e diretora do Clima Tempo<sup>22</sup>, este é um fenômeno que ocorre ciclicamente e que tem a duração de cerca de 5 anos.

Em 2001, ano do racionamento de energia elétrica, atravessamos uma falta de chuva que levou os reservatórios hidroelétricos do Sudeste e Centro-Oeste,

<sup>22</sup> Clima Tempo – Fundada em 1988, a empresa traz, peça internet, informações meteorológicas 24 horas por dia auxiliando na tomada de decisão em vários segmentos da economia.

responsáveis por cerca de 70% de toda geração elétrica por fonte hídrica, conforme pode ser observado na Tabela 8, ao nível mais baixo do potencial de armazenamento elétrico, e que levou o Governo Federal a incentivar a construção de usinas térmicas, mais caras e mais poluidoras para geração de eletricidade. Construídas para serem usadas apenas para regulação da capacidade de geração de energia nas épocas de seca, essas novas termoelétricas ficaram ligadas com poucas interrupções desde setembro de 2002. Pode-se observar que o próximo período de seca tem início em 2011 se recuperando em 2016 como havia afirmado Patrícia Madeira. Contudo, comparando os anos de recuperação, após o período de seca, do nível de armazenamento elétrico em 2002 e 2016, percebe-se que em 2016 o nível máximo atingido ficou 11% abaixo do nível atingido em 2002. Outra informação importante a destacar foi que os níveis não acompanharam o crescimento da capacidade de armazenamento elétrico como acontecera de 2003 a 2011.

Tabela 8: Capacidade Máxima de Armazenamento elétrico das Hidrelétricas no Brasil

SUBSISTEMA	Mwmês	%
SUDESTE / CENTRO-OESTE	203.567,08	70%
SUL	19.897,05	7%
NORDESTE	51.602,07	18%
NORTE	15.164,89	5%
TOTAL	290.231,08	100%

Fonte: MME (2020)

Em entrevista ao portal de notícias G1 (2014), o diretor geral do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), Hermes Chipp, afirmou que o País precisaria chegar ao fim de abril, término do período de chuvas, com nível médio de 43% de sua capacidade de armazenamento de potencial elétrico na região Sudeste e Centro Oeste. Operando perto desse limite mínimo desde 2014, em 2015 com 38,77% da capacidade máxima, foi autorizado o uso do volume morto<sup>23</sup> para abastecimento de água. Neste mesmo ano, o Brasil atravessou uma recessão técnica econômica, iniciada no ano anterior, o que levou a uma redução de demanda energética

<sup>23</sup> Volume Morto - corresponde à parcela do volume total do reservatório inativa ou indisponível para fins de captação de água. Corresponde ao volume do reservatório compreendido abaixo do nível de água mínimo operacional.



aliviando a necessidade do crescimento dos níveis dos reservatórios. Se o país mantivesse a atividade econômica, possivelmente, seria necessário outro racionamento de energia como aconteceu em 2001. Isso poderia comprometer ainda mais o desempenho do PIB. Em abril de 2021 os níveis dessas regiões atingiram 34,68%. O próximo período de seca está previsto para iniciar em 2025.

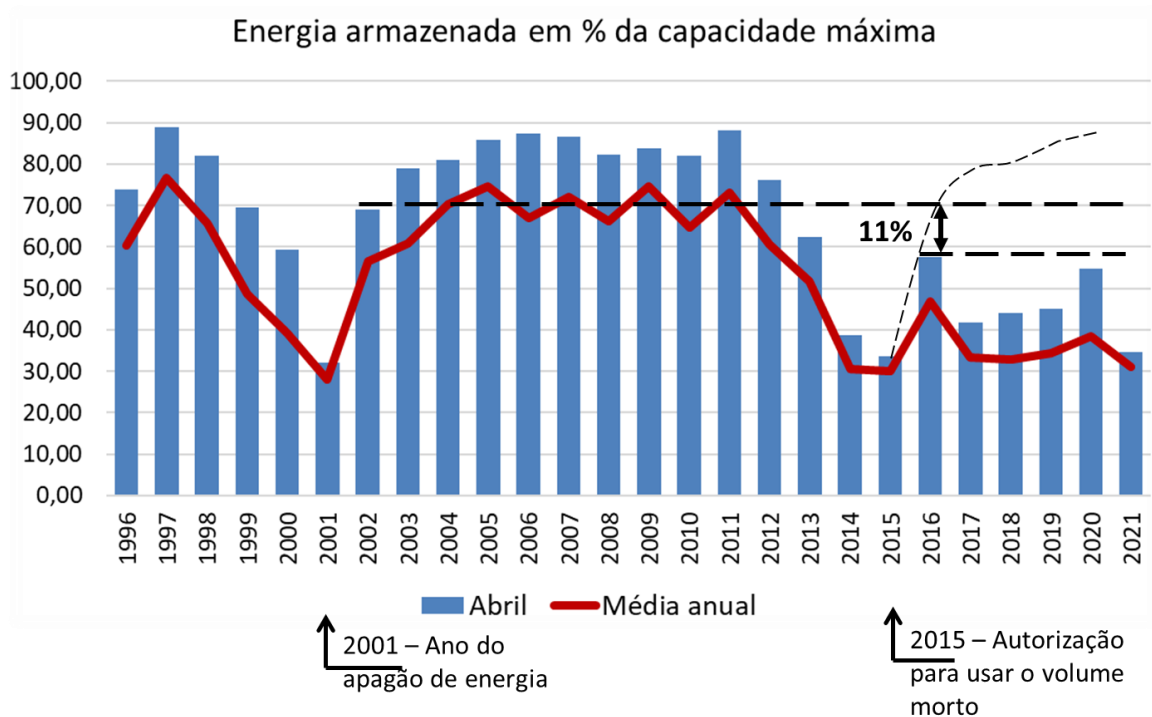


Figura 20: Energia armazenada em % da capacidade máxima das hidrelétricas (Subsistema SE/CO)  
 Fonte: Adaptado pelo autor – 2021 (ONS – Histórico de operação – EAR%)

Através do desenvolvimento econômico e tecnológico, o homem moderno, regido pelo propósito de conquistar a natureza promoveu mudanças através da evolução das fontes de energia e de sua crescente necessidade.

A cultura determina um enorme número de comportamentos e relações e é base para a realização das ações que o homem pratica perante os problemas encontrados.

Os sistemas de governo inventados até o momento, ainda não resolveram as desigualdades sociais enfrentadas pela humanidade, desta forma, Dupas (2007) analisa a quem o progresso serve, quais são os riscos e custos de natureza social e ambiental que ele acarreta. Torna-se, portanto imprescindível a desconstrução de

alguns mitos para que novas verdades surjam e para que, de acordo com as necessidades atuais, novos comportamentos e diferentes escolhas possam ser implementadas criando campo para que sustentabilidade, desenvolvimento social e progresso não sejam mais divergentes entre si.

Na medida que as relações sociais foram se tornando mais complexas e contraditórias, foi se agravando a problemática que envolve a dinâmica e o crescente processo de ocupação territorial. O planejamento urbano e a legislação urbanística não têm conseguido resolver os efeitos negativos da ação do homem no ambiente urbano.

O processo de conurbação<sup>24</sup> que balizou o crescimento das cidades, criou uma distribuição urbana desigual em termos de renda e moradia. Dissociada da oferta de serviços públicos e infraestrutura urbana, não foi seguida na mesma velocidade pela expansão de serviços e infraestrutura necessária. Com a ocupação desordenada do espaço urbano problemas surgem como a impermeabilização do solo, a retificação de cursos hídricos, alagamentos, deslizamentos, poluição hídrica e atmosférica, aumento dos gastos energéticos, a favelização, violência, disposição adequada de resíduos sólidos, entre outros.

Segundo Lacerda *et.al.* (2000) essa forma de expansão e transformação do uso do solo urbano contribuiu para a consolidação de irracionalidades, transformando fundos de vale em avenidas, áreas protegidas em loteamentos, ocupando várzeas, desconsiderando o território e perpetuando as enchentes. Parte da parcela da população de baixa renda vai se localizar exatamente nos lugares onde a propriedade privada da terra não vigora, ocupando áreas públicas, muitas delas localizadas em áreas de proteção de mananciais e parte ocupa áreas de mata original, de florestas, ou as áreas de morros dos centros urbanos.

---

<sup>24</sup> Conurbação - fenômeno urbano que acontece a partir da união de duas ou mais cidades/municípios, constituindo uma única malha urbana, como se fosse somente uma única cidade. A partir dessa unificação, as cidades envolvidas começam a utilizar de maneira conjunta os mesmos serviços de infraestrutura, formando uma malha urbana contínua.

Desta forma uma proposta para um desenvolvimento mais sustentável torna-se imperativo no planejamento urbano capaz de balizar ações públicas que mitiguem os problemas surgidos nas cidades que possam finalmente suprir as demandas da sociedade sem comprometer as necessidades das gerações futuras.

Neste sentido Sachs (1993) afirma que o desenvolvimento sustentável possui três noções fundamentais que devem ocorrer simultaneamente, os três pilares da sustentabilidade, são eles:

- Equidade social
- Prudência ecológica
- Eficiência econômica

E no contexto da qualidade de vida, Santos e Martins (2002) analisam três macro dimensões que englobam diversos aspectos que se interligam:

- Materiais (necessidades básicas, como habitação, saneamento e saúde) e imaterial (ligados a segurança, a participação popular e ao patrimônio cultural);
- Individuais (condições econômicas e familiares do indivíduo, relações pessoais) e coletivos (serviços básicos e serviços públicos);
- Objetivos (apreendidos através da definição de indicadores de natureza quantitativa) e subjetivos (percepção subjetiva e variável de cada indivíduo).

Desta forma os indicadores sociais surgem no contexto urbano como instrumento de quantificação da qualidade de vida cujos resultados importam conhecer e avaliar. Destas análises Cicerchia (1996, *apud* SANTOS E MARTINS, 2002; p 8) identifica uma clara vocação prática menos sociológica e mais orientada para o planejamento. Para Van Bellen (2002) o objetivo dessa quantificação é auxiliar na tomada de decisão em relação aos objetivos estabelecidos fornecendo bases para o planejamento de ações de desenvolvimento.

“Deste modo, é de grande importância à busca de alternativas sustentáveis e que enquadrem qualidade de vida para a dinâmica urbana, consolidando uma referência para o processo de planejamento urbano” (BARBOSA, 2008).

“O padrão de produção e consumo que caracteriza o atual estilo de desenvolvimento tende a consolidar-se no espaço das cidades e estas se tornam cada vez mais o foco principal na definição de estratégias e políticas de desenvolvimento” (FERREIRA, 1998 *apud* BARBOSA, 2008).

Braga *et al.* (2015) em seu artigo intitulado “Índice de Sustentabilidade Urbana”, propôs apresentar uma metodologia para a construção de um índice de sustentabilidade local inspirado, em especial, em duas fontes, numa pesquisa realizada pela UFMG e o *Environmental Sustainability Index*<sup>25</sup> (ESI) desenvolvido pelas universidades de Columbia e Yale.

“O índice de sustentabilidade urbana é composto por quatro índices temáticos: i) qualidade do sistema ambiental local, ii) qualidade de vida, iii) redução do impacto, ou pressão, exercido pelas atividades antrópicas sobre as bases de reprodução no espaço intraurbano e no entorno, iv) capacidade política e institucional de intervenção ambiental local” (BRAGA *et al.*, 2015).

Baseados nestes princípios, os autores apresentaram uma avaliação dos indicadores de sustentabilidade urbana baseados nos critérios de relevância, aderência local e adequação dos dados, inspirada na metodologia utilizada em ESI. Alertam, entretanto, que a padronização de variáveis adotadas na construção do índice implica que os resultados obtidos são comparáveis apenas entre os municípios que participaram da avaliação. Não é possível extrair comparações para outros municípios ou regiões pois a adoção de indicadores de sustentabilidade urbana não é padronizada. Os indicadores utilizados foram:

- Indicador de qualidade da água
- Indicador de qualidade da habitação
- Indicador de conforto ambiental
- Indicador de condições de vida
- Indicador de renda
- Indicador de redução da pressão urbana
- Indicador de redução da pressão industrial
- Indicador de redução da pressão da agropecuária e silvicultura

---

<sup>25</sup> Environmental Sustainability Index (ESI) - O ESI, desenvolvido pelas universidades de Yale e Columbia com o apoio do World Economic Forum, é uma destacada exceção, pois incorpora indicadores que traduzem a capacidade política/institucional de resposta a mudanças na condição de sustentabilidade no médio/longo prazo.

Os itens “qualidade da habitação” e “conforto ambiental” abordam a relevância da infraestrutura necessária para uma vida saudável no espaço urbano.

O mercado imobiliário através do Sindicato da Habitação de São Paulo (Secovi-SP), que representa as empresas do mercado imobiliário e os condomínios do estado de São Paulo, se rende ao tema sustentabilidade urbana e se uniu à Fundação Dom Cabral<sup>26</sup> (FDC) para estudar como promover a sustentabilidade no desenvolvimento imobiliário urbano. Eles buscaram construir conceitos, temas, indicadores e recomendações aos setores público e privado para a promoção de cidades mais sustentáveis.

Para o Secovi-SP “sustentabilidade não é fato isolado. Não adianta haver empreendimentos concebidos, produzidos e administrados de maneira sustentável se as cidades não forem igualmente sustentáveis” (SECOVI-SP; FDC, 2010). O Secovi-SP e FDC produziram um documento intitulado “Indicadores de Sustentabilidade no Desenvolvimento Imobiliário Urbano”, produto de uma ampla pesquisa de identificação de referências nacionais e internacionais com sistemas organizados para avaliação da sustentabilidade de cidades. Baseados nos três pilares da sustentabilidade, levantaram nove grandes temas que permitiram chegar a um conjunto de 174 indicadores.

#### Grandes Temas:

- Construção e Infraestrutura Sustentáveis;
- Governança;
- Mobilidade;
- Moradia;
- Oportunidades;
- Planejamento e Ordenamento Territorial;
- Questões Ambientais;
- Segurança;
- Serviços e equipamentos,

---

<sup>26</sup> Fundação Dom Cabral - Escola brasileira de formação acadêmica que visa a conexão entre teoria e prática de negócios com padrão e atuação internacionais de desenvolvimento e capacitação. Com experiência empresarial e a sustentabilidade como tema transversal em todos os projetos, há mais de 40 anos desenvolve executivos, gestores públicos, empresários e organizações de diversos segmentos em vários países.

O documento está organizado em temas, subtemas e indicadores. O primeiro tema; Construção e Infraestrutura Sustentáveis, aborda os Indicadores de parâmetros de sustentabilidade nas construções edificadas e nas infraestruturas urbanas, onde a promoção da cadeia da construção sustentável passa pela eficiência energética. Dois indicadores são apontados neste subtema: 1 - O consumo energético da habitação; e 2 - Percentual de edificações utilizando-se de energia renovável em relação ao total.

Para o Secovi-SP os indicadores, na sua maioria, podem ser adotados em territórios urbanos existentes como cidades, bairros e empreendimentos urbanos, ou novos como expansões territoriais, novos bairros ou novos empreendimentos urbanos.

Pode-se observar que tanto para a academia, referenciado por Braga *et al.* (2015) quanto para o mercado imobiliário, a necessidade de aferir o nível de sustentabilidade onde o espaço urbano se encontra ganha importância. Percebe-se também que o mercado estabelece 174 indicadores mais objetivos enquanto que a academia estabelece indicadores mais subjetivos. Contudo, para ambos, está presente a necessidade de identificar as condições necessárias que a infraestrutura deve assumir para garantir uma maior qualidade de vida nas cidades, que passa invariavelmente pela necessidade de uma geração de energia capaz de suprir as demandas energéticas do espaço urbano mais sustentáveis.

### **3. ENERGIAS RENOVÁVEIS**

Energia pode ser entendida como a capacidade de produzir uma ação entre diferentes matérias, sistemas físicos, ou ainda, uma ação que permite a atualização de uma potencialidade. Essa ação é realizada pela transferência de energia que os sistemas físicos fazem entre si e é produzida de diversas formas. Independente das formas ou sistemas físicos envolvidos na transferência de energia, duas importantes leis da física estarão presentes nessa ação: a Lei da Conservação de Energia e a Lei da Dissipação de Energia. Pela Lei da Conservação de energia pode-se afirmar que em um sistema isolado, a quantidade total de energia permanece constante, ou seja, os objetos trocam energia entre si sem que nenhuma energia seja criada ou

destruída. Pela Lei da Dissipação de Energia, entende-se que num sistema físico não isolado, este sofre ação do meio externo ao sistema, parte da energia transformada não é aproveitada para a realização do trabalho a que se propõe. Entende-se, portanto, que parte da energia transferida para o meio é perdida pelo sistema.

Um sistema físico equilibrado pode ser entendido como um sistema que opera de forma otimizada, ou seja, atende à demanda baseada na transformação de energia com consumo reduzido e perdas mínimas, traduzido nesta forma como eficiência energética. Para a infraestrutura urbana, e em particular para o fornecimento de energia elétrica para uma cidade, eficiência energética pode ser entendida como um sistema que atenda a demanda do espaço urbano com a utilização racional e inteligente dos insumos energéticos, desde a geração de energia, passando pela transmissão e distribuição, até seu consumo final. Isso implicando na redução do consumo e das perdas, aumentando desta forma a oferta de energia.

Desta forma, a eficiência energética pode contribuir com as metas para um desenvolvimento sustentável. Como consequência, cresce a necessidade da utilização e diversificação de fontes de energias renováveis. Para Kuennen (*apud* Menkes, 2004) “a eficiência energética não pode ser encarada de forma reducionista, mas sim como um meio de atingir objetivos mais amplos, como o desenvolvimento sustentável e a equidade social.”

### **3.1. FONTES SUSTENTÁVEIS DE ENERGIA**

Energia renovável é aquela obtida a partir de fontes naturais e capazes de serem naturalmente abastecidas, ou seja, naturalmente renovadas. Podem ser utilizadas na sua forma direta como aquelas produzidas pelas fontes hídrica, eólica, solar, oceânica, geotérmica, e biomassa que embora seja considerada uma fonte renovável, para ser utilizada precisa de prévia transformação. Em contraponto, energias não renováveis são produzidas e abastecidas a partir de uma fonte natural, porém sua capacidade de renovação é exígua, resulta de um processo de milhões de anos sob condições específicas, como é o caso do petróleo, do gás natural, do carvão mineral, provindas de fontes fósseis, e da energia nuclear.

Nem toda fonte de energia renovável, é sustentável. Para uma fonte renovável ser sustentável, é necessário ser ambientalmente responsável, socialmente igualitária e economicamente viável. Assim, além de preservar os recursos naturais, as energias sustentáveis precisam garantir um consumo mínimo de energia à população, promovendo o acesso a bens e serviços e reduzindo desigualdades, gerando emprego, sendo economicamente viável e fomentando a economia.

As fontes renováveis apresentam diferentes níveis de sustentabilidade. A fonte hídrica, responsável por 64,4% de toda geração de eletricidade no país, não pode ser considerada uma fonte de energia sustentável. Para gerar energia elétrica, as usinas hidrelétricas precisam retificar os cursos dos rios, aumentando a erosão e a vazão, inundar grandes áreas, desequilibrando o ecossistema e desalojando populações ribeirinhas, além de contribuir com a emissão de CO<sub>2</sub> devido ao apodrecimento das florestas alagadas, estando sujeita as épocas de seca recorrentes e cada vez mais intensas, conforme mostrado na Figura 20.

Existe também o conceito de energia limpa, que diz respeito àquela que não libera gases do efeito estufa. A energia solar e a energia eólica são os exemplos mais comuns. Não significa que estes tipos de energia não causem impactos ambientais, mas podem ser bem menores e mitigados mais facilmente.

Cada uma das fontes energéticas possui suas externalidades; se o inverno for prolongado, se houver pouco sol, pouco vento, se o volume de biomassa for reduzido por problemas de cultivo, entre outras, o fornecimento de energia pode ser comprometido. Além destas, externalidades políticas também existem e criam barreiras políticas e econômicas ao desenvolvimento de outras fontes de energias que não sejam o petróleo e as hidrelétricas.

O cenário geopolítico está mudando. Em muitas partes do mundo as porcentagens de energias renováveis na matriz mundial estão aumentando de maneira significativa. Muitos países têm assumido suas metas de redução de



emissão de gases de efeito estufa. De acordo com a REN21<sup>27</sup> (2019), 135 países já possuíam políticas regulatórias para energias renováveis em 2018, representando um aumento de 237,5% em 14 anos, conforme mostrado na Figura 21.

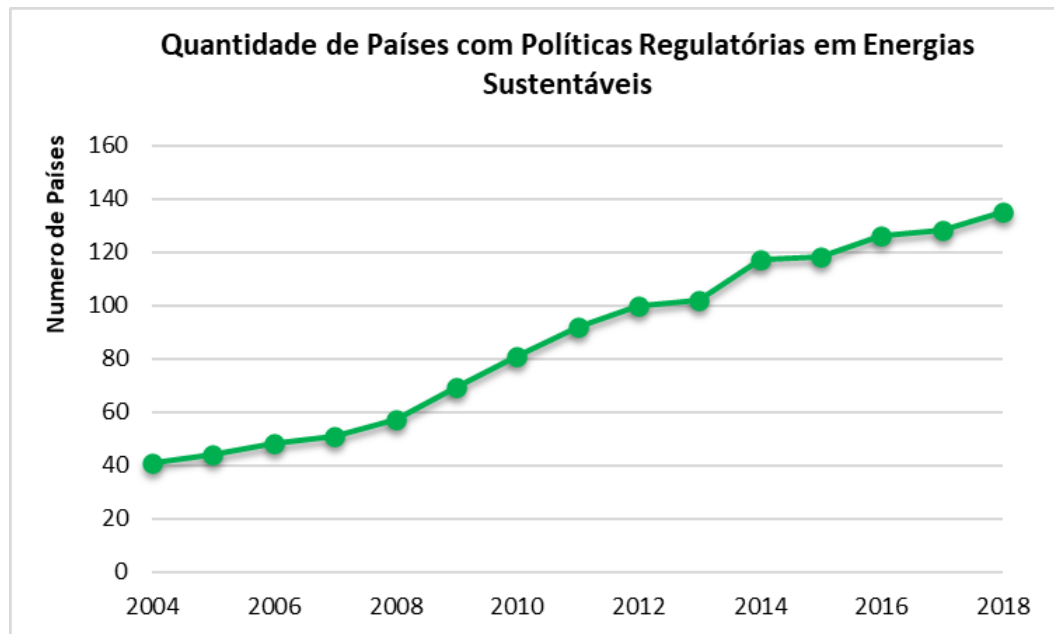


Figura 21: Quantidade de países com políticas regulatórias em energia sustentáveis.

Fonte: REN21 (2019)

Ainda de acordo com a REN21 (2019), a Figura 22, mostra que a capacidade global de geração de energia elétrica renovável em 2018 foi de 2.264 Gigawatts de potência, tendo um acréscimo de 126,4% em 11 anos. As fontes de energia que mais tiveram acréscimo foram a solar e a eólica.

A Alemanha, até 2014, aparecia com a maior capacidade de geração de energia solar fotovoltaica no mundo, até ser superada por a China, os Estados Unidos e Japão, como mostra a Figura 23. O mundo passou a gerar 505 Gigawatts de energia solar fotovoltaica em 2018, representando um acréscimo de 3.267% em 10 anos. China, Estados Unidos, Japão, Alemanha e Índia, que representaram quase 73% de toda energia fotovoltaica gerada no mundo em 2018, foram os maiores geradores nesse ano.

<sup>27</sup> REN21 – É uma comunidade global agregando diversos atores de diversas áreas da ciência, de governos, ONGs e indústria, para promover a adoção da energia renovável fornecendo fatos, números e análises atualizados e revisados por pares sobre o desenvolvimento global em tecnologia, política e mercado.

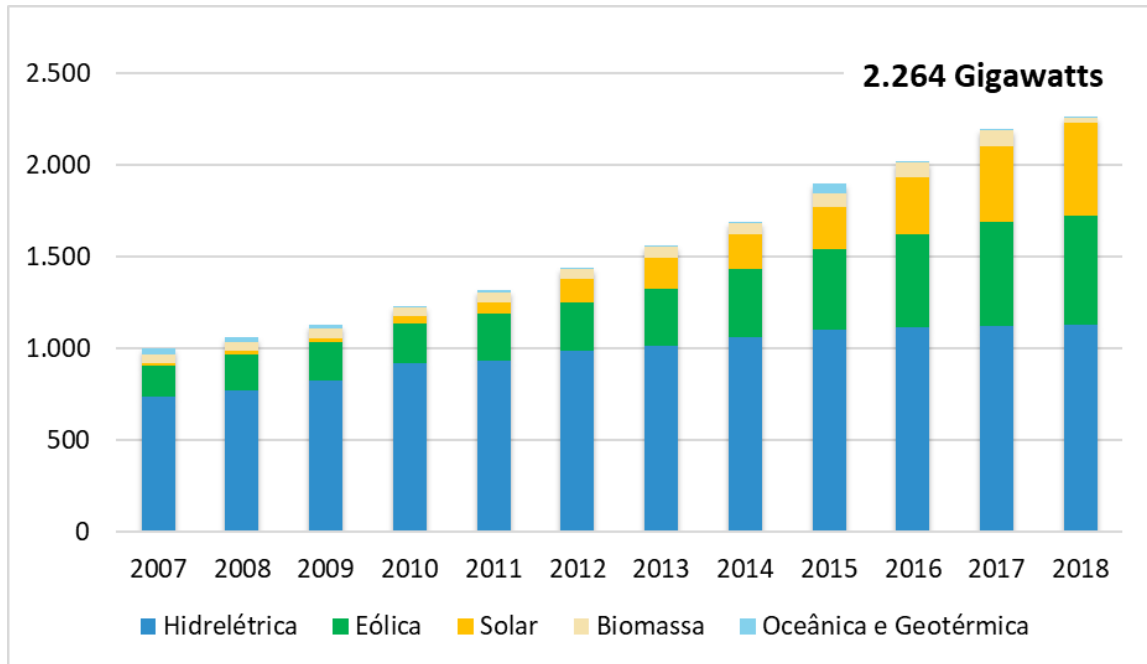


Figura 22: Capacidade global de energia renovável.

Fonte: REN21 2019

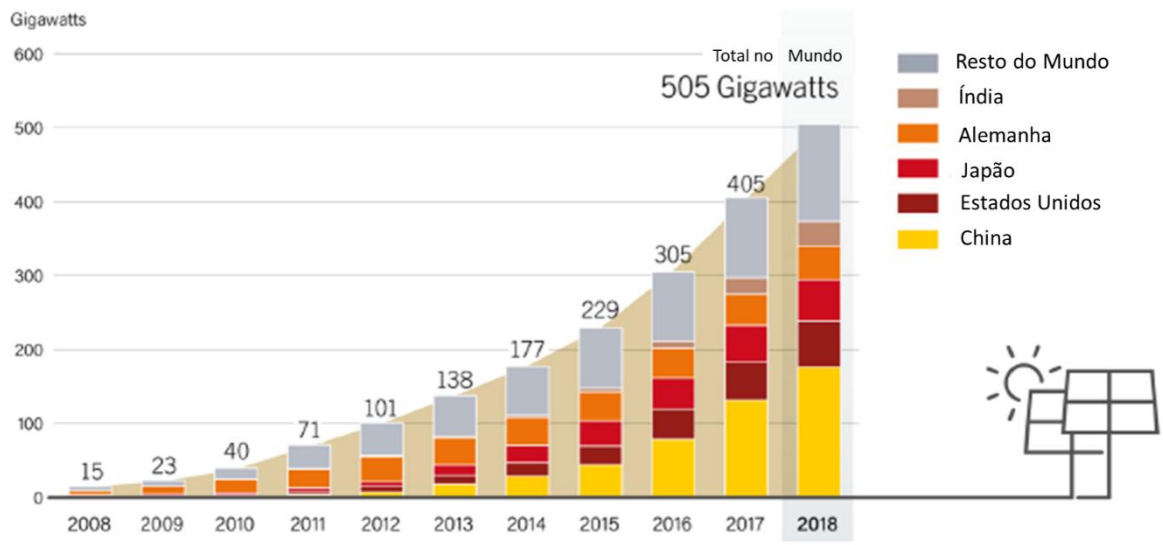


Figura 23: Capacidade Global de Energia solar Fotovoltaica (GW).

Fonte: REN21 2019

O Brasil atingiu 2,412 MW, participando com 0,48% da capacidade total no mundo em 2018, de acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR). Contudo, observando a Figura 24, a potência instalada em energia fotovoltaica no país cresceu 285% em dois anos a partir de 2017, atingindo 4;471 MW em 2019, mas muito aquém da potência instalada em outros países como

a China e Alemanha, sendo este último, com irradiação solar muito menor que a brasileira.

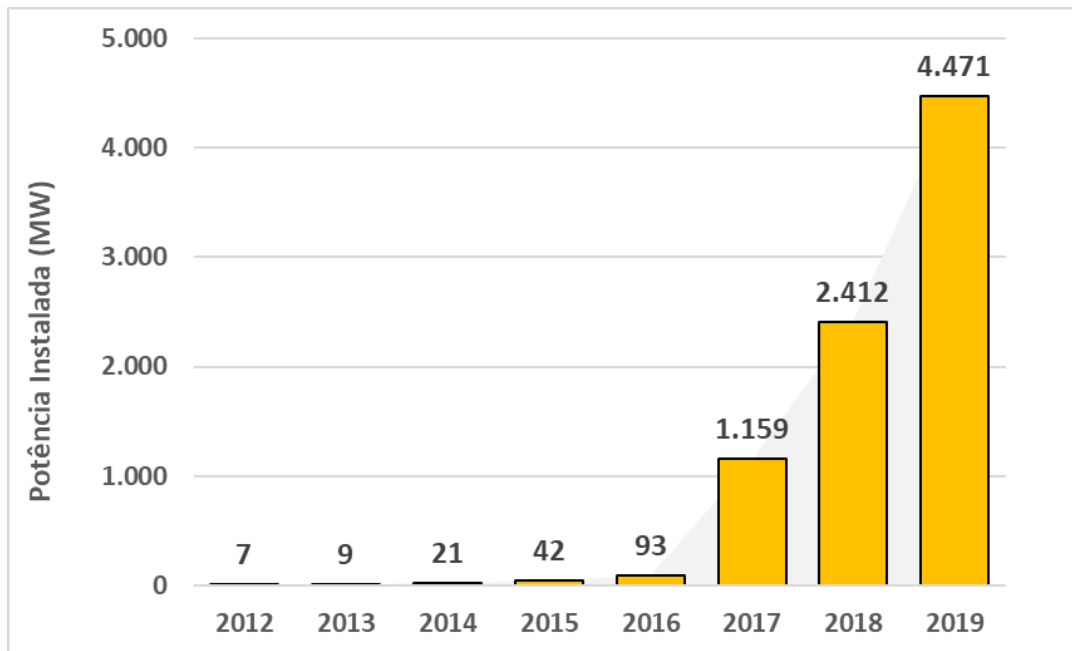


Figura 24: Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil.

Fonte: Absolar (2020)

Para os sistemas fotovoltaicos são considerados os dados de irradiação solar sobre a superfície terrestre, numa proporção direta entre irradiação e geração fotovoltaica. A Figura 25 mostra uma comparação dos mapas de irradiação solar incidente no plano horizontal do território brasileiro produzidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2017) e pelo Solargis (2019)<sup>28</sup>. Ambos os mapas apresentam uma variação média anual da irradiação solar que vai de 3,5 kWh/m<sup>2</sup>.dia localizado no litoral de Santa Catarina e do Paraná até 6,2kWh/m<sup>2</sup>.dia localizada no interior da Bahia e parte dos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, regiões com a maior irradiação solar no país.

<sup>28</sup> Solargis – Empresa que desenvolve e opera plataforma para acesso rápido a dados históricos, recentes e de previsão para quase qualquer local na Terra. Disponibilizam aplicações de software fotovoltaico e soluções baseadas na Web para otimizar a construção, avaliação e gerenciamento de ativos de energia solar.

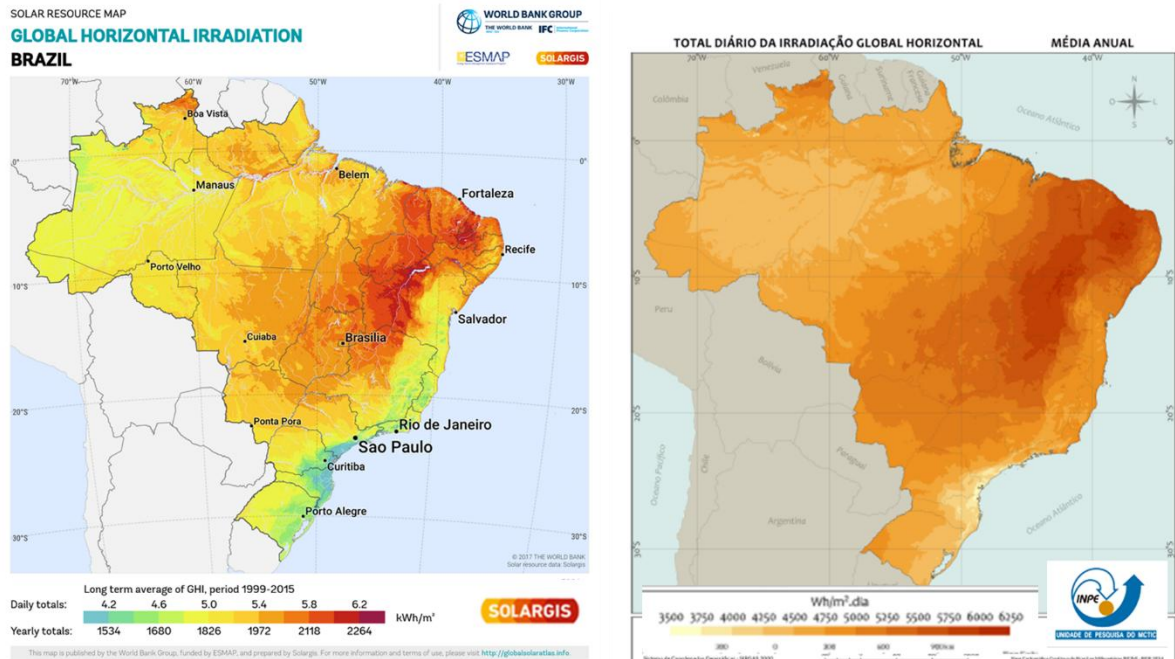


Figura 25: Comparação dos mapas de irradiação solar no plano horizontal.

Fonte Solargis (2019) e INPE (2017)

Através dos mapas gerados pelo Solargis (2019) do potencial fotovoltaico mostrados na Figura 26, podemos estabelecer uma comparação entre o Brasil, a China e a Alemanha.

Nem sempre esta comparação é visualmente fácil devido à grande diferença entre as escalas e cores utilizadas entre diferentes instituições, e mesmo dentro da plataforma gerada pelo Solargis, para representar os níveis de irradiação nos vários mapas existentes entre países ou regiões de diferentes continentes como mostrado na Figura 26. Contudo, pode-se observa-se que o potencial fotovoltaico do Brasil e da China estão acima 4,4 kWh/kWp<sup>29</sup> em aproximadamente 50% do território nacional e chinês. Entretanto, a China atinge 6,2 kWh/kWp na região sudoeste do país enquanto que o Brasil atinge um máximo de 4,8 kWh/kWp. A Alemanha, quarto colocado no potencial fotovoltaico instalado, possui apenas 85% do potencial fotovoltaico mínimo do Brasil que é de 3,8 kWh/m<sup>2</sup>.dia.

<sup>29</sup> kWp – Watt pico é uma unidade utilizada para definir a potência nominal de uma célula fotovoltaica. Esta potência está disponível quando a célula é exposta a uma condição padrão de irradiação solar de 1.000 W/m<sup>2</sup> a uma temperatura de 25°C.

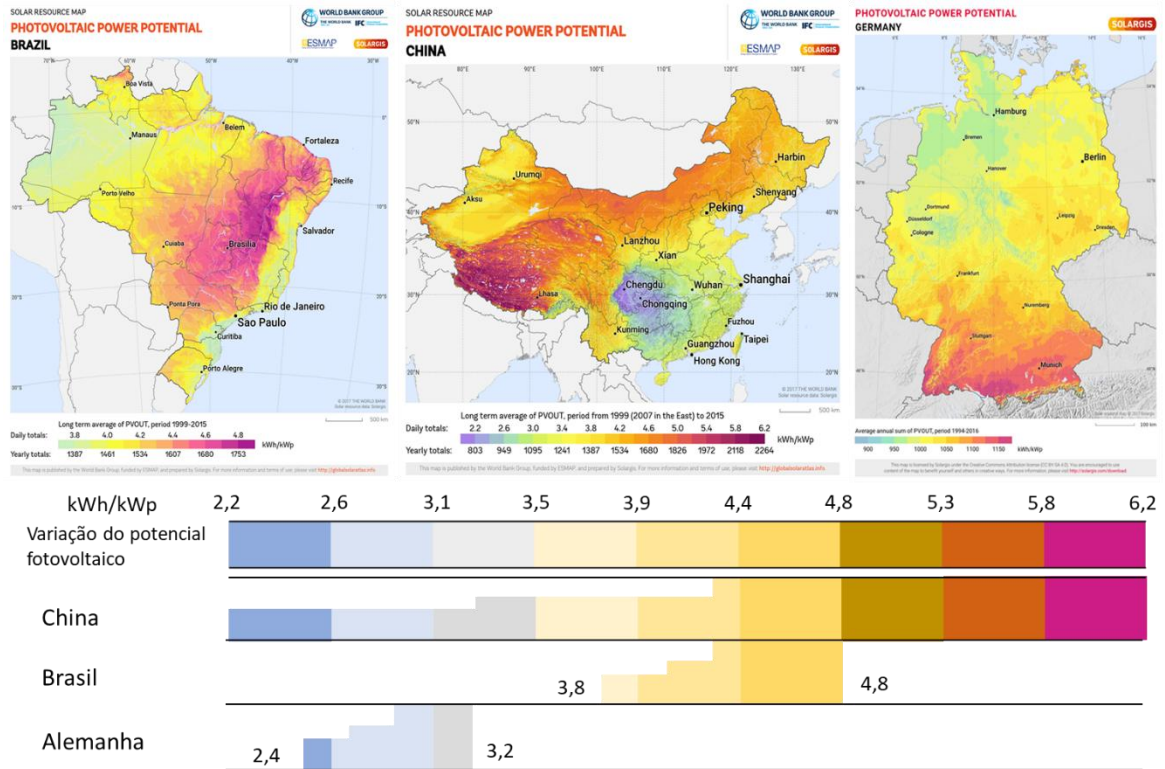


Figura 26: Comparação dos mapas de potencial fotovoltaico de Brasil, China e Alemanha.

Fonte: Solargis (2019)

O Estado do Rio de Janeiro possui uma irradiação solar direta média anual máxima de 3,0 kWh/m<sup>2</sup>.dia em Campus dos Goytacazes no norte do estado e uma mínima de 2,0 kWh/m<sup>2</sup>.dia na região serrana conforme mostrado na Figura 27. De acordo com a ANEEL (2019) o Estado atingiu 83,75 MW de capacidade instalada, a 8ª maior do país em 2019, representando um aumento de 278% em relação à 2018.

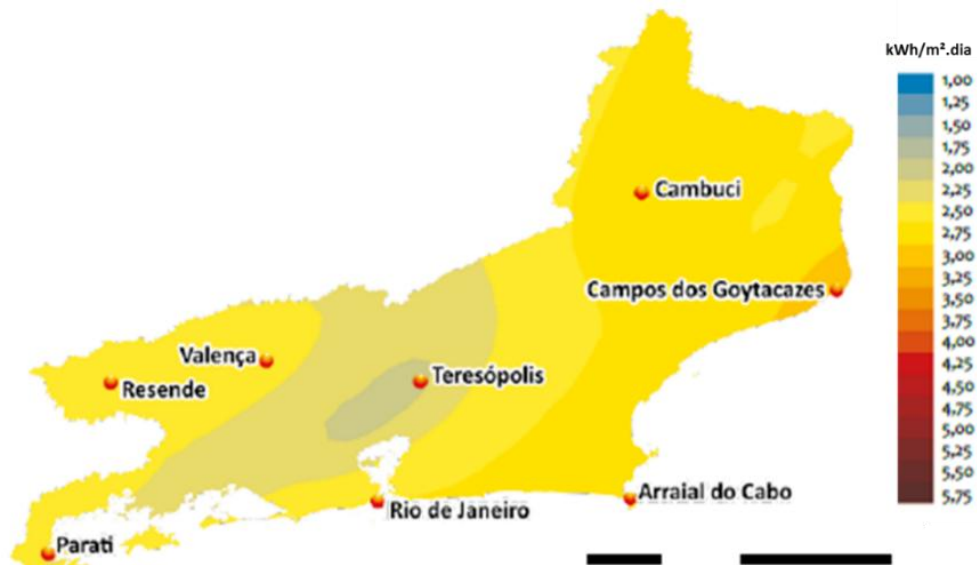


Figura 27: Mapa solarimétrico do Estado do Rio de Janeiro – Irradiação solar direta média anual  
 Fonte: Atlas Solarimetrico do Estado do Rio de Janeiro (2016)

Apesar de ter bons indicadores de irradiação e potencial fotovoltaico, o Rio de Janeiro, assim como outros estados, estão longe da potência instalada nos maiores geradores desse tipo de energia. A Tabela 9 mostra que a China já ultrapassou a marca de 170 GW em capacidade instalada, 73 vezes maior que a geração total brasileira para potencial fotovoltaico médio semelhante. Embora o Estado do Rio de Janeiro tenha quase a metade do potencial fotovoltaico médio da China e do Brasil, possui potência instalada irrisória em comparação com a China e apenas 3,48% da potência instalada brasileira.

Tabela 9: Valores de produtividade média diária anual e potência instalada de países selecionados e o Estado do Rio de Janeiro.

Localidade	Potencial FV (kWh/kWp)		Média entre os Valores Mín e Máx	Comparação entre as médias do RJ com os países	Potencia Instalada (GW) 2018	Comparação da Potência Instalada em relação ao RJ
	Média Diária Anual	Mínimo Máximo				
1° China	2,2	6,2	4,2	52,3%	176,100	0,048%
4° Alemanha	2,4	3,2	2,8	78,6%	45,000	0,186%
Brasil	3,8	4,8	4,3	51,1%	2,412	3,48%
Rio de Janeiro	1,68	2,73	2,2		0,084	

Fonte Autor (SolarGis e REN21, 2018)

Em relação a Alemanha, que possui um potencial fotovoltaico médio semelhantes, o Estado do Rio de Janeiro apresenta uma potência fotovoltaica

instalada de apenas 0,186% daquele país. Assim, fica evidente a enorme possibilidade de crescimento do setor fotovoltaico no país e no Estado do Rio de Janeiro.

### 3.2. ENERGIA SOLAR E TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Inesgotável na escala terrestre de tempo, a energia vinda do Sol supera muito a demanda diária de todo o ecossistema terrestre durante todo o ano.

De acordo com Da Silva (2006), o efeito fotovoltaico, pode ser definido como o aparecimento de uma diferença de potencial elétrico entre dois eletrodos ligados a um sólido ou líquido, quando este é iluminado. Semicondutores que convertem a energia solar diretamente em eletricidade são chamados de dispositivos fotovoltaicos ou células solares.

O silício é encontrado em abundância em areias, rochas e solos, contudo nunca é encontrado naturalmente de forma isolada. Quando combinado com outros elementos, forma silicatos como o quartzo que é utilizado como fonte de silício para produção das placas fotovoltaicas.

Para ser utilizado nas placas solares, o silício é refinado até uma alta pureza e fundido. Da massa fundida é retirado um grande cristal cilíndrico mostrado na Figura 28 que geralmente tem de 10 a 15 cm de diâmetro e 1 m ou mais de comprimento, pesando dezenas de quilos. O cristal é então fatiado em "pastilhas" circulares com espessura de menos de 0,5 mm (GOETZBERGER *et al.* 2003 *apud* DA SILVA, 2006).

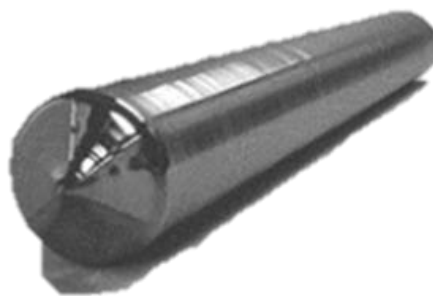


Figura 28: Cristal cilíndrico monocristalino.

Fonte: Google (2020)

Existem duas tecnologias principais para a produção comercial de placas fotovoltaicas: as células baseadas em “pastilhas” de silício, que podem ser monocristalinas ou policristalinas, e células de filme fino (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME 2002 *apud* DA SILVA, 2006). Na Figura 29 pode-se observar as células solares monocristalinas, policristalinas e de filme fino.

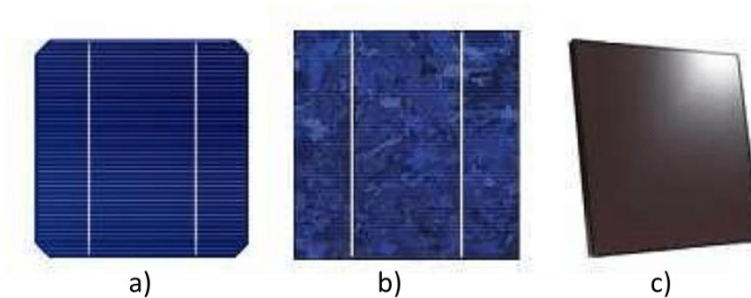


Figura 29: Células solares a) monocristalinas, b) policristalinas, c) filme fino.

Fonte: Google (2020)

Células Solares Monocristalinas são produzidas a partir de “pastilhas” de um cristal de Silício de alta qualidade. Normalmente, são as mais eficientes, comparando-se as duas tecnologias (monocristalinas e policristalinas), permitindo a fabricação de módulos fotovoltaicos em escala comercial com eficiências de 12% a 15% de conversão de energia solar em eletricidade. As Células Solares Policristalinas são cortadas de um bloco de silício de menor qualidade e menos eficientes, mas de produção mais barata, quando comparadas com as células solares monocristalinas. Isso permite a fabricação de módulos fotovoltaicos em escala comercial com eficiências de 10% a 12%.

Placas fotovoltaicas de Células Solares de Filme Fino, são produzidas a partir de três tecnologias diferentes, células de silício amorfo (a-Si), telureto de cádmio (CdTe) e disseleneto de cobre índio-gálio (CIGS) e fabricadas por um processo diferente. As células solares de filme fino são um material semiconductor que pode ser depositado na forma de um filme fino flexível numa base como vidro, plástico, metal ou cerâmicas. A vantagem das placas solares de filme fino, é que podem assumir diferentes formas e características, se moldando a elementos construtivos curvos ou planos como telhas ou janelas. Geralmente, “têm menos da metade da eficiência das melhores células de silício cristalino, mas sua produção é



muito mais barata e funciona com uma gama de luminosidade mais ampla”. (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2002 *apud* DA SILVA, 2006). São largamente utilizadas para fornecer energia a aparelhos eletrônicos portáteis, como calculadoras. Na Figura 30 pode-se observar a utilização de placas solares de filme fino na cobertura de um armazém de telhado em arco e a aplicação de células de filme fino em telhas cerâmicas.



Figura 30: a) Painéis solares de filme fino oferecem uma solução mais estética num telhado curvado;  
b) Telhas cerâmicas com células solares de filme fino

Fonte: Google (2020)

Novas tecnologias estão sendo experimentadas. Em 2017, uma equipe de cientista de duas Universidades Chinesas desenvolveu painéis solares a partir de um novo material, chamado LPP (Fósforo de Longa Persistência). Ele é capaz de armazenar energia solar a partir da luz não absorvida e perto da cor infravermelha permitindo a geração de energia contínua de dia e de noite. Pesquisas seguem com outro tipo de material chamado de Perovskite. Perovskites são uma classe de materiais que compartilham uma estrutura semelhante, exibem uma grande gama de propriedades comuns como supercondutividade, resistência, entre outras. De acordo com *The National Renewable Energy Laboratory* (NREL), os materiais Perovskite oferecem excelente absorção de luz e vida útil, resultando em alta eficiência e numa tecnologia escalável de baixo custo e industrial.

“Alcançar esse potencial exigirá que superemos barreiras relacionadas à estabilidade e compatibilidade ambiental, mas se essas preocupações forem tratadas, a tecnologia baseada em perovskite tem potencial para uma rápida implantação no seguimento solar.” (NEREL, 2019)

A corrente elétrica produzida pelos painéis fotovoltaicos é contínua, podendo ser ligada diretamente à carga. Desta forma, aparelhos eletrônicos, eletrodomésticos, máquinas ou veículos elétricos não necessitariam de transformadores internos para serem usados na corrente alternada fornecida pela concessionária.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser aplicados nos dois modos de funcionamento de corrente; corrente contínua<sup>30</sup> (CC) e corrente alternada<sup>31</sup> (CA).

A energia elétrica gerada pelas placas fotovoltaicas é injetada numa rede receptora de baixa ou média tensão para depois servir de alimentação às cargas que estão ligadas. No entanto, a rede receptora pode ser isolada ou ligada a rede de distribuição elétrica pública como mostra a Figura 31.

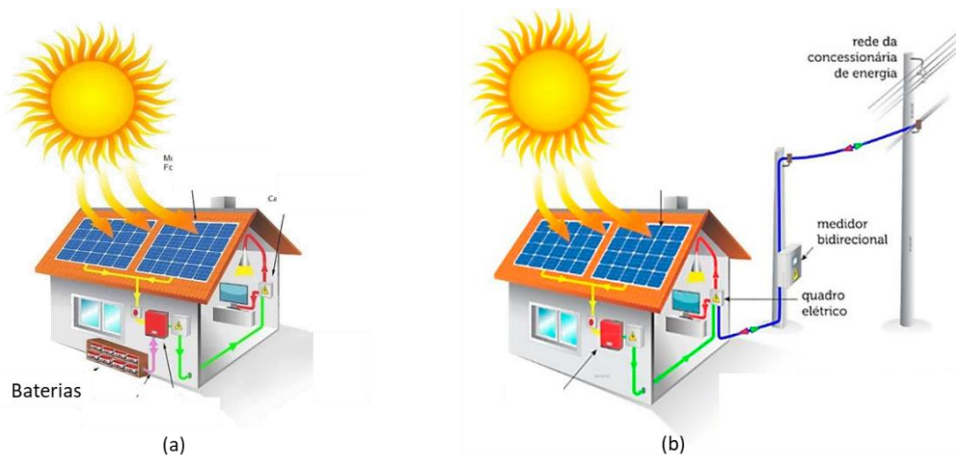


Figura 31: a) Sistemas Isolados; b) Sistemas conectados à rede.

Fonte: Google (2020)

Assim, os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados nas seguintes categorias:

- Sistema Híbrido;
- Sistema Isolado;
- Sistema Ligado à Rede Elétrica.

<sup>30</sup> Corrente Contínua – quando o campo elétrico tem um sentido constante no condutor de corrente elétrica, ou seja, o movimento dos elétrons acontece sempre no mesmo sentido. A polaridade dos terminais de tomada é fixa.

<sup>31</sup> Corrente Alternada – o sentido do campo elétrico no condutor de corrente elétrica se alterna. A polaridade dos terminais de tomada se alterna.

Sistemas híbridos são aqueles que apresentam várias fontes de geração de energia combinadas entre si, podendo ser fotovoltaicas, eólica, hídrica, diesel, entre outras. A Figura 32 mostra um sistema híbrido de fonte solar e fonte eólica.



Figura 32: Sistema Híbrido de fonte Solar e Eólica.

Fonte: Google (2020)

Os sistemas isolados são totalmente independentes da rede elétrica convencional, podem ocorrer sistemas isolados com armazenamento, que necessitam de um dispositivo de armazenamento de energia, como uma bateria, ou sem armazenamento. Na configuração sem armazenamento, a instalação não gera energia elétrica no período em que não incide irradiação solar. Alguns exemplos de utilização de sistemas isolados são:

- Eletrificação de comunidades em áreas remotas;
- Estações repetidoras de rádio micro-ondas;
- Monitoramento de sistemas de qualidade de água, ar e meio ambiente;
- Sistemas de navegação e boias oceânicas;
- Sistemas de proteção catódica;
- Dessalinização de água.

A Figura 33 mostra outros sistemas fotovoltaicos isolados no meio rural e urbano

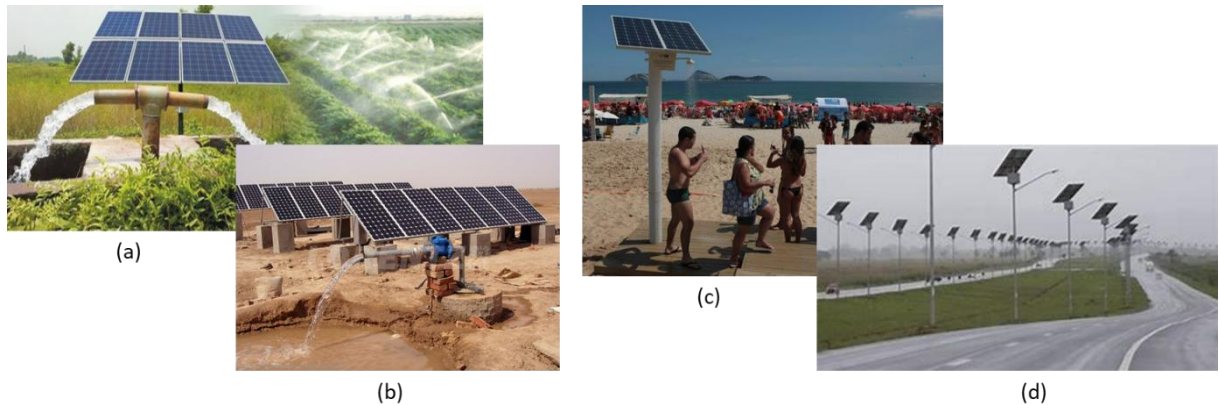


Figura 33: Sistemas Isolados. a) irrigação agrícola; b) bombeamento de água de poço; c) ecoducha em praia do Rio de Janeiro; d) Iluminação rodoviária no Arco Metropolitano do Rio de Janeiro.

Fonte: Google (2020)

Os sistemas ligados a rede elétrica podem ter configuração centralizada ou distribuída.

Sistemas centralizados de geração de energia, chamadas de fazendas solares, são compostos por usinas de grande porte, necessitam de grandes áreas desmatadas e localizam-se longe dos centros consumidores.

Em setembro de 2004 foi inaugurado próximo de Leipzig, na Alemanha, o maior sistema fotovoltaico do mundo até então, conectado à rede elétrica, com potência de 5MWpico e contendo 33.500 módulos fotovoltaicos, capaz de fornecer energia elétrica para 1.800 residências. Um ano depois, foi iniciada a construção de uma usina solar com o dobro da capacidade de geração na Bavária, também na Alemanha, podendo abastecer 3.300 residências. (Figura 34).



Figura 34: Sistemas Centralizados na Alemanha. a) em Leipzig; b) em Bavária.

Fonte: Google (2020)

No Brasil dois empreendimentos realizados em 2017 e 2018 exemplificam as fazendas solares nacionais. Localizado na cidade de Tabocas do Brejo Velho, a quase 800 km de Salvador, na Bahia, o Complexo Ituverava, como é conhecido, tem capacidade de produção de 500 GWh de energia. Com 850 mil painéis solares ocupa uma área de 5,79 milhões de m<sup>2</sup>. Em Pirapora à 350 Km de Belo Horizonte, no estado de Minas Gerais, o Complexo Solar de Pirapora tem capacidade para fornecer energia elétrica para 420 mil residências, ocupa uma área de 8 milhões de m<sup>2</sup>. (Figura 35)



Figura 35: Sistemas Centralizados no Brasil. a) em Taboas do Brejo Velho (Bahia); b) em Piropora (Minas Gerais).

Fonte: Google (2020)

A Geração distribuída pode ser definida como a geração elétrica feita perto do local do consumo e compartilhada na rede pública, independente da dimensão, tecnologia ou da fonte primária de energia. Ganhos com a redução de perdas nas linhas de transmissão e com a possibilidade de cogeração são benefícios diretos desse sistema. Quando a energia solar é superior ao consumo, o excedente é injetado na rede pública e, caso seja inferior, é complementado pelo sistema interligado. Os centros urbanos são os espaços onde a geração distribuída é mais promissora por já conta com a infraestrutura de rede elétrica pronta para a energia ser distribuída. A Figura 36 mostra alguns exemplos onde os painéis fotovoltaicos podem ser instalados em geração distribuída como estacionamentos abertos, fachadas de edifícios, estádios de futebol, hipermercados ou “*magazines*”, estações de transporte público e coberturas de edifícios e residências, entre outros.



Figura 36: Exemplos de Geração Distribuída no Espaço Urbano.

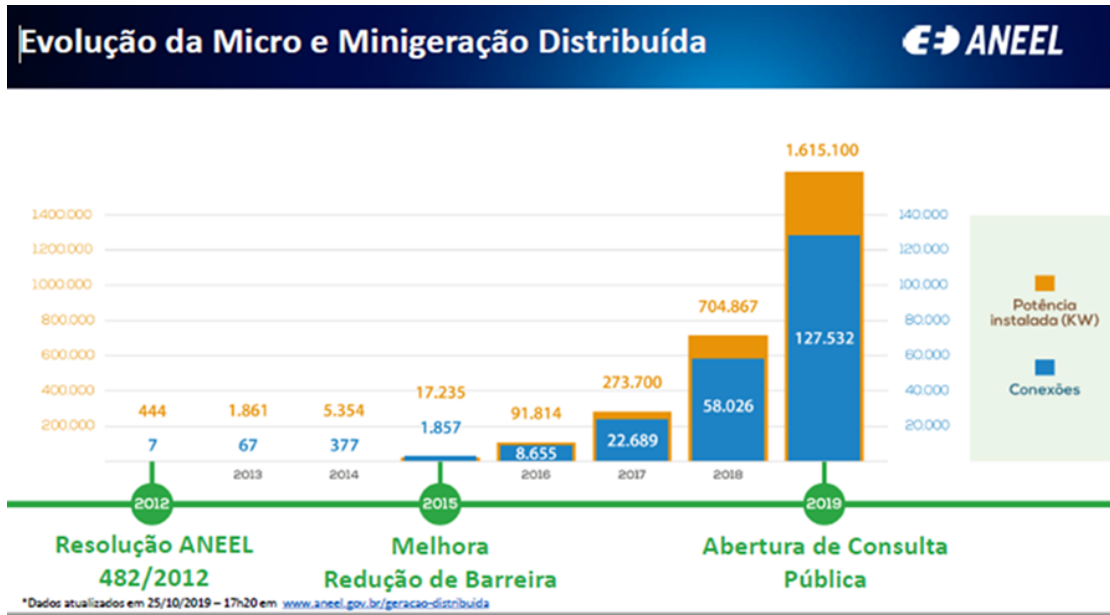
Fonte: Google (2020)

### 3.3. ASPECTOS CONJUNTURAIS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

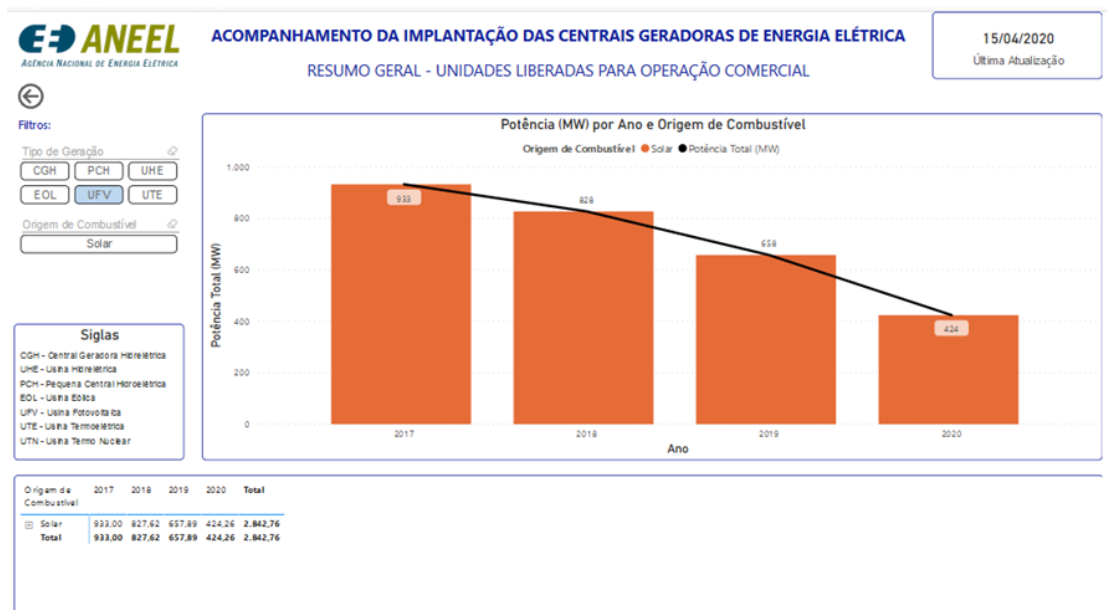
Conforme visto anteriormente na Figura 24, em 7 anos o potencial fotovoltaico instalado no Brasil passou de 7 MW em 2012 para 4.471 MW em 2019, um acréscimo de 63.771% impulsionado pela construção e operação de usinas de geração centralizada até 2017, e com inexpressivos investimentos em geração distribuída até aquele ano. Em 2012 entra em vigor a Resolução Normativa (RN) 482 que prometia mudar esse cenário com o propósito de incentivar a geração distribuída, permitindo ao consumidor gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição local. Mesmo assim, até 2016, a geração distribuída não tinha potencial fotovoltaico expressivo, contudo a partir daquele ano, teve um acréscimo de 1.659% em 4 anos incentivados pela RN 687 de 2015, conforme mostra a Figura 37-a. Isso promoveu mudanças nas regras, objetivando reduzir os custos e o tempo para a conexão da microgeração, que são as instalações de até 75 kW, e da minigeração, as instalações de 75 kW até 5 MW de potência (ANEEL, 2015), que anteriormente tinha um máximo de 1MW. Foi possível também compatibilizar o sistema de compensação de energia elétrica com as condições gerais de fornecimento aumentando o público-alvo. Neste mesmo ano, ficam reduzidas a 0% as alíquotas de contribuição do Programa de Integração Social (PIS) e da

Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) sobre a energia injetada na rede.

Segundo as novas regras que começaram a valer em 1º de março de 2016, foi permitido o uso de qualquer fonte renovável. O prazo de validade dos créditos adquiridos pela diferença entre geração e consumo passou de 36 para 60 meses. Os créditos passaram a poder compensar o consumo elétrico de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro endereço na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Outra inovação foi a respeito da possibilidade de instalação em condomínios. Nessa configuração, a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos de várias unidades consumidoras, em porcentagens definidas pelos próprios consumidores. A ANEEL criou uma forma de “geração compartilhada”, possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa para instalar uma microgeração ou uma minigeração distribuída. Essa energia gerada, que pode ser usada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados, reduziu os prazos de tramitação de pedidos junto às distribuidoras de 82 dias para 34 dias, padronizou os formulários de pedido de acesso para todo o território nacional e possibilitou a submissão e o acompanhamento de novos pedidos pela internet. Com todos esses incentivos, as instalações em micro e minigeração distribuída passaram de 1.857 conexões para 127.532 conexões em 2019, conforme observado na Figura 37-a chegando em 1,615 GW de potência instalada. Entretanto, a Figura 37-b mostra uma queda na potência anual instalada, denunciando uma redução do interesse em investimentos nas usinas centralizadas.



(a)



(b)

Figura 37: a) Evolução da Micro e Minigeração Distribuída. b) Evolução do Potencial Fotovoltaico liberados para operação anual.

Fonte: ANEEL (2020)

No modelo Alemão, os estímulos ao uso de energias renováveis iniciam em 01 de janeiro de 1991 com a Lei de Fornecimento de Eletricidade (BDJ, 1990). Isso regulamentou a compra e remuneração pelas empresas de fornecimento de energia elétrica daquela gerada exclusivamente a partir de fontes renováveis. O objetivo foi



viabilizar o desenvolvimento sustentável do fornecimento de energia, reduzir os custos econômicos, e promover o desenvolvimento adicional de tecnologias de geração de energia renovável. Segundo Brito (2001), somente em 1999, com o lançamento do programa para a instalação de placas fotovoltaicas em 100.000 telhados com empréstimos à juros de 0% e prazo de pagamento de 10 anos, que o desenvolvimento da eletricidade solar na Alemanha ganhou força, transformando o usuário em um micro produtor de energia. Em 2000, com a aprovação da nova Lei de Fontes de Energia Renovável (EEG), em substituição a anterior de 1990, ficou garantido uma tarifa mínima, conhecida por *Feed-in-Tariff* (FIT), de preço de venda da eletricidade solar para os distribuidores regionais. O resultado da publicação desta nova lei foi um disparo na procura por instalações fotovoltaicas, devido ao preço de venda garantido. Assim, a eletricidade passou a “ser um investimento de capital, independentemente do consumidor/produtor se abastecer ou não na rede elétrica convencional” (BRITO, 2001).

Ainda segundo Brito (2001), em poucas semanas da aplicação dessa nova lei, o número de habilitações para fornecimento de energia fotovoltaica tinha superado toda a expectativa para o ano de implementação da EEG. Isso obrigou à revisão dos critérios para os empréstimos a juros de 0%. Ao final do ano, ao contrário do que se esperava, o preço dos painéis solares na Alemanha aumentou em vez de diminuir, porque o aumento da capacidade de produção de painéis solares não acompanhou a velocidade das instalações fotovoltaicas, levando ao aumento das importações de painéis solares.

Pressionado, o governo alemão decidiu reduzir as subvenções às fontes renováveis para manter a competitividade de sua indústria. Esse governo editou uma nova lei chamada de EEG 2.0 em 2014 que, entre os pontos principais, destacam-se a redução do apoio de novas instalações de energia renováveis e dos incentivos a essas tecnologias ao longo do tempo. Também foram revistos os bônus pagos aos geradores de energias renováveis e fim do privilégio dado à energia renovável gerada no país em detrimento da energia vinda de fora (UBA, 2019)

A revisão de 2017, conhecida como EEG 2017, teve como principal mudança o incentivo do fornecimento direto dos sistemas fotovoltaicos instalados nos telhados e fornecida aos consumidores nos edifícios, num contexto espacial

direto sem transmissão, podendo o excedente até 100kW alimentar a rede de fornecimento geral e ser remunerada, garantida a aquisição por 20 anos. Ficou estabelecido que usinas com excedentes acima de 100 kW venderiam a energia no mercado livre, sem tarifa garantida. (BDJ, 2017)

Na China, de acordo com Nuoshu (2017), o setor de energia solar teve o apoio do Governo Chinês nas atividades de pesquisa e desenvolvimento de painéis fotovoltaicos desde a década de 1950 com foco do uso dessa tecnologia no espaço. A indústria fotovoltaica começou a se desenvolver na década de 1990, levando energia elétrica a comunidades remotas. Em 1996, a política nacional levou energia elétrica a regiões que não estavam conectadas à parte ocidental do país. Ainda de acordo com Nuoshu (2017), em meados dos anos 2000, a China muda sua política para o setor fotovoltaico ampliando a produção de painéis solares para a exportação. Isso permaneceu até 2010, quando cerca de 95% da produção de painéis fotovoltaicos fabricados na China era exportada principalmente para Estados Unidos e Alemanha.

As medidas de proteção das indústrias dos países importadores das placas solares chinesas, levou a China ao problema de excesso da capacidade de produção. Como o crescimento da produção para a exportação foi impulsionado por financiamentos do governo chinês, este se viu obrigado a criar um mercado interno para as placas fotovoltaicas.

O Plano Quinquenal da China para o período 2011-2015 buscou incentivar o mercado doméstico, fixando metas de expansão. Para isso, buscou oferecer um programa de subsídios para telhados solares, garantias para compra da energia gerada através de *Feed-in-Tariff* (FIT), aos moldes do modelo alemão, e um programa de geração distribuída de fonte solar. Em julho de 2013, o Conselho de Estado da China publica um documento para um maior desenvolvimento da energia solar, incentivando as usinas de grande porte e integrando a geração distribuída. Além disso, este conselho ofereceu orientação para um desenvolvimento ordenado a gestão das conexões à rede.

Já em dezembro de 2015, o aumento no número de usinas solares de grande porte levou o governo a reduzir a quantidade de subsídios. Contudo, a

redução gradual desses subsídios acabou por impulsionar o setor pois as empresas buscaram colocar suas instalações em operação antes que as reduções entrassem em vigor. Também em 2015, outra iniciativa incentivando a pesquisa e as novas instalações a usarem produtos com células solares mais eficientes levaram a uma redução dos custos a ponto de poder competir no mercado aberto com outras fontes tradicionais sem a necessidade de subsídios.

A construção das usinas fotovoltaicas de grande porte, chamadas de fazendas solares, ficam cada vez maiores. De acordo com Yuan Xu (2018), da Universidade de Hong Kong, as fazendas solares foram instaladas na China Ocidental que concentra apenas 6% da população do país, portanto longe das grandes cidades, resultando num baixo fator de capacidade<sup>32</sup>. Parte desse problema é a energia perdida ao longo de quilômetros de extensão de linhas de transmissão que ligam as fazendas solares aos centros urbanos.

Ainda segundo Xu (2018), em maio de 2018 o governo reduziu drasticamente os subsídios para projetos de fazendas solares. Em meio a esse clima pouco atraente, investidores se afastaram das remotas fazendas solares e passaram a ir em direção aos terraços das grandes cidades, instalando painéis solares para vender eletricidade diretamente aos consumidores.

Chama atenção, principalmente nos casos de Alemanha e China, a grande preocupação com a segurança e o comando do setor energético, buscando alternativas para reduzir a dependência do capital externo, grande financiador de fontes não renováveis. Sempre houve um contexto geopolítico mundial para a concentração e o controle das reservas das fontes de energia que são administradas pelo capital financeiro. Nesse sentido, países de concepções políticas opostas influenciam fortemente o setor de energias renováveis como a energia solar com subsídios do governo.

O capital é orientado à maximização dos lucros, onde produções em larga escala são mais atrativas economicamente do que sistemas descentralizados. Desta forma, grandes empresas geradoras de energia, que influenciavam diretamente a

---

<sup>32</sup> Fator da Capacidade - adimensional, variando entre 0 e 1, é a energia gerada durante determinado período dividida pela energia máxima possível de ser gerada no mesmo período.

política, acabam por permitir que ocorra a geração distribuída perdendo parte do controle deste estratégico recurso. Assim, ganha força nesse cenário, os fabricantes dos componentes que integram a geração solar, produzindo equipamentos em larga escala, passando a ditar novas regras.

A Figura 38 mostra uma cronologia dos principais marcos no Brasil, Alemanha e China. Percebe-se que Alemanha e China iniciaram as políticas públicas em energias fotovoltaicas bem antes do que o Brasil, que os dois países possuíam programas de subsídio no início através da garantia de compra da energia gerada enquanto que o Brasil adotou um sistema de compensação. A partir de 2014, os governos da Alemanha e da China iniciaram a retirada dos subsídios. No Brasil, no decorrer do ano 2019, ganhou força uma discussão no âmbito político a respeito de criar uma espécie de imposto que deveria ser pago por quem produz energia elétrica por fonte solar de forma distribuída. Essa discussão ficou conhecida por “Imposto do Sol<sup>33</sup>” (BRASIL, 2016) e resumia-se, em relação a geração solar distribuída, em criar uma taxa de contribuição da unidade geradora à concessionária pela injeção de energia na rede devido ao uso da infraestrutura existente.

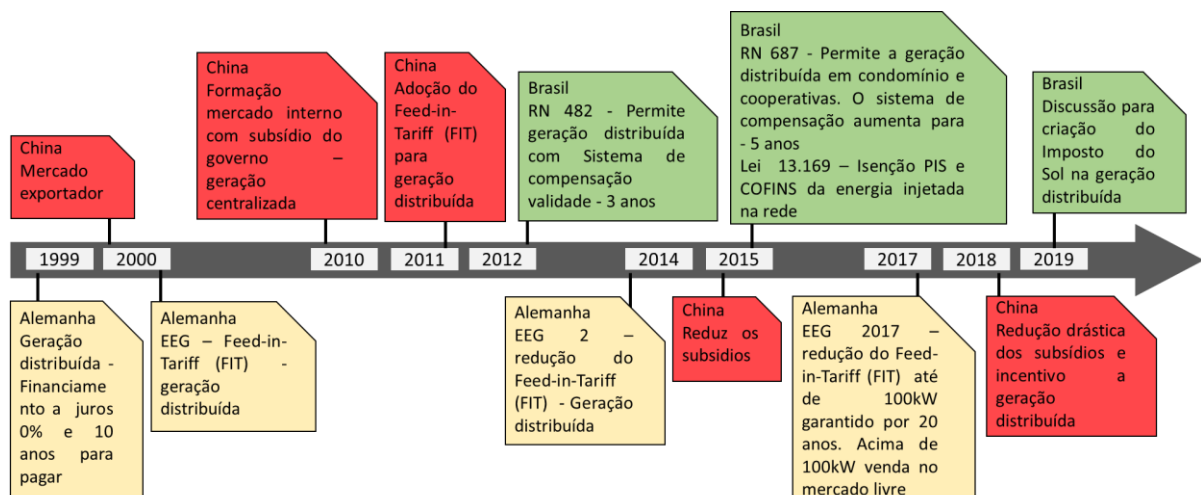


Figura 38: Cronologia dos principais marcos regulatórios de Brasil, Alemanha e China na implementação de políticas públicas em energias fotovoltaicas.

Fonte: Autor (2020)

<sup>33</sup> Imposto do Sol – Projeto de Lei número PL 232/2016 que dispõe sobre o modelo comercial do setor elétrico, a portabilidade da conta de luz e as concessões de geração de energia elétrica.

A argumentação de que a configuração distribuída de produção de energia elétrica trará maiores benefícios sociais parece ser insuficiente para mudar a estrutura econômica do setor energético. A incoerência de aproveitar uma fonte naturalmente dispersa, concentrando-a em uma determinada localidade, como o caso das fazendas solares, para depois distribuí-la através de linhas de transmissão, não parece óbvia.

### **3.4. USINAS GERADORAS FOTOVOLTAICAS DENTRO DO ESPAÇO URBANO**

Usinas solares de grande porte contribuem para a economia de escala e para a redução do preço da tecnologia fotovoltaica. Entretanto, a construção de imensas usinas solares, seja para movimentação de turbinas pelo aquecimento de um fluido ou pela geração fotovoltaica, apresentam os mesmos problemas ambientais das hidrelétricas, causado pela necessidade de grandes áreas para a geração de energia. A localização dessas usinas, por estarem longe dos centros consumidores, necessitam ainda de extensas linhas de transmissão até os pontos de consumo, acarretando danos ambientais, perdas e qualidade da energia produzida.

Instalações fotovoltaicas em geração distribuída dentro dos centros urbanos, possibilitam diversas vantagens como minimizar as perdas por transmissão. Isso ocorre porque a geração e o consumo estão próximos um do outro, dispensando os sistemas acumuladores de energia (baterias) e reduzindo o custo da instalação. Portanto, não há necessidade de superdimensionamento para atendimento da carga por períodos prolongados de baixa incidência solar, podendo contar com a rede elétrica convencional, e aliviar o sistema de distribuição da concessionária elétrica. Isso aumenta a vida útil de transformadores e outros componentes (RUTHER, 2004), além de utilizar planos de fachada ou coberturas já existentes.

A possibilidade de usar telhados de condomínios logísticos ou agrupamentos de Armazéns de Distribuição, como usinas de energia fotovoltaica para ser distribuída na população do entorno dessas construções, pode dar outro impulso na geração distribuída de energia fotovoltaica e contribuir para o aumento do consumo de eletricidade da população pobre, possibilitando romper com o ciclo da pobreza.

Os Condomínios Logísticos ocupam grandes áreas urbanas com fácil acesso às principais rodovias, ferrovias, portos e aeroportos de grande circulação. Construídos para atender uma única empresa ou alugados por empresas diferentes, condomínio logístico é um agrupamento de vários galpões, que podem chegar a 250 mil m<sup>2</sup> de área de cobertura como a caso na Figura 39-a, localizado no limite dos municípios do Rio de Janeiro e Duque de Caxias, na BR 040, com flexibilidade de modulação dos espaços internos e situados em um único terreno. São destinados ao armazenamento e às operações de logística, dotados com áreas para gestão e atividades empresariais e possuem infraestrutura e serviços compartilhados no mesmo lugar.

Os agrupamentos de Armazéns de Distribuição ocupam regiões na área urbana, que concentram galpões para abastecer o comércio da cidade que, reunidos, podem ocupar cerca de 440 mil m<sup>2</sup> de área de cobertura como no caso da Figura 39-b, localizados entre os bairros da Pavuna, Costa Barros e Acari, na cidade do Rio de Janeiro, ao longo de um trecho da Rodovia Presidente Dutra, BR 116.



Figura 39: (a) Condomínio Logístico; (b) Região de agrupamento de Armazéns de Distribuição.

Fonte: Adaptado pelo autor (Google Earth - 2020)

Segundo levantamento da *CBRE Group, Inc*<sup>34</sup> (2017 apud XPIN<sup>35</sup>, 2017), O Brasil conta com 22 milhões de m<sup>2</sup> construídos em Condomínios Logísticos e o Estado do Rio de Janeiro tinha 2,55 milhões de metros quadrados construídos em Condomínios Logísticos no final de 2017 conforme Figura 40. Isso elevou o potencial

<sup>34</sup> CBRE Group Inc - é uma empresa de investimentos e serviços comerciais líder no setor imobiliário com atuação mundial.

<sup>35</sup> XPIN - XP Industrial, é um fundo de investimento imobiliário que busca oferecer rentabilidade através da exploração imobiliária de galpões industriais.

de utilização desse tipo de construção, como usinas de geração de energia fotovoltaica da cidade.

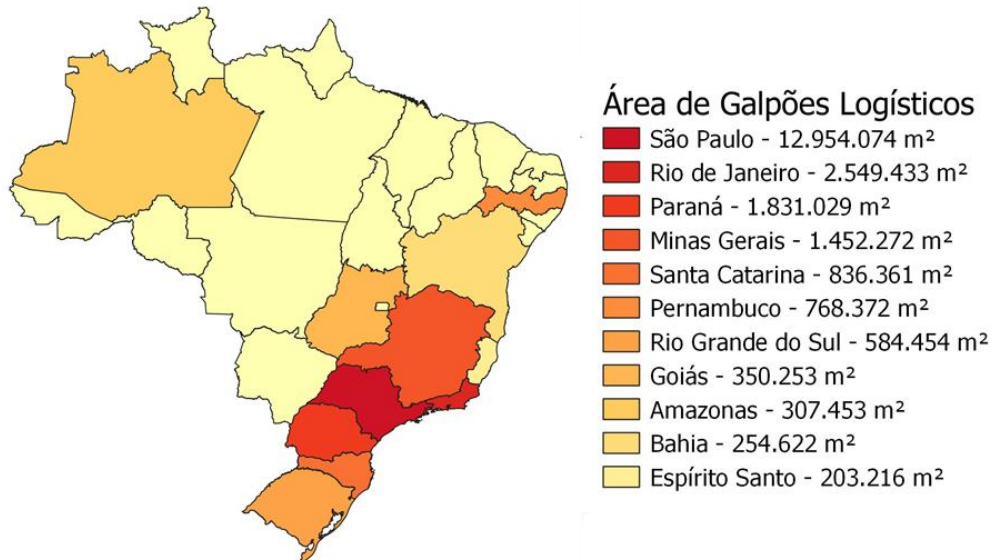


Figura 40: Área Construída em Galpões Logísticos.

Fonte: CBRE Group, Inc (2017 apud XPIN, 2017)

## 4. ESTUDO DE CASO

O estudo consiste em dimensionar um sistema fotovoltaico para um Armazém de Distribuição, estimar o potencial de geração de energia elétrica fotovoltaica, comparar com a energia consumida da edificação, estimar o potencial de energia elétrica excedente que possa ser injetada na rede e distribuída aos bairros e comunidades vizinhas e estimar quantas residências podem ser atendidas pelo excedente elétrico gerado.

### 4.1 METODOLOGIA DO ESTUDO DE CASO

A energia consumida e a demanda de potência contratada podem ser coletadas na fatura de consumo de energia do armazém objeto do estudo. Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico é necessário determinar a potência a ser instalada de forma que maximize a energia a ser gerada. Para isso, é necessário conhecer a maior área possível para a instalação das placas fotovoltaicas e a inclinação e posicionamento do telhado em relação ao norte geográfico, que é possível através do projeto de telhado do armazém. Assim, é possível analisar o

caminho que o sol percorre em relação a edificação para verificar a insolação a que o telhado está exposto e possíveis sombreamentos.

A energia consumida e a demanda de potência contratada foram retiradas da fatura de consumo de energia do galpão objeto de estudo fornecido pela concessionária e cedido pelo administrador do imóvel que pode ser vista no Anexo 1.

Para o dimensionamento preliminar do sistema fotovoltaico, será necessário estimar os índices de irradiação solar local, que foi feito utilizando o programa SunData – um programa de acesso on-line destinado ao cálculo da irradiação solar média diária para o mês em qualquer ponto do território nacional desenvolvido pelo Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL) e disponibilizado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB). Também é preciso escolher a placa solar utilizada no sistema que estará dentre as opções comerciais oferecidas pelo mercado.

As informações características do telhado do armazém, objeto de estudo, foram coletadas a partir dos projetos arquitetônicos do mesmo.

Para o dimensionamento final do sistema solar, serão utilizados os softwares Meteonorm 7.3 para determinar os índices de radiação local e para a verificação e consolidação das informações, dimensionamento do sistema e cálculo da energia gerada foi utilizado o software PVSyst 7.1<sup>36</sup>.

Analisado o consumo elétrico do armazém, objeto do estudo, e feito o dimensionamento do sistema, o próximo passo é calcular o excedente elétrico que poderá ser redirecionado aos bairros vizinhos e comunidades e estimar a quantidade de residências a serem beneficiadas, que foram retratadas em mapa temático, utilizando o software QGis.

---

<sup>36</sup> Software PVSyst - É um software para dimensionamento e projeto de sistemas fotovoltaicos com recursos de simulação, cálculo, emissão de relatório e documentação técnica de sistemas fotovoltaicos de qualquer porte.



## 4.2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO OBJETO DE ESTUDO

O Armazém de Distribuição, objeto para análise da utilização da cobertura como miniusina de energia solar, está inserido na região de agrupamento de armazéns de distribuição, mencionado anteriormente na Figura 39 b. Localizado no bairro da Pavuna entre duas das principais vias de acesso à cidade do Rio de Janeiro, a Rodovia Presidente Dutra e a Via Expressa Presidente João Goulart (Linha Vermelha), em destaque na Figura 41. O bairro da Pavuna, no limite do municípios do Rio de Janeiro e São João de Meriti, possui IDH de 0,756, e tem como vizinhos dois bairros que figuram entre os de menor IDH da Cidade, como o caso de Acari com IDH de 0,654, e Barros Filho com IDH de 0,697, conforme a Figura 42, e ao lado de duas comunidades, Vila Beira Rio e Sossego-Alegria.



Figura 41: Localização do Armazém - inserido na região de agrupamento de Armazéns de Distribuição.

Fonte: Autor (Google, 2020)

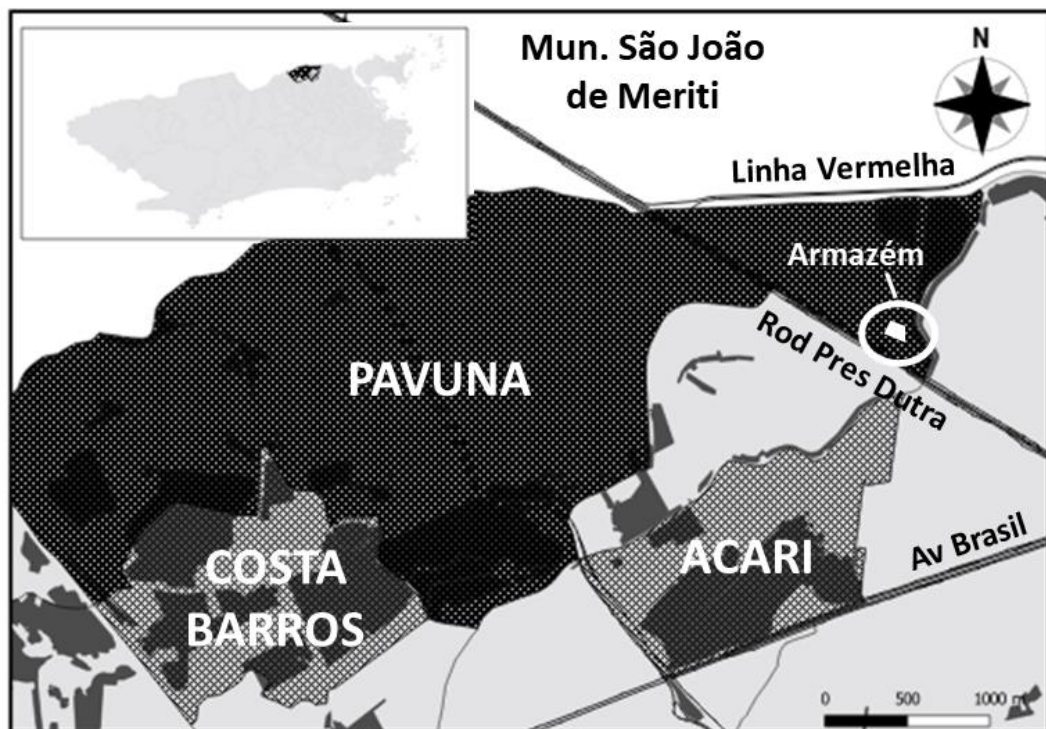


Figura 42: O Armazém de Distribuição está localizado no bairro da Pavuna no limite com o Município de São João de Meriti entre as principais vias expressas da cidade do Rio de Janeiro.

Fonte: Autor (2020)

A área disponível para instalação da miniusina fotovoltaica será o telhado de cobertura do armazém mostrado na Figura 43. De acordo com os projetos arquitetônico de cobertura mostrado na Figuras 45-a, totaliza 7.844,41 m<sup>2</sup> de cobertura no plano inclinado do telhado.



Figura 43: Telhado do Armazém de Distribuição.

Fonte: Autor (Google, 2020)

A melhor posição para os painéis solares é voltada para a direção norte. O telhado do Armazém possui dois caimentos, rotacionados  $31^\circ$  do norte geográfico (desvio azimutal<sup>37</sup>), um voltado a  $31^\circ$  da face norte, a melhor situação, e o outro voltado a  $31^\circ$  da face sul, a pior situação. O ângulo de inclinação ideal das placas fotovoltaicas é igual a latitude do local de instalação, que segundo a Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro (2020) é de  $22^\circ54'23''$ <sup>38</sup> Sul e no local do Armazém a latitude é  $22^\circ48'36''$  Sul, conforme mostrado na Figura 44, contudo a inclinação dos dois caimentos do telhado é de  $4^\circ$  (Figura 45-b). Como opção, as placas fotovoltaicas poderiam ser instaladas sobre suporte que as posicionasse na inclinação ideal de  $22^\circ48'36''$ , a latitude a armazém, mas isso não será considerado, ou seja, as placas serão instaladas na inclinação do telhado.

<sup>37</sup> Desvio Azimutal – É o ângulo de desvio da direção do norte geográfico no plano horizontal e o lado de um determinado polígono em direção ao leste.

<sup>38</sup> Segundo a Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, a cidade está localizada geograficamente a  $22^\circ54'23''$  Sul de latitude e  $43^\circ10'21''$  de longitude Oeste.



Figura 44: Localização geográfica (Latitude e Longitude) do Armazém de Distribuição.

Fonte: Google Earth (2020)

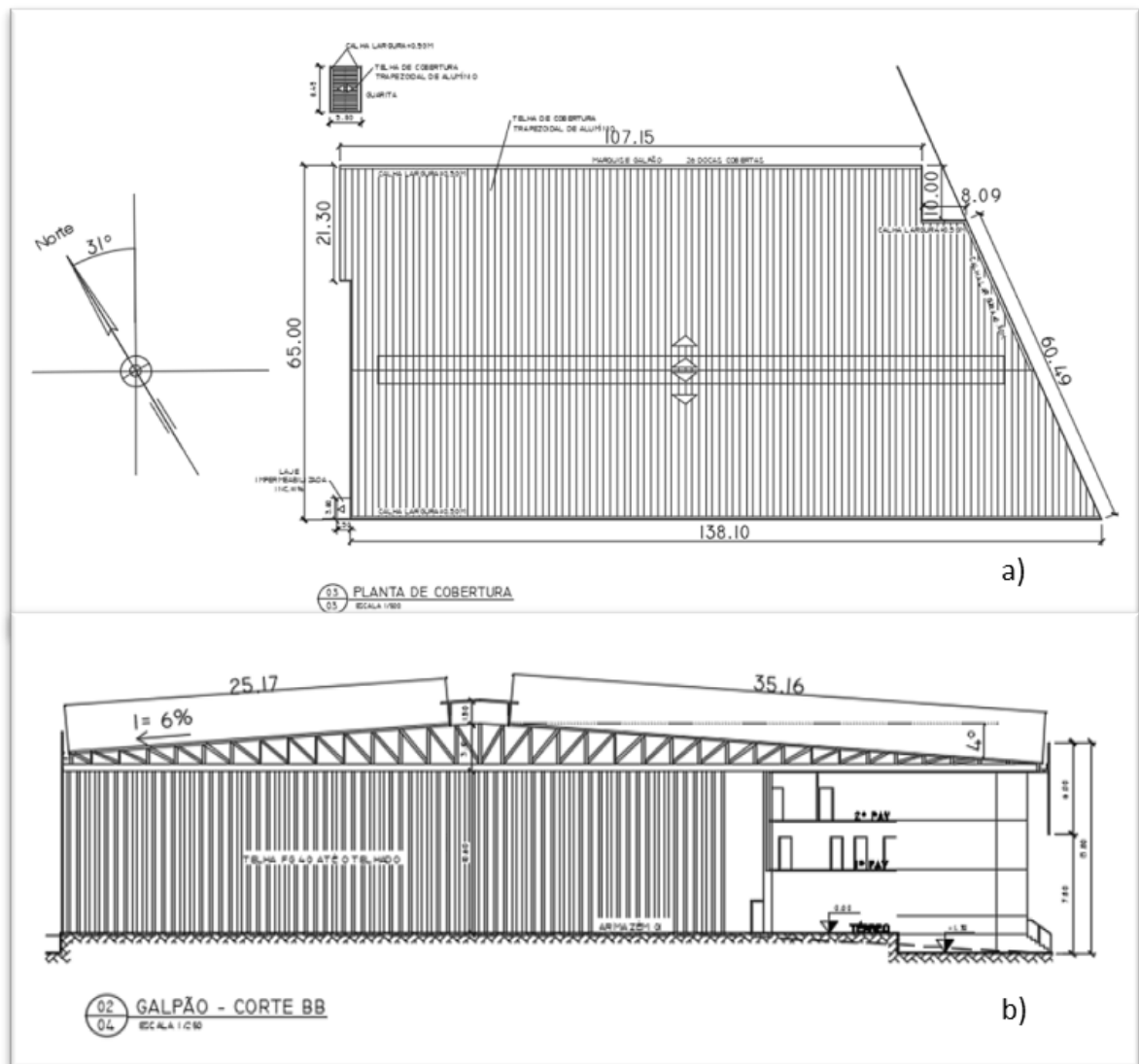


Figura 45: a) Planta de Arquitetura de Cobertura; b) Planta de Arquitetura de Corte.

Fonte: Autor (2005)

A escolha deste Armazém se deu por estar inserido numa região que de acordo com o mapa solar do Rio de Janeiro apresentado na Figura 46, produzido pela ESRI<sup>39</sup> (2020). A região apresenta excelente potencial fotovoltaico, agrega diversos armazéns de características semelhantes, porém com posicionamento e inclinações distintos de seus telhados. Ainda há o acesso ao faturamento de consumo elétrico emitido pela concessionária, e cada metade do telhado do

<sup>39</sup> ESRI – Empresa Americana especializada na produção de soluções para a área de informação geográfica. Possui uma parceria com a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro disponibilizando um mapeamento do potencial de geração de energia fotovoltaica nos telhados das edificações da cidade. Coordenado pela EPE e a GIZ (Deutsche für Internationale Zusammenarbeit) – Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, contou com a participação das Secretarias do Estado e da Cidade do Rio de Janeiro.

Armazém está direcionado, uma para a melhor situação e a outra para a pior situação de captação de energia solar, possibilitando avaliar as duas situações.

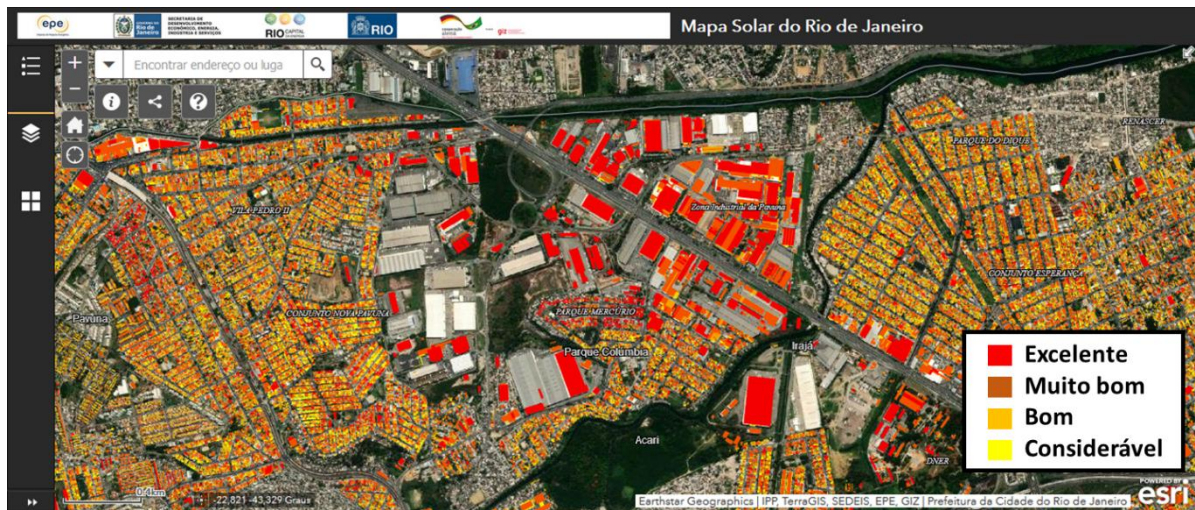


Figura 46: Mapa Solar da Cidade do Rio de Janeiro dos telhados das edificações.

Fonte: ESRI (Dados fornecidos pela EPE, GIZ, ERJ, RJ – 2020)

### 4.3 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Antes do dimensionamento do sistema fotovoltaico, foi realizada uma análise previa da geração fotovoltaica necessária para suprir o consumo elétrico do Armazém. Para isso, buscou-se suas coordenadas geográficas, latitude ( $22^{\circ}48'36''$  Sul) e longitude ( $43^{\circ}19'57''$  Oeste), na página eletrônica do Google Earth apresentada na Figura 44. Os dados geográficos foram inseridos no programa SunData (CRESESB, 2020) para a verificação da irradiação solar no plano horizontal no local da instalação, retornando os dados da irradiação solar de 3 localidades próximas, São João de Meriti, Oceano Atlântico e Rio de Janeiro, como pode ser visto na Figura 47. Foram utilizados os dados da irradiação solar no plano horizontal da Cidade de São João de Meriti, vizinho ao bairro da Pavuna, por estar mais próximo ao Armazém apresentando a menor irradiação solar no mês de julho,  $3,37 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$  e a maior no mês de fevereiro,  $6,14 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$ .

Localidades próximas

Latitude: 22,810019° S

Longitude: 43,332694° O

Estação	Município	UF	País	Irradiação Solar Diária Média (kWh/m <sup>2</sup> .dia)													Média	Delta		
				Latitude	Longitude	Distância (Km)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out			Nov	Dez
São João de Meriti	São João de Meriti	RJ	Brasil	22,801° S	43,349° O	2,00	5,95	6,14	5,02	4,36	3,62	3,38	3,37	4,23	4,43	5,02	5,06	5,74	4,69	2,76
Oceano Atlântico	Oceano Atlântico			22,801° S	43,249° O	8,60	6,03	6,18	5,06	4,41	3,60	3,37	3,36	4,19	4,39	5,02	5,07	5,84	4,71	2,81
Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	RJ	Brasil	22,901 S°	43,349° O	10,30	6,01	6,20	5,03	4,36	3,60	3,35	3,33	4,18	4,40	5,05	5,10	5,81	4,70	2,86

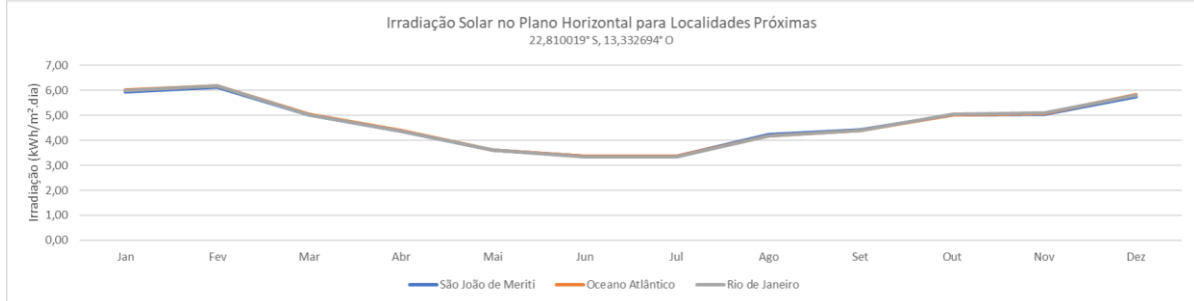


Figura 47: Irradiação Solar Diária Média de três localidades próximas ao Armazém de Distribuição.

Fonte: SunData (2020)

A partir da fatura de consumo de energia do Armazém de Distribuição emitida pela concessionária (Anexo 1), foi possível obter o histórico mensal do consumo elétrico em 2019, mostrado na Figura 48. O armazém apresenta média de consumo elétrico de 15.517 kWh/mês com pouca variação durante o ano, chegando ao máximo de 17.797 kWh/mês em agosto.

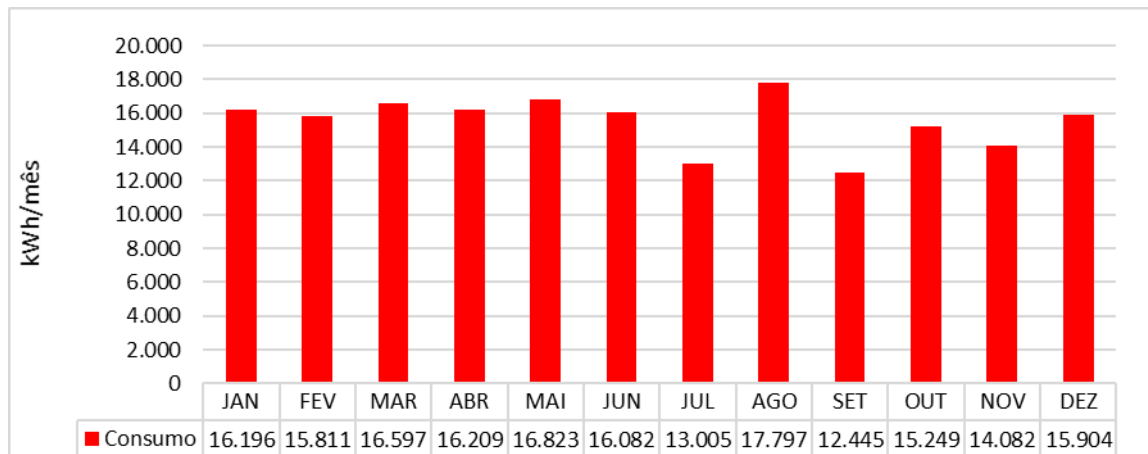


Figura 48: Consumo elétrico mensal do Armazém de Distribuição.

Fonte: Concessionária (2019)

Com as informações coletadas, é possível determinar a potência total que os módulos fotovoltaicos devem ter para suprir o consumo elétrico do Armazém através da equação:

$$P_{fv} = \frac{E \cdot P_{sol}}{G_{mod} \cdot Pr} \quad (1)$$

Onde:

$P_{fv}$  = Potência máxima dos módulos fotovoltaicos (kWp)

$E$  = Energia consumida (kWh/dia)

$P_{sol}$  = Irradiância solar de referência (1 kW/m<sup>2</sup>)

$G_{mod}$  = Irradiação diária no plano dos módulos no local (kWh/m<sup>2</sup>.dia)

$Pr$  = *Performance Ratio*<sup>40</sup> – Coeficiente de desempenho do sistema

Para a análise prévia do potencial elétrico do Armazém objetivando suprir o consumo próprio de energia, considerou-se a pior combinação de eventos possível, a menor irradiação solar no local, que acontece no mês de julho, que é de 3,37 kWh/m<sup>2</sup>.dia, e o maior consumo elétrico no ano que foi de 17.797 kWh/mês, ou 593 kWh/dia, realizado no mês de agosto. Para a Performance Ratio, a GestorSolar (2020) diz que no Brasil está entre 54% e 79%. Assim, considerou-se um coeficiente de desempenho do sistema de 54%, obtendo-se uma potência de 325.860 Wp. Para um painel solar de 330 Wp, seriam necessários 988 painéis solares para suprir o consumo elétrico do Armazém. Considerando o módulo fotovoltaico ODA330-36-P fabricado pela OSDA (NEOSOLAR<sup>41</sup>, 2020) de 330 Wp, com comprimento de 1,960 metros e 0,992 metros de largura, ocuparia 1.920 m<sup>2</sup> da área disponível do telhado.

#### 4.4. DIMENSIONAMENTO DA USINA SOLAR URBANA.

O dimensionamento definitivo do sistema fotovoltaico foi executado utilizando-se o Simulador PVsyst 7.1. A partir das informações da posição de latitude, longitude e altura, das informações construtivas do telhado ou suporte das placas, da área disponível ou geração de energia necessária, e da escolha do sistema fotovoltaico, como tipo de placas e inversores, é possível dimensionar e simular a energia fotovoltaica a ser gerada pelo sistema, dimensionando perdas conforme a orientação geográfica de instalação das placas, perdas por temperatura, por sombras, entre outras. Através da inserção de informações como preço de

<sup>40</sup> *Performance Ratio* – Fornecida em percentagem, é a relação entre o rendimento real e o rendimento esperado do sistema fotovoltaico.

<sup>41</sup> NEOSOLAR – Empresa fornecedora de produtos para sistemas fotovoltaicos sediada em São Paulo – SP.



aquisição das placas, inversores, acessórios, instalação, e informações econômicas como inflação, taxa de financiamento sobre empréstimos, tarifa elétrica, disponibiliza também uma avaliação econômica do projeto, informando fluxo de caixa e *payback*<sup>42</sup> do empreendimento. A partir desses dados, o software faz uma simulação da geração de energia diária para o período de um ano, avaliando perdas e a situação econômica do projeto para a vida útil do projeto. Através de um modelo 3D, também é possível visualizar a simulação de geração de energia, a caminho percorrido pelo sol e a influência de sobras no sistema. Na Figura 49 é mostrado a tela inicial do simulador PVsyst 7.1.

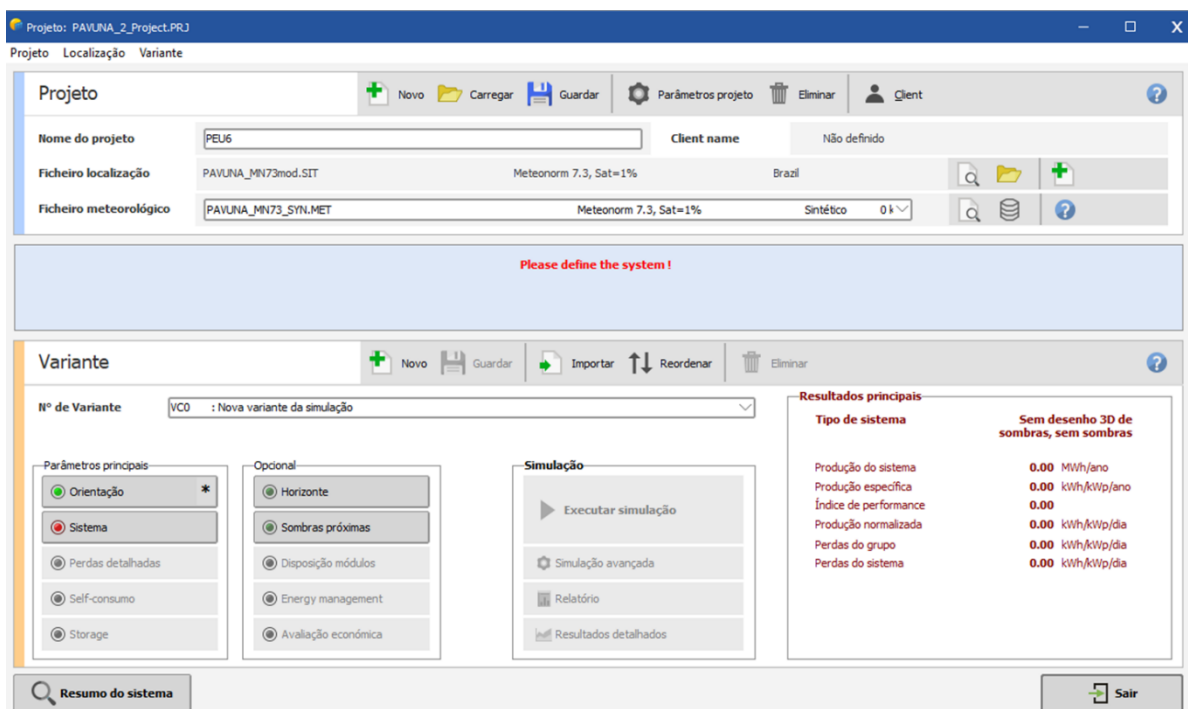


Figura 49: Tela Inicial do simulador PVsyst 7.1.

Fonte: PVsyst 7.1 (2021)

Para a inserção dos dados e consolidação dos estudos através do simulador PVsyst 7.1, é necessário confirmar a área de telhado disponível para a colocação das placas fotovoltaicas. O telhado objeto de estudo dispões de telhas metálicas intercaladas com telhas translúcidas, iluminando o armazém internamente, que não podem ser sobrepostas pelas placas solares. Também é necessária uma área livre

<sup>42</sup> *Payback* - é o tempo que o investidor levará para recuperar sua aplicação inicial. Orienta sobre a atratividade e viabilidade econômica do projeto.

de circulação para acesso à manutenção dos módulos fotovoltaicos e do telhado. Desta forma, o arranjo desses módulos sobre o telhado é apresentado na Figura 50, ocupando uma área de 3.256,20 m<sup>2</sup> podendo compor 1.473 placas de 1,048 x 2,108 m (2,21 m<sup>2</sup>/placa).

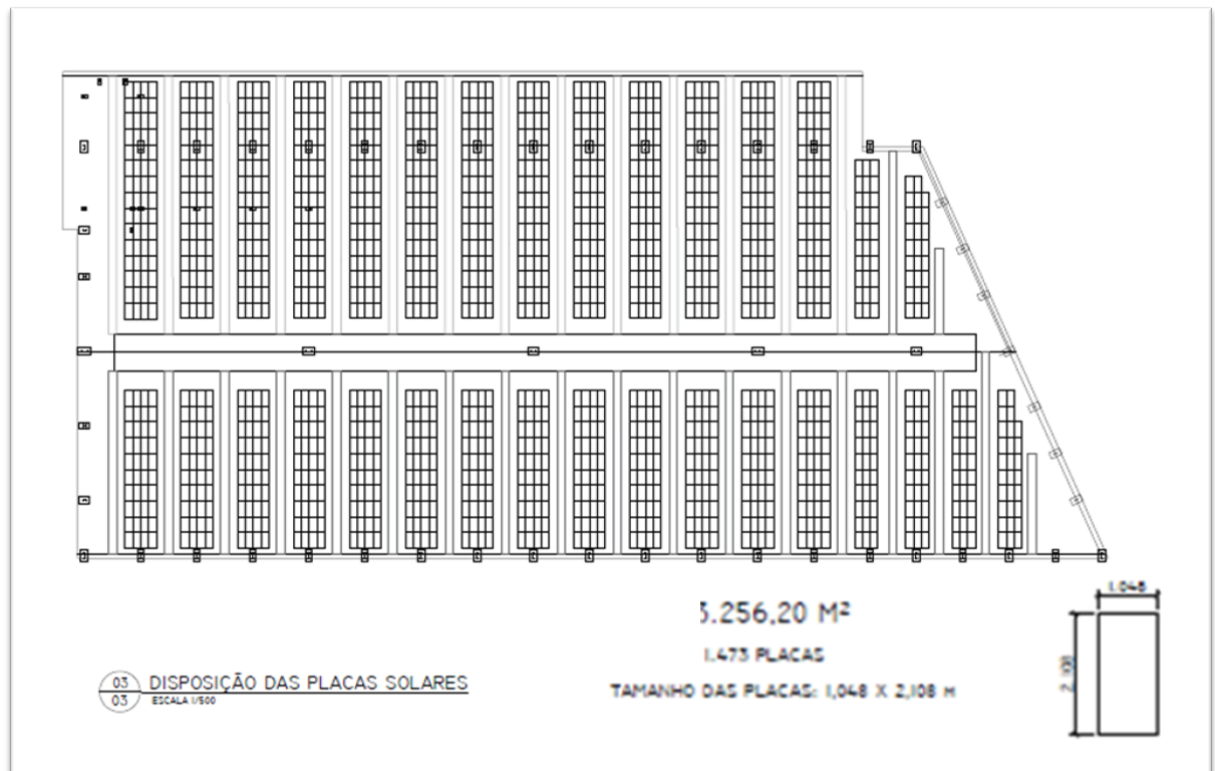


Figura 50: Planta do telhado com a disposição dos módulos Fotovoltaicos.

Fonte: Autor (2021)

Para a posição geográfica do telhado, foram inseridos no simulador a posição de latitude e longitude do armazém, conforme mostrado anteriormente na Figura 44, a altura de instalação das placas solares de 10 metros e utilizado o software Meteonorm 7.3<sup>43</sup>, que já está associado ao PVsyst 7.1, para os cálculos meteorológicos e geração das condições de irradiação solar, através de um banco de dados climáticos de anos típicos e séries temporais históricas (Figura 51).

<sup>43</sup> Meteonorm 7.3 – É um software de banco de dados climáticos que agrega mais de 8.000 estações meteorológicas, 5 satélites geoestacionários e uma climatologia aeroespacial calibrada globalmente. Desde 1998 fornece dados climáticos com abrangência mundial que podem ser incluídos em simulações fotovoltaicas, térmicas solares, ou modelagem climatológicas de edifício entre outros.

Figura 51: Inserção no simulador da latitude, longitude e altura de instalação do sistema solar.

Fonte: PVsyst 7.1 (2021)

Os dados de irradiação solar a partir da localização geográfica e das informações construtivas do telhado, gerados pelo Meteorm 7.3, são muito próximos aos dados gerados pelo SunData feito anteriormente na análise prévia. Na Figura 52 observa-se uma comparação das informações geradas. A Irradiação Solar Diária Média gerada pelo Meteorm 7.3 foi ligeiramente menor, de 4,64 kWh/m<sup>2</sup>.dia contra 4,69 kWh/m<sup>2</sup>.dia gerado pelo SunData.

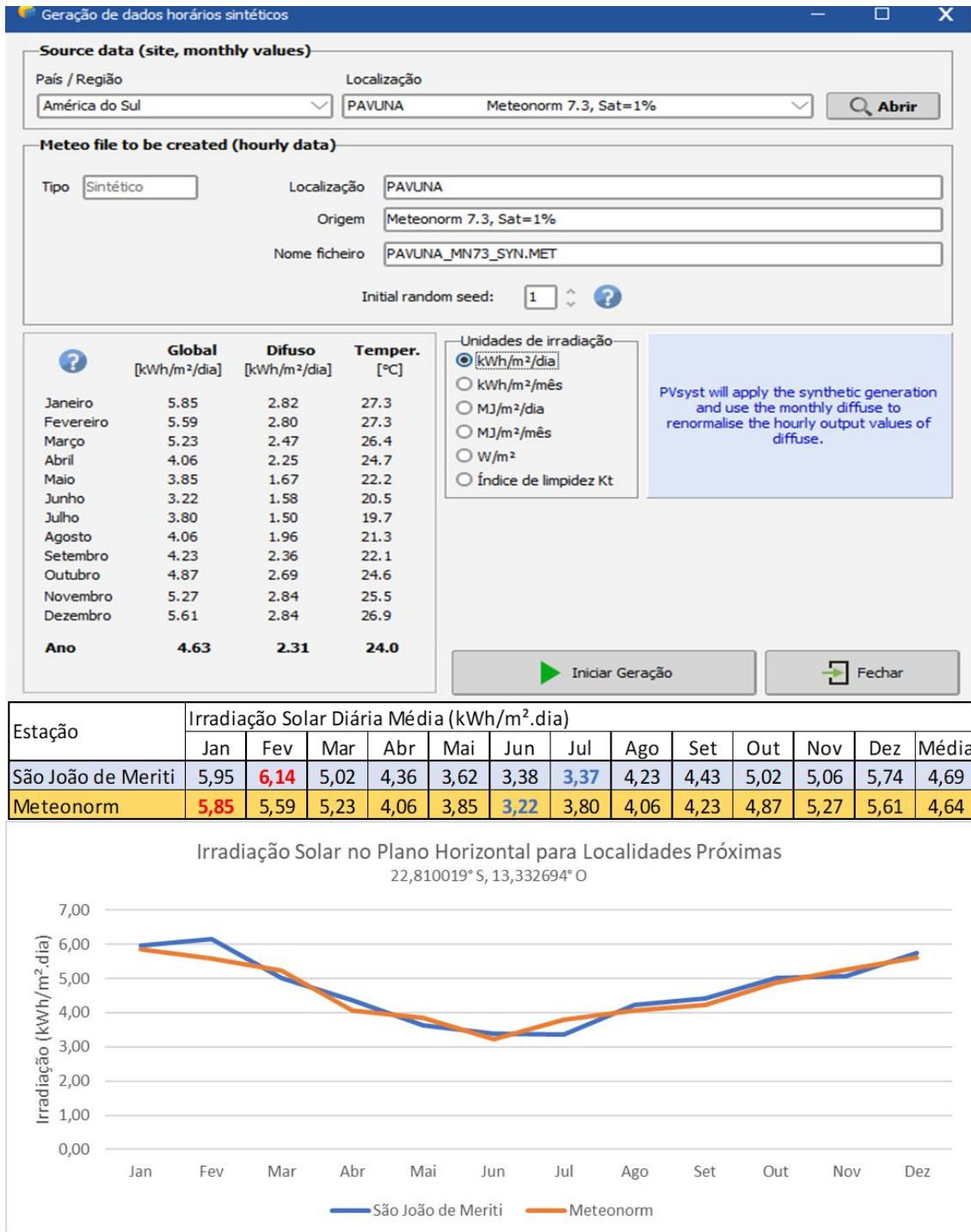


Figura 52: Comparação da Irradiação Solar Média feita pelo simulador (Meteonorm 7.3) e com os dados fornecidos pelo SunData em São João de Meriti anteriormente feitos na análise prévia:

Fonte: PVsyst 7.1 (2021)

Também são inseridas as informações construtivas da cobertura como o desvio azimutal e a inclinação do telhado, 31° e 4° respectivamente, conforme mostrado anteriormente na Figura 45. Como os módulos fotovoltaicos serão instalados nas duas “águas” do telhado, as duas orientações devem ser informadas

assim como cada desvio azimutal. Dois cuidados devem ser tomados nesta etapa. Primeiro, verificar a direção norte do simulador que nesta atualização do software está direcionada para baixo, e por consequência, ao informar o desvio azimutal, observar a posição correta da cobertura no simulador, para que na próxima etapa possa balancear corretamente a quantidade de placas em cada orientação do telhado. Esse cuidado é necessário pois as coordenadas geográficas do simulador, norte-sul, estão espelhadas. Assim, as duas “águas” do telhado foram inseridas no simulador conforme mostrado na Figura 53. A primeira “água” com inclinação do telhado de  $4^\circ$  e azimute de  $31^\circ$  e a segunda “água” com inclinação do telhado de  $4^\circ$  e azimute  $-149^\circ$ .

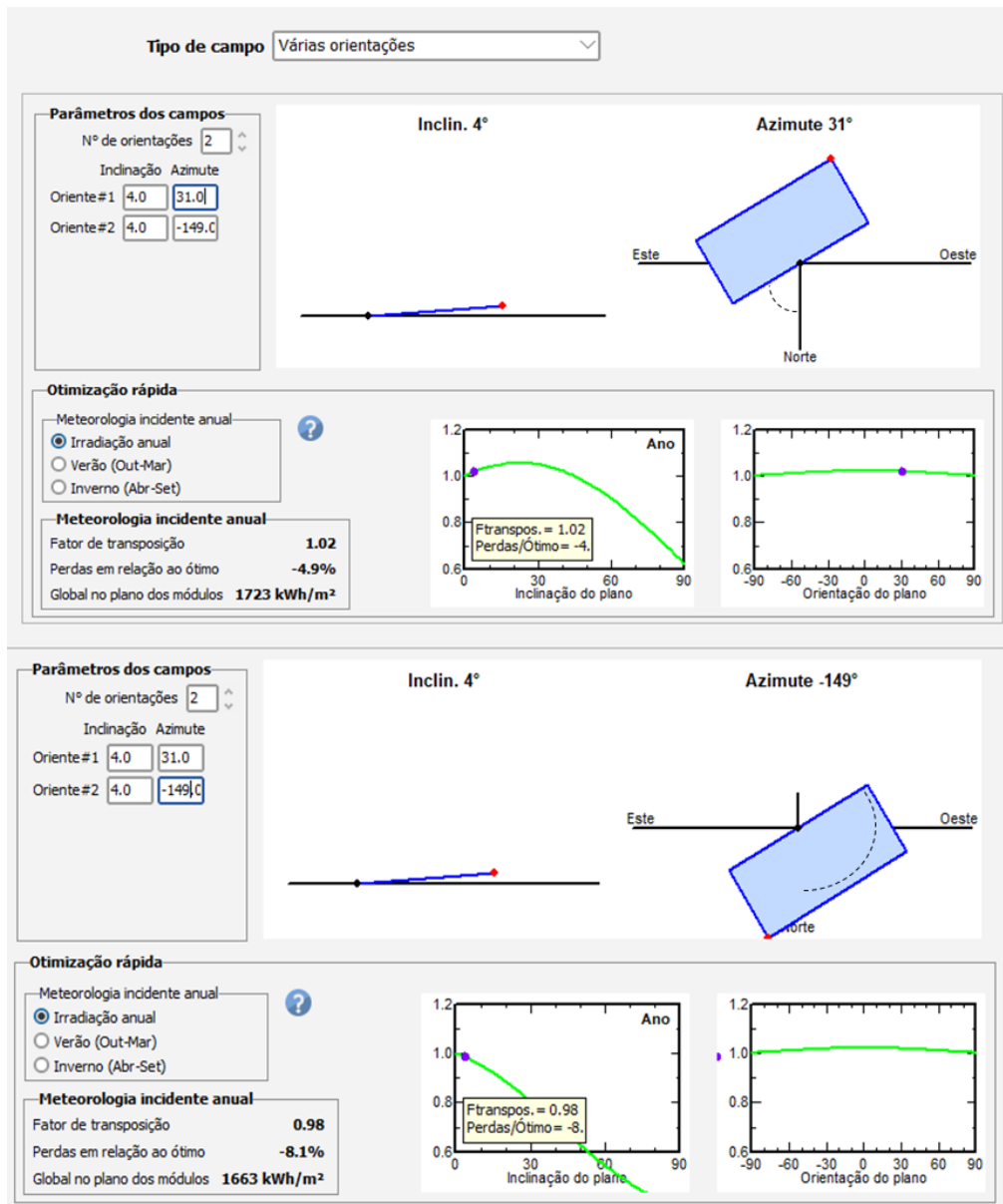


Figura 53: Inserção no simulador da inclinação e do desvio azimutal do telhado.

Fonte: PVsyst 7.1 (2021)

Nesta etapa, seria possível prever uma estrutura para correção da inclinação das placas posicionando-as à  $22^\circ$ , correspondendo a latitude do local de instalação, como mostrado na Figura 54, mas de acordo com Mateus Vinturini (2020), em artigo publicado na página eletrônica do canalsolar, o ganho financeiro de correção da inclinação é de 4,5% durante a vida útil dos módulos fotovoltaicos que é de 25 anos. Ao tempo presente, representa um ganho de 0,015%/mês. Comparado com outros investimentos, este ganho torna-se ínfimo, sendo apenas 10% do investimento financeiro mais popular do país, a caderneta de poupança, que foi de 0,12%/mês em média em 2020. Outro aspecto que deve ser levado em

consideração, desaconselhando sua instalação, é a respeito da segurança. A estrutura torna-se instável devido a ação do vento, podendo causar sérios danos à estanqueidade e estabilidade do telhado, podendo chegar ao arrancamento do sistema. Ainda de acordo com Vinturini, o ganho que o sistema apresenta aplicando a correção da inclinação é superado pelo acréscimo de 10% na quantidade de módulos instalados na inclinação do telhado, ressalvando que, para o caso estudado por Vinturini, a diferença de inclinação é de  $13^\circ$  em relação à inclinação ótima, e a diferença de inclinação para o telhado do armazém logístico em estudo, em relação a inclinação ótima, é de  $18,8^\circ$ .



Figura 54: Instalação de placas fotovoltaicas sobre estrutura auxiliar para correção da inclinação do telhado.

Fonte: Mateus Vinturini (2020)

Para definir os parâmetros do sistema, o simulador abre uma tela onde é possível escolher o modelo do módulo fotovoltaico, o modelo do inversor, e balancear a quantidade de placas conforme as orientações das “águas” do telhado como mostrado em destaque na Figura 55. Várias combinações são possíveis, orientadas pelo simulador, compatibilizando potências entre módulos e inversores.

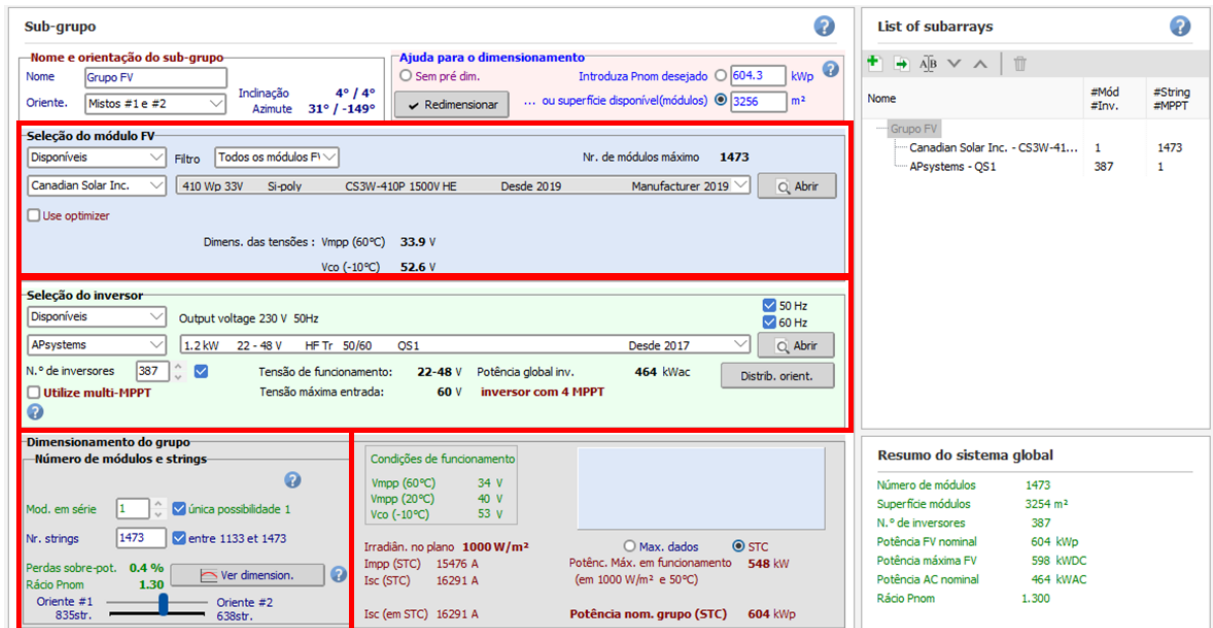


Figura 55: Tela no simulador onde é possível definir o módulo fotovoltaico, o inversor e fazer o balança dos módulos nas águas do telhado. Fonte: PVsyst 7.1 (2021)

Objetivando máxima potência de geração solar, na escolha dos módulos fotovoltaicos, apresentado na Figura 56, optou-se pelo módulo CS3W-410P fabricado pela Canadian Solar (2021) com 410 Wp de potência, comercializado na Mecatron Solar (2021) ao custo de R\$ 989,00/unidade e com as mesmas dimensões das projetadas na Figura 50, ocupando 3.254 m<sup>2</sup> do telhado, 41,48% da área total da cobertura do armazém, podendo instalar 1.473 módulos, 835 placas solares na orientação norte do telhado e 638 placas na orientação sul. O inversor<sup>44</sup> escolhido, na Figura 57, foi o QS1-1200W, fabricado pela APsystems e comercializado pela Casa Do MicroInversor (2021) com frequência de saída de 50/60Hz e um custo de R\$ 2.699,00/unidade podendo conectar até 4 módulos fotovoltaicos. Para o projeto serão necessários 387 inversores com potência de 1.200 W. Os preços dos equipamentos foram cotados em janeiro de 2021 e informados no simulador.

<sup>44</sup> Inversor - é o equipamento usado para converter a energia gerada pelos painéis solares, de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), possibilitando o uso da energia elétrica gerada pela energia solar fotovoltaica nos aparelhos elétricos comercializados.



Definição de um módulo FV

Dados de base | Dimensões e tecnologia | Parâmetros modelo | Dados adicionais | Comercial | Gráficos

Modelo: CS3W-410P 1500V HE | Fabricante: Canadian Solar Inc.  
 Nome ficheiro: Canadian\_CS3W\_410P\_1500V\_HE.PAN | Fonte dados: Manufacturer 2019 TUV-SUD data  
 Parâmetros definidos pelo utilizador | Prod. Since 2019

Potência nom. (em STC): 410.0 Wp | Tol. +/-: 0.0 1.2 %  
 Tecnologia: Si-poly

**Especificações do fabricante ou outras medidas**

Condições de referência	GRef	1000	W/m <sup>2</sup>	TRef	25	°C
Corrente de curto-circuito	Isc	11.060	A	Circuito aberto Vco	47.60	V
Ponto de potência máx.	Imp	10.490	A	Vmpp	39.10	V
Coeficiente de temperatura	muIsc	5.5	mA/°C	N.º células	72 x 2	
	ou muIsc	0.050	%/°C			

**Resumo do modelo**

**Parâmetros principais**

R paral.	350 Ω
Rparal(G=0)	2000 Ω
R série model	0.27 Ω
R série máx.	0.29 Ω
R série aparente	0.44 Ω

**Parâmetros modelo**

Gama	0.961
IoRef	0.03 nA
μVco	-147 mV/°C
muPMax fixo	-0.37 /°C

**Resultados do modelo interno**

Condições de funcionamento	GOper	1000	W/m <sup>2</sup>	TOper	25	°C
Ponto de potência máx.	Pmpp	410.2	W	Coef. de temperatura	-0.36	%/°C
Corrente	Imp	10.47	A	Tensão Vmpp	39.2	V
Corrente de curto-circuito	Isc	11.06	A	Circuito aberto Vco	47.6	V
Eficiência	/ Superf. células	20.67	%	/ Superf. módulo	18.57	%

Descrição: Canadian Solar Inc., CS3W-410P 1500V HE

**Módulo**

Comprimento	2108	mm
Largura	1048	mm
Espessura	40.0	mm
Peso	24.90	kg
Superf. módulo	2.209	m <sup>2</sup>

**Células**

Em série	72	
Em paralelo	2	
Superfície célula	137.8	cm <sup>2</sup>
N.º total de células	144	
Superfície células	1.984	m <sup>2</sup>

A definição do tamanho dos módulos é obrigatória: este dado será usado para determinar a eficiência "habitual".  
 A área das células é facultativa: se for definida, permite a definição da eficiência ao nível das células.

**Tensão máxima do grupo**

Tensão máxima absoluta, do grupo, em quaisquer condições (ou seja, Voc à temperatura ambiente mais baixa possível).

Tensão máxima IEC	1500	V
Tensão máxima UL (US)	1500	V

**Diódos by-pass de proteção**

Número de sub módulos: 3 /módulo  
 (i.e. funcional by-pass diodes)

Repartição sub módulos:

Em comprimento  Twin half cells  
 Em largura  Shingled cells

Módulo tipo telha  
 CPV: módulo de concentração  
 Módulo bifacial

**Tecnologia e especificidades do módulo**

Caixilho: Anodized aluminium alloy  
 Estrutura: 3.2mm Glass / EVA / Backsheet  
 Ligações: Cable, T4 series

Descrição: Canadian Solar Inc., CS3W-410P 1500V HE  
 Fabricante: www.canadiansolar.com  
 Observações:  
 Disponível no mercado desde: 2019 ... até à:

**Vendedores para este componente**

NEOSOLAR

Abrir | Juntar | Elim.

Data: 01/02/2021

**Preço**

por	peças	Preço unitário	BRL	BRL/watt
por	1	989.00	BRL	2.41 BRL/watt
por	0	0.00	BRL	0.00 BRL/watt
por	0	0.00	BRL	0.00 BRL/watt
por	0	0.00	BRL	0.00 BRL/watt

**Moeda**

BRL - Brazilian Real

Câmbios

Figura 56: Ficha Técnica do Painel Fotovoltaico escolhido no simulador.

Fonte: PVsyst 7.1 (2021)

Definição de um inversor para a rede

Parâmetros principais | Curva de eficiência | Parâmetros adicionais | Parâmetros de saída | Dimensões e tecnologia | Commercial data

Modelo: QS1 | Fabricante: APsystems  
 Nome ficheiro: APS\_QS1.OND | Fonte dos dados: Manufacturer 2018  
 Base de dados original do PVsyst | Prod. Since 2017

**Entrada (DC, Grupo FV)**

Tensão MPP mínima: 22 V  
 Tensão min. para Pnom: N/A V  
 Maximum current per MPPT: N/A A  
 Tensão MPP nominal: N/A V  
 Tensão MPP máxima: 48 V  
 Tensão FV máxima absoluta: 60 V  
 Limiar potência: 5.00 W

Especificações contratuais sem significado físico real: Obrigatório

Potência FV nominal: 1.20 kW  
 Potência máxima FV: N/A kW  
 Corrente máxima FV: N/A A

**Saída (Rede AC)**

Monofásica  | Trifásica  | Bifásica   
 Frequência: 50 Hz  | 60 Hz   
 Tensão da rede: 230 V  
 Potência AC nominal: 1.20 kW  
 Potência AC máxima: 1.30 kW  
 Corrente nominal AC: 5.22 A   
 Corrente máxima AC: N/A A

**Eficiência**

Eficiência máxima: 96.71%  
 Eficiência definida para 3 tensões

Descrição: **APsystems, QS1**  
 Fabricante: www.apsystems.com  
 Observações:  
 Disponível no mercado desde: 2017 ... até à:

**Vendedores para este componente**

CASA DO MICRO INVERSOR | Observações:  
 Abrir | Juntar | Elim.  
 Data: 02/02/2021

**Preço**

		Preço unitário		
por	1	pece	2699.0 BRL	2249.17 BRL/kW
por	0	peças	0.00 BRL	0.00 BRL/kW
por	0	peças	0.00 BRL	0.00 BRL/kW
por	0	peças	0.00 BRL	0.00 BRL/kW

**Moeda**

BRL - Brazilian Real  
 Câmbios

Figura 57: Ficha Técnica do inversor escolhido no simulador.

Fonte: PVsyst 7.1 (2021)

A próxima etapa é informar ao simulador o consumo elétrico do armazém. Nessa etapa é necessário verificar as informações na fatura de consumo emitida pela concessionária. O armazém em estudo está classificado como um consumidor de Classe A4 – Horo-Sazonal Verde, ou seja, consumidor de média tensão com tarifas diferenciadas de consumo dependendo da hora do consumo de energia e de uma única tarifa de demanda de potência.

Consumidores Classe A são faturados pela energia efetivamente consumida e uma potência máxima que é informada para a concessionária, e ficará à disposição do consumidor podendo ser consumida ou não, identificada como demanda contratada<sup>45</sup>. A energia consumida ainda é desmembrada em energia ativa<sup>46</sup> e energia reativa<sup>47</sup>, que ainda pode ser tarifada dependendo do horário de consumo, como o caso do armazém em estudo. Desta forma, a energia ativa ou reativa, podem ser consumidas em Horário de Ponta <sup>48</sup> (HP), que para a concessionária da Cidade do Rio de Janeiro vai de 17:30h até 20:30h, ou Horário Fora de Ponta <sup>49</sup> (HFP). Na Tabela 10, observa-se o consumo de energia ativa e reativa de acordo com a faixa horária de consumo a cada mês. Percebe-se que não há consumo de energia reativa em HFP, ou seja, durante o dia. O total anual de energia ativa em horário fora da ponta é de 186.200 kWh e de 22.850 kWh consumidos em horário de ponta.

Tabela 10: Consumo de energia ativa e reativa mensal do armazém logístico.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Consumo Energia Ativa HFP	16.196	15.811	16.597	16.209	16.823	16.082	13.005	17.797	12.445	15.249	14.082	15.904
Consumo Energia Ativa HP	1.165	1.345	1.905	1.946	2.063	2.224	2.832	2.374	1.740	2.065	1.557	1.634
Consumo Energia Reativa HFP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Consumo Energia Reativa HP	865	961	971	829	1.027	959	945	1.084	817	1.010	944	1.052

Fonte: Fatura da concessionária (2019)

<sup>45</sup> Demanda Contratada – Demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela concessionária ao consumidor, de acordo com valor a ser pago, independentemente de seu uso, e período de vigência, fixados em contrato, conforme Resolução Normativa 414 de 9 de setembro de 2010.

<sup>46</sup> Energia Ativa – parte da energia consumida que efetivamente realiza trabalho, ou seja, responsável pelo funcionamento de equipamentos elétricos e eletrônicos.

<sup>47</sup> Energia Reativa – parte da energia consumida responsável por manter um campo magnético necessário para o funcionamento de motores indutivos.

<sup>48</sup> Horário de Ponta - Ou “horário de pico”, é o período definido e composto pelas horas diárias consecutivas, durante o qual o consumo de energia elétrica tende a ser maior

<sup>49</sup> Horário Fora de Ponta - Compreende o período do dia onde o consumo de energia elétrica é mais baixo.

De acordo com a Resolução Normativa 687 (ANEEL, 2015), a compensação de energia elétrica gerada é permitida onde a energia ativa injetada na rede é “cedida por meio de empréstimo gratuito à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa” (ANEEL, 2015). Desta forma, a energia solar gerada deverá ser compensada no consumo de energia ativa.

Para consumidores que dispõem de tarifa horária, a energia injetada na rede pelo sistema fotovoltaico deve ser utilizada, prioritariamente, para abater o consumo mensal no mesmo horário de consumo, “da ponta” ou “fora da ponta”. Como a energia solar é gerada durante o dia, deve ser compensada no consumo de energia ativa em horário fora da ponta. Caso haja sobra, esse saldo poderá ser utilizado para reduzir o consumo no outro horário tarifário, após a aplicação de um fator de ajuste, uma vez que a valor tarifário é diferenciado. Esse fator de ajuste tarifário (FA) é a relação entre a tarifa de energia no horário onde a energia solar é gerada e a tarifa de energia onde se quer compensar. Como a geração de energia acontece durante o dia, ou seja, em horário fora da ponta, a relação é expressa pela equação (ANEEL, 2016):

$$FA = \frac{TEFP}{TEP} \quad (2)$$

Onde:

FA = Fator de Ajuste

TEFP = Tarifa de Energia Fora da Ponta

TEP = Tarifa de Energia na Ponta

De acordo com a fatura do armazém estudado fornecida pela concessionária, a tarifa de energia ativa fora de ponta (TEFP) é de R\$ 0,627320338/kWh e a tarifa de energia ativa de ponta é R\$ 2,09207495/kWh consumido, sendo calculado o fator de ajuste em 0,296487. Desta forma, a energia produzida pelo sistema fotovoltaico que compensará toda a energia consumida pelo armazém será a soma da energia ativa nos dois horários, “fora da ponta” e “de ponta” aplicado o fator de ajuste.

A energia consumida mensal que será compensada pelo sistema fotovoltaico é apresentada na Figura 58 já com o fator de ajuste aplicado ao consumo de energia ativa no horário de ponta, apresentando uma média de consumo elétrico de 21.939 kWh/mês e total no ano de 263.268 kWh a serem compensados pelo sistema solar.

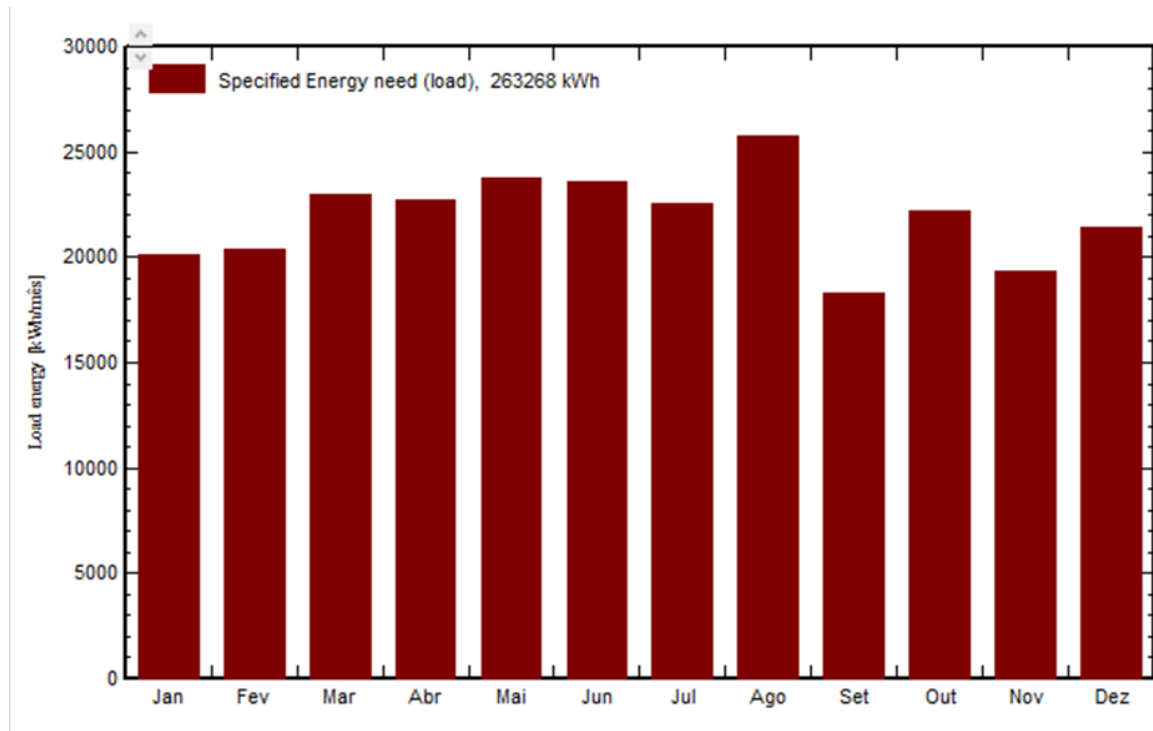


Figura 58: Consumo de energia ativa do armazém com dados fornecidos pela concessionária utilizando o fator de ajuste para o consumo de ponta.

Fonte: PVsyst 7.1 (2021)

Com essas configurações, o sistema é capaz de gerar uma potência nominal, informada pelo simulador, de 604,3 kWp para os 1.473 módulos solares de 410 Wp cada. Essa capacidade de geração classifica o armazém, conforme a Resolução Normativa 687 da ANEEL (2015), como uma usina de minigeração de energia solar distribuída, que são os sistemas fotovoltaicos com potência instalada maior que 75 kW e igual ou inferior à 5.000 kW.

Feita a simulação, a Figura 59 mostra o resultado da estimativa de geração de energia mês a mês para o primeiro ano de geração fotovoltaica. O simulador indica uma produção de energia útil de 3,83 kWh/kWp/dia. As perdas por absorção,

0,66 kWh/kWp/dia, são perdas de energia que acontecem antes da conversão da irradiação para energia elétrica e as perdas do sistema, 0,15 kWh/kWp/dia, são as perdas elétricas que acontecem na geração de energia, detalhadas na Figura 60. As perdas totais somam, portanto, 0,81 kWh/kWp/dia, apresentando um índice de performance de 82,54%.

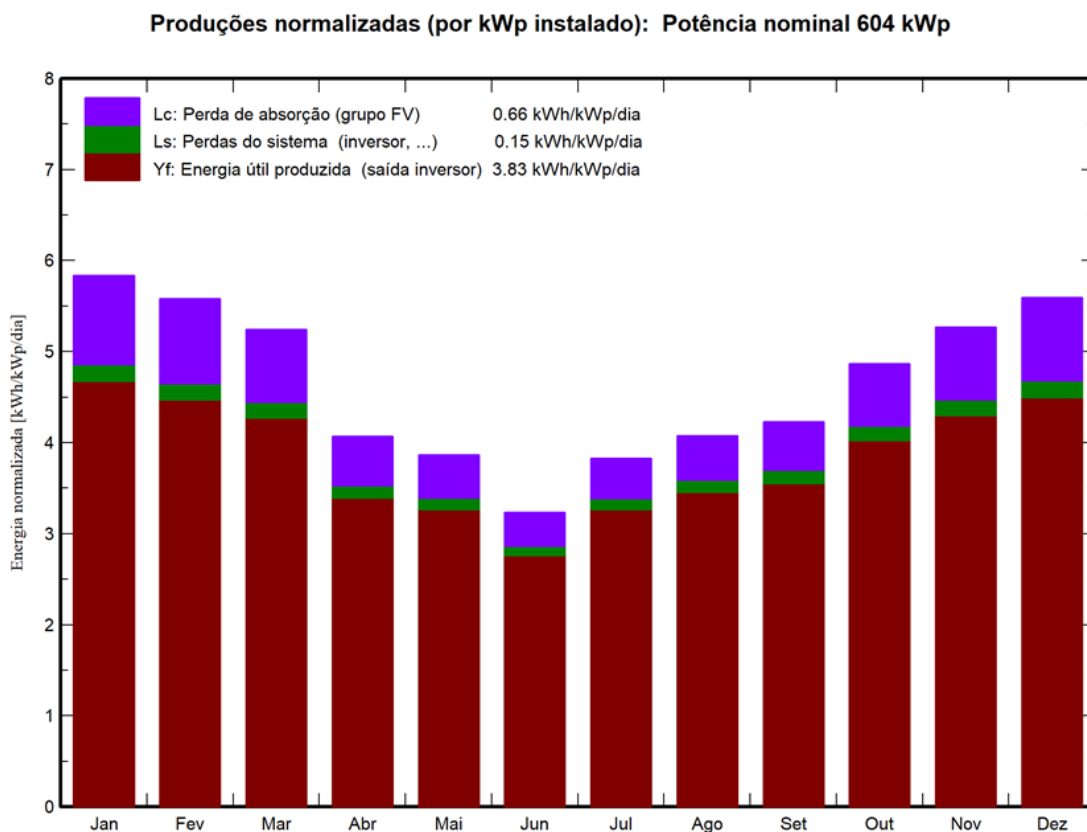


Figura 59: Produção de energia normalizada (por kWp instalado).

Fonte PVsyst 7.1 (2021)

A Figura 60 mostra a eficiência do sistema mês a mês, apresentando pouca variação, mas sendo possível observar que devido a menores temperaturas no inverno nos meses de junho e julho, o índice de performance chega a 85,4%.

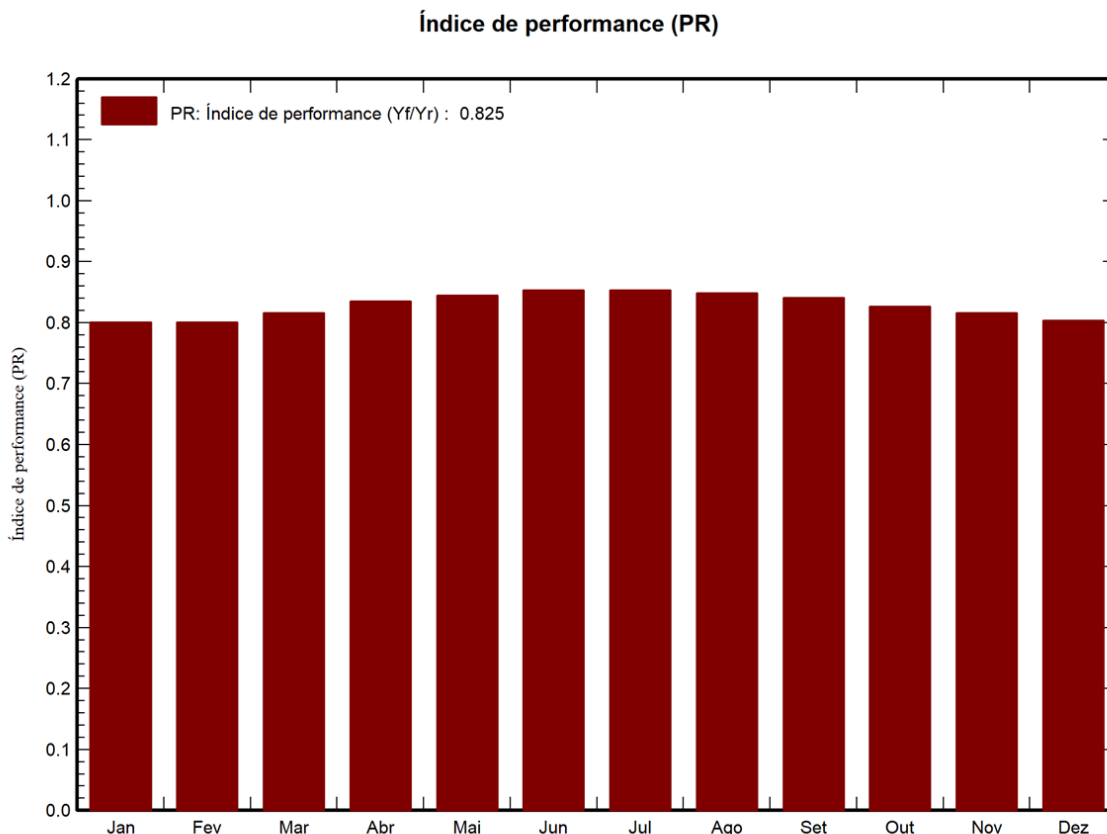


Figura 60: índice de Performance (eficiência do sistema).

Fonte: PVsyst 7.1 (2021)

As perdas detalhadas do sistema são apresentadas na Figura 61, onde se destaca a perda de energia devido a temperatura de 8,9%. O sistema resulta na geração de energia fotovoltaica útil de 843.785 kWh/ano. Não foram consideradas perdas devido a sombras, pois as regiões que concentram armazéns logísticos possuem características construtivas semelhantes, com altura de telhado variando de 10 a 15 metros, com pequena inclinação, que varia de 4° a 7°. No armazém objeto de estudo não existem equipamentos urbanos ou imóveis que possam produzir sombras nas placas solares. Desta forma, foram dispensadas as configurações em 3D do simulador para verificação dessas variáveis.

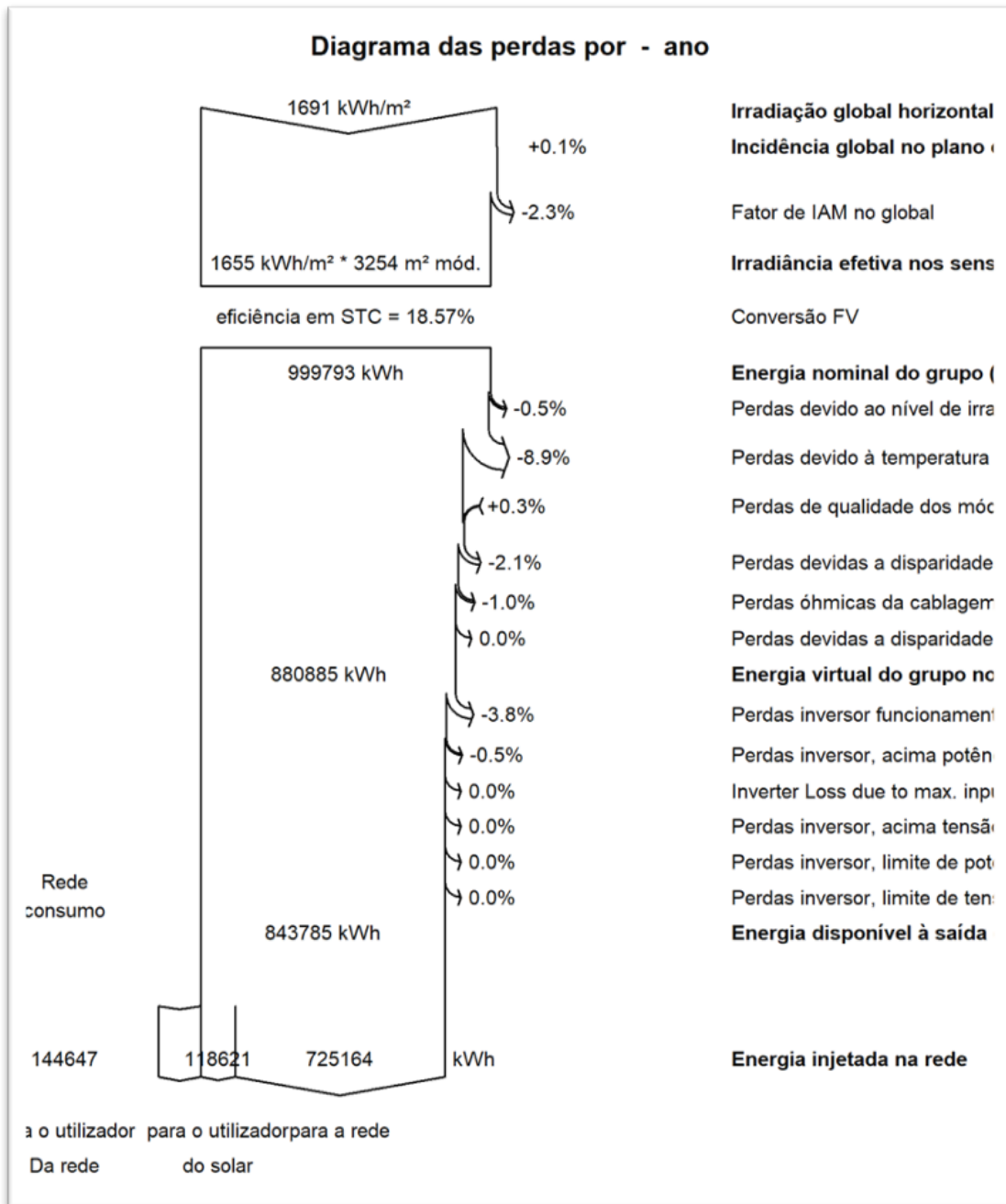


Figura 61: Diagrama de perdas por ano.

Fonte: PVsyst 7.1 (2021)

A Tabela 11 detalha a energia gerada mensal média a cada hora. Pode-se observar que o sistema fotovoltaico possui maior capacidade de geração de energia entre 10h e 13h, com a maior geração as 10h do mês de janeiro, com 10.801 kWh gerados. Os meses de janeiro, outubro, novembro e dezembro começam a gerar energia às 5h e nos meses de junho e julho começam a gerar energia a partir das 7h. Para esses meses (junho e julho) e o mês de maio, o sistema termina a geração



de energia as 17h e finaliza a geração de energia as 18h nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro.

Tabela 11: Energia gerada pelo sistema fotovoltaico mensal por hora (kWh).

Horário	5H	6H	7H	8H	9H	10H	11H	12H	13H	14H	15H	16H	17H	18H
Janeiro	21	2.025	5.222	8.231	9.966	10.801	10.193	10.025	9.375	8.521	6.704	4.517	1.873	37
Fevereiro	0	1.143	3.814	6.267	8.280	9.606	9.082	9.042	8.793	7.846	6.228	3.854	1.623	20
Março	0	609	3.943	6.807	9.004	10.562	10.596	10.281	9.507	8.094	6.296	3.533	823	0
Abril	0	160	2.901	5.483	7.521	8.736	8.538	8.119	7.717	6.158	4.360	1.807	34	0
Mai	0	19	2.193	5.021	7.070	8.517	9.018	9.023	8.052	6.542	4.278	1.461	0	0
Junho	0	0	1.576	3.831	6.005	7.226	7.380	7.277	6.860	5.521	3.365	1.001	0	0
Julho	0	0	1.583	4.385	6.802	8.486	9.597	9.328	8.399	6.800	4.239	1.524	0	0
Agosto	0	56	2.312	4.914	6.934	8.385	9.274	9.382	8.914	7.518	5.009	2.080	22	0
Setembro	0	801	3.263	5.694	7.746	8.953	9.065	8.537	7.769	6.346	4.273	1.933	54	0
Outubro	55	2.132	4.706	6.509	7.940	8.726	9.181	9.769	9.579	8.039	5.688	2.810	218	0
Novembro	180	2.475	4.635	6.880	8.453	10.108	9.876	9.150	8.515	7.469	5.730	3.443	989	0
Dezembro	184	2.701	5.576	7.953	9.298	10.334	9.745	9.503	9.040	7.746	6.318	4.169	1.647	11
Ano	440	12.119	41.724	71.975	95.018	110.440	111.545	109.435	102.520	86.599	62.488	32.131	7.283	68

Fonte: PVsyst 7.1 adaptado pelo Autor (2021)

A tabela 12, que é parte do relatório emitido pelo PVsyst 7.1, mostra que, para o primeiro ano de geração de energia solar, dos 186.200 kWh/ano consumidos de energia ativa fora da ponta, 118.621 kWh/ano são consumidos direto do sistema solar e 725.164 kWh/ano são injetados na rede. Da energia injetada na rede, 144.647 kWh/ano são usados para compensação na fatura de energia. Desta forma ainda existe um excedente que poderá ser distribuída a outros consumidores de 580.517 kWh/ano, ou 48.376 kWh/mês.

Tabela 12: Tabela do Relatório de Resultados Principais do Simulador



PVsyst V7.1.4

VC0, Data da simulação: 18/02/21 18:42  
com v7.1.4

Projeto: PEU6

Variante: Nova variante da simulação

## Resultados principais

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid	
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
<b>Produção do sistema</b>							Produção específica		1397 kWh/kWp/ano		
Energia produzida	843.8 MWh/ano						Índice de performance (PR)		82.53 %		
							Fração solar		45.06 %		
Janeiro	181.3	87.40	27.25	180.9	177.5	91018	20125	9966	77544	10159	
Fevereiro	156.4	78.40	27.34	156.3	153.1	78588	20347	10101	65496	10246	
Março	162.2	76.50	26.42	162.5	159.1	83251	23022	10730	69324	12292	
Abril	121.8	67.40	24.66	122.0	119.1	63938	22773	9562	51971	13211	
Mai	119.3	51.70	22.22	119.9	116.5	63523	23781	9862	51331	13919	
Junho	96.5	47.40	20.50	97.1	93.9	51956	23583	9517	40525	14066	
Julho	117.8	46.60	19.71	118.6	115.0	63439	22557	9317	51827	13240	
Agosto	125.9	60.90	21.28	126.4	123.2	67280	25804	10716	54081	15088	
Setembro	126.8	70.70	22.14	126.9	124.1	66988	18314	8173	56261	10141	
Outubro	150.9	83.40	24.61	150.9	147.9	78357	22214	10320	65033	11894	
Novembro	158.2	85.20	25.51	158.1	155.0	81059	19333	9610	68293	9723	
Dezembro	173.8	88.10	26.91	173.4	170.2	87622	21415	10747	73477	10668	
Ano	1690.9	843.70	24.03	1692.9	1654.6	877018	263268	118621	725164	144647	

## Legendas

GlobHor Irradiação global horizontal

DiffHor Irradiação difusa horizontal

T\_Amb Temperatura ambiente

GlobInc Incidência global no plano dos sensores

GlobEff Global efetivo, corrigido para IAM e sombras

EArray Energia efetiva à saída do grupo

E\_User Energia fornecida ao consumidor

E\_Solar Energy from the sun

E\_Grid Energia injetada na rede

EFrGrid Energy from the grid

Fonte: PVsyst 7.1 (2021)

Ainda há que se considerar a perda por desgaste natural do sistema. Para os anos seguintes, até o ano 25 que é o tempo de garantia dos módulos fotovoltaicos, o simulador considera uma perda que corresponde a degradação do sistema de 0,8%/ano em média, reduzindo a produção de energia anualmente como mostrado na Figura 62. Desta forma, ao final de 25 anos, a geração de energia fotovoltaica útil será de 715.698 kWh/ano. Considerando a energia consumida do sistema solar e a energia compensada na rede, 118.621 kWh/ano e 144.647 kWh/ano respectivamente, constantes ao longo dos 25 anos, a energia excedente a ser distribuída terá uma redução de 128.087 kWh, distribuindo 452.430 kWh no 25º ano de produção, ou 37.702 kWh/mês.

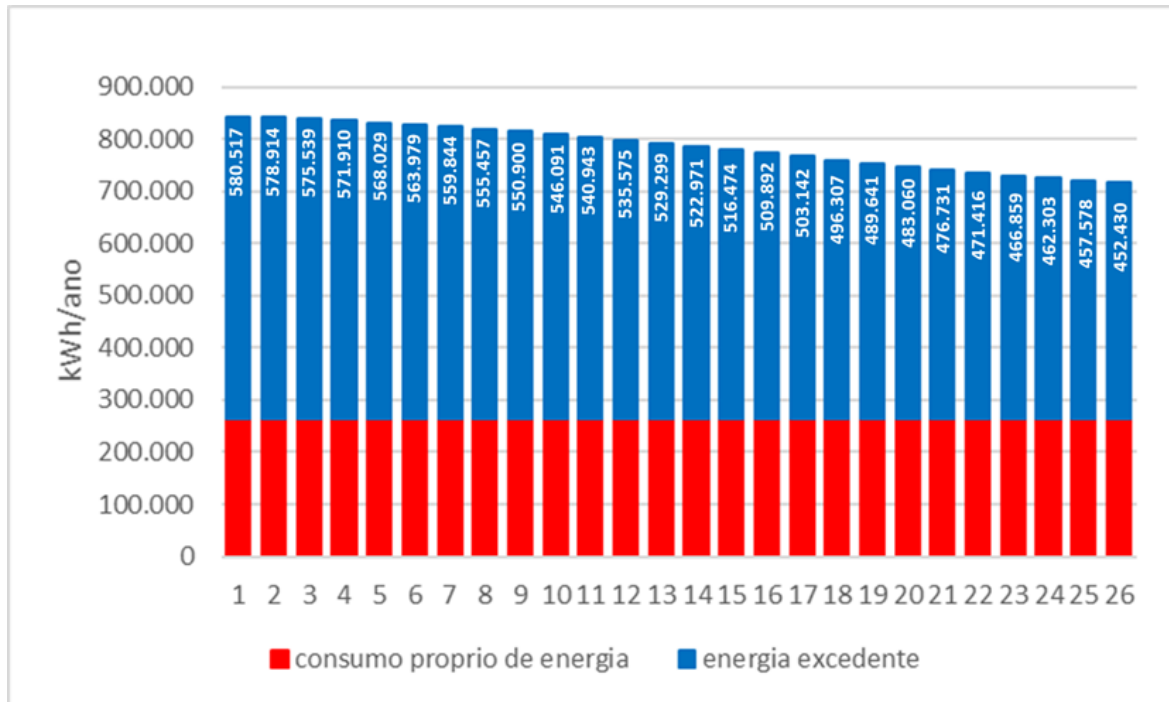


Figura 62: Consumo e energia gerada ao longo da vida útil do sistema.

Fonte: PVsyst 7.1 adaptado pelo Autor (2021)

#### 4.5. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA USINA SOLAR URBANA.

A cadeia da energia elétrica abrange três atividades principais também sob o ponto de vista econômico: geração, transmissão e distribuição, definidas pelo Decreto 41.019/57 (BRASIL, 1957). Na década de 1990, através do Decreto 9.648/98 (BRASIL, 1998), surge a figura do agente comercializador de energia, exercendo a atividade de compra e venda de energia elétrica na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica<sup>50</sup> (CCEE), e atuando na negociação do lastro de empreendimentos de geração de energia elétrica através de contratos entre geradores e consumidores.

Para determinar a viabilidade econômica da miniusina de geração solar fotovoltaica, no armazém logístico, foram levantados os custos relacionados a implantação do empreendimento que abrange três custos principais: custos para o

<sup>50</sup> Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – Responsável pela operação do mercado de energia elétrica do país, atua na evolução do segmento de comercialização, pautado pela neutralidade, liquidez e simetria de informações. é responsável por promover os leilões de compra e venda de energia, assim como gerenciar os contratos firmados nesses leilões, contabilizando mensalmente as operações de compra e venda de energia elétrica.

investimento inicial, custos de operação e custos financeiros. Também foi avaliada uma linha de financiamento para o projeto e ainda as tarifas de consumo elétrico praticadas pela concessionária.

Os custos do investimento inicial, conhecidos como CAPEX (*capital expenditure*, ou despesas de capital), representam os investimentos ou desembolsos em bens de capital, como equipamentos, materiais e serviços, entre outros. O CAPEX está dividido em quatro grupos: custo de aquisição dos módulos fotovoltaicos, custos de aquisição dos inversores, custos de aquisição dos demais componentes, como fios, cabos e disjuntores, sistemas de proteção e sistema de fixação e suporte, conhecido como BoS (*Balance of System*), e ainda os custos de instalação, abrangendo projetos e mão de obra.

Na Tabela 13, estão relacionados os custos CAPEX, totalizando R\$ 4.096.662,00, ou R\$ 1.258,19/m<sup>2</sup> de área de telhado com placas solares. Observa-se a importância dos módulos fotovoltaicos e dos inversores no custo total CAPEX, totalizando 61,06%.

Tabela 13: Custo CAPEX (*Capital Expenditure* ou despesas de capital)

CAPEX	R\$	R\$/Wp	R\$/m <sup>2</sup>	%
MODULO	1.456.797,00	2,41	447,42	35,56%
INVERSORES	1.044.513,00	1,73	320,80	25,50%
BOS	1.003.138,00	1,66	308,09	24,49%
INSTALAÇÃO	592.214,00	0,98	181,88	14,46%
<b>TOTAL</b>	<b>4.096.662,00</b>	<b>6,78</b>	<b>1.258,19</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autor (2021)

No caso do Armazém em estudo, ainda é preciso acrescentar ao CAPEX, os custos de aumento de carga e de demanda. Armazéns Logísticos possuem características particulares e semelhantes, que os tornam singulares e os candidatam a serem usinas solares. Possuem grandes áreas de telhado e baixo consumo elétrico proporcional a área ocupada do imóvel. Contudo, por essas características, será necessário trocar o transformador existente com capacidade de 150 kVA instalado no poste, como pode ser visto na Figura 63, por um transformador com capacidade de 750 kVA (600 kW) para suprir a energia gerada de 604,30 kWp,

e injetada na rede, no primeiro ano, de 580,517 kWh (ver Figura 62) e também alterar o contrato com a concessionária para aumentar a demanda contratada de 100 kW para 600 kW.

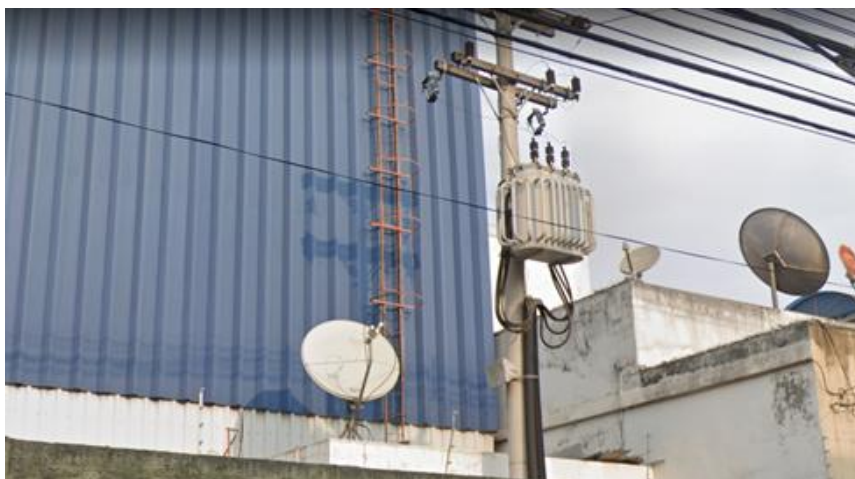


Figura 63: Transformador instalado no poste dentro do imóvel para atender ao objeto de estudo.

Fonte: Autor - foto de arquivo (2010)

Desta forma, foram estimados os custos de aquisição e instalação do transformador, a construção de abrigo para o mesmo, e a contratação de serviços para o tramite junto a concessionária referente à sua instalação e ao aumento de demanda contratada, totalizando o valor de R\$ 110.000,00. Os custos finais de implantação do sistema fotovoltaico, apresentado na Tabela 14, é de R\$ 4.206.662,00, ou R\$ 1.291,91/m<sup>2</sup> de área de telhado com placas solares.

Tabela 14: Custo do Investimento Inicial Total

<b>Invest Inic</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$/Wp</b>	<b>R\$/m<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
CAPEX	4.096.662,00	6,78	1258,19	97,39%
OUTROS	110.000,00	0,18	33,78	2,69%
<b>TOTAL</b>	<b>4.206.662,00</b>	<b>6,96</b>	<b>1.291,97</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autor (2021)

Uma análise estrutural do telhado também precisa ser feita, para verificar o estado da estrutura que vai receber a sistema fotovoltaico. A princípio, Armazéns Logísticos possuem estrutura metálica para a cobertura e seguem a norma NBR

8800 (Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios), e no Anexo B, alínea B5 da referida norma, que trata das sobrecargas em coberturas, diz que:

“Nas coberturas comuns (telhados), na ausência de especificação mais rigorosa, deve ser prevista uma sobrecarga característica mínima de  $0,25 \text{ kN/m}^2$ , em projeção horizontal. Admite-se que essa sobrecarga englobe as cargas decorrentes de instalações elétricas e hidráulicas, de isolamento térmico e acústico e de pequenas peças eventualmente fixadas na cobertura, até um limite superior de  $0,05 \text{ kN/m}^2$ ”. (NBR 8800, 2008)

De acordo com a Canadian Solar (2021), cada módulo fotovoltaico pesa  $24,9 \text{ kg}$ , ou seja  $11,27 \text{ kg/m}^2$ . Acrescentando a estrutura de fixação em alumínio mais fios e cabos necessários, o sistema instalado sobre a cobertura pode chegar a  $15 \text{ kg/m}^2$ , abaixo da sobrecarga mínima adotada pela norma NBR8800 que é de  $25,49 \text{ kg/m}^2$ . Contudo, ainda é importante verificar quais outros componentes já estão instalados na cobertura para que o peso total não ultrapasse a sobrecarga indicada.

Para o armazém logístico em estudo, existem apenas fios e luminárias instaladas no telhado que chegam a  $2,5 \text{ kg/m}^2$  e que somados ao sistema solar pesam  $17,5 \text{ kg/m}^2$ , dentro do limite de sobrecarga mínima exigido pela norma. Portanto, não foram considerados reforços estruturais para o telhado.

Além dos custos do investimento inicial, CAPEX, é necessário conhecer os custos de operação do sistema depois que estiver operando. Conhecido como OPEX (*operational expenditure*), seus custos se relacionam à manutenção de equipamentos, gasto de consumíveis e as despesas operacionais, envolvendo também serviços terceirizados. Isso significa que esse tipo de desembolso é realizado ao longo da vida útil do sistema.

Nos custos de manutenção, foram incluídos a limpeza anual das placas solares, a troca eventual de algum componente por avaria, e uma manutenção preventiva das instalações que poderá ser realizada aproveitando-se do efetivo existente no armazém. Para os custos de operação, foram previstos basicamente um acompanhamento administrativo do sistema sendo utilizada a própria estrutura administrativa já existente. Não foi considerado a troca dos inversores, que a maioria dos fabricantes considera necessária com 10 anos de operação contínua, pois os

inversores escolhidos da APsystems (CASA DO MICROINVERSOR, 2021) possuem garantia de 25 anos, a mesma dada às placas solares, respeitada a perda de eficiência ao longo dos anos. O custo estimado de operação foi de R\$ 48.344,00/ano, ou R\$ 0,08/Wp.ano.

Os custos financeiros são representados pelo índice de inflação e juros pagos à financiamentos externos. Para o índice de inflação, o Banco Central do Brasil (2021), através do relatório Forbes-Relatório de Mercado, projeta um índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) médio de 2021 à 2024 de 3,71% aa. Esse índice foi usado como índice de inflação médio aplicado durante a vida útil do sistema fotovoltaico para o reajuste anual do custo OPEX e das tarifas de energia adotadas. Parte do capital inicial a ser investido será captado através de agente financeiro.

Algumas linhas de financiamento estão disponíveis no mercado, em instituições públicas e privadas, para financiamento de projetos vinculados ao meio ambiente e energias renováveis. A linha de financiamento escolhida para a análise da viabilidade econômica do sistema solar foi o Programa Fundo Clima do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). O programa apoia “projetos relacionados à redução de emissões de gases do efeito estufa e à adaptação às mudanças do clima” (BNDES, 2021) que incentivem o aumento da sustentabilidade das cidades e reduza o consumo de energia, através do apoio a geração e distribuição de energias renováveis a partir de diversas fontes, incluindo a captura de radiação solar.

O Programa Fundo Clima (BNDES, 2021) financia até 80% do valor total investido com prazo de pagamento de até 16 anos. A taxa de juros cobrada nas operações indiretas, por intermédio de agente financeiro, é composta pelo custo financeiro, pela taxa do BNDES e pela taxa do agente financeiro como visto na Figura 64. Para o cálculo da taxa de juros foi utilizada a equação:

$$\text{Taxa Juros} = [ (1 + \text{CF}) \times (1 + \text{Tx BNDES}) \times (1 + \text{Tx AF}) ] - 1 \quad (3)$$

Onde:

CF = Custo Financeiro de 1% aa

Tx BNDES = Taxa cobrada pelo BNDES de 0,9% aa para receita até R\$ 90 milhões.

Tx AF = Taxa do Agente Financeiro de 3,0% aa

Desta forma, a taxa de juros calculada para o financiamento do sistema solar é de 4,97% ao ano.

Custo financeiro	Taxa do BNDES	Taxa do Agente Financeiro
1,0% ao ano	0,9% ou 1,4% ao ano*	até 3,0% ao ano

\* Beneficiários com Receita Operacional Bruta de até R\$ 90 milhões: 0,9% ao ano;  
Beneficiários com Receita Operacional Bruta acima de R\$ 90 milhões: 1,4% ao ano.

Figura 64: Composição da taxa de juros cobrada pela BNDES no Programa Fundo Clima - Referência a fevereiro de 2021.

Fonte BNDES (2021)

Para calcular o desconto obtido na fatura de energia com a geração solar e a receita com a energia excedente injetada e distribuída na rede, faz-se necessária a análise das tarifas praticadas pela concessionária.

De acordo com a Light Serviços de Eletricidade (Light SESA<sup>51</sup>), a concessionária de distribuição de energia elétrica da cidade do Rio de Janeiro, na fatura de energia estão embutidos todos os custos da energia desde a geração até o consumidor final, incluindo os tributos federal e estadual, os encargos setoriais<sup>52</sup> e as receitas não pagas, irrecuperáveis, acrescidas da iluminação pública (tributo municipal). Na Figura 65, pode-se observar a composição tarifária média da fatura de energia praticada. Ainda de acordo com a Light SESA (2021), do valor arrecadado, a concessionária de energia recebe 16,5% pela distribuição de energia aos consumidores finais, cabendo a geração e a transmissão, 32,7% e 5,9% respectivamente.

<sup>51</sup> Light SESA - é uma das cinco empresas do Grupo Light – formado também pela Light Energia, a Light Soluções, a Light Esco e a Light Com. Distribui energia elétrica para 4 milhões de clientes, em 31 municípios do Estado do Rio de Janeiro

<sup>52</sup> Encargos Setoriais - são valores pagos pelos consumidores na conta de energia elétrica e cobrados por determinação legal para financiar o desenvolvimento do Setor Elétrico Brasileiro e as políticas energéticas do Governo Federal, como a ONS, o Proinfa, o P%D (Pesquisa e Desenvolvimento em Eficiência Energética) entre outros.



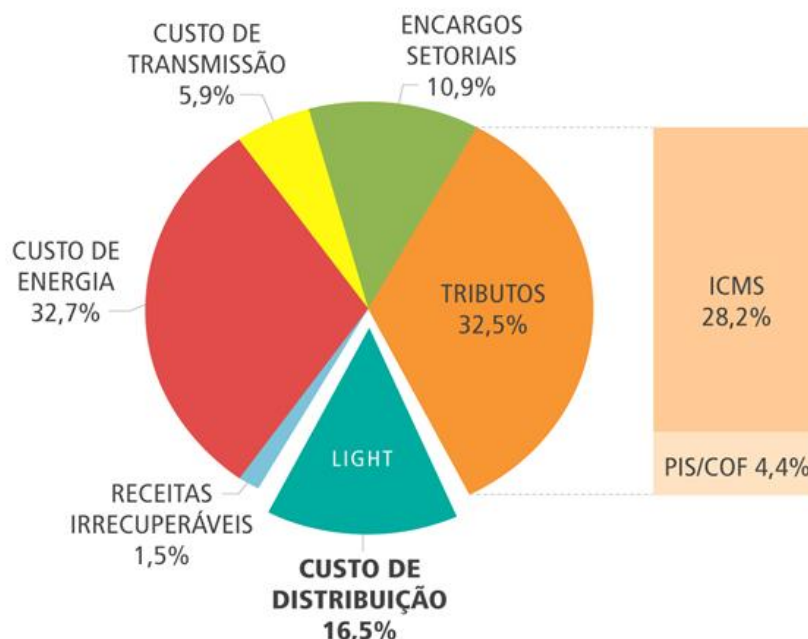


Figura 65: Composição Tarifária da energia elétrica para as Regiões do Rio de Janeiro atendidas pela Light SESA.

Fonte: Light SESA (2021)

Receitas irrecuperáveis, é a parcela esperada da receita total faturada pela concessionária que tem baixa expectativa de arrecadação a longo prazo em função da inadimplência por parte dos consumidores. Segundo a Light SESA (2021), esse custo é distribuído pelos consumidores que pagam em média o correspondente a 1,5% da fatura de energia para compensar esse custo. Segundo a ANEEL (2021), em 2019, 16,49% das faturas na área atendida pela Light SESA não haviam sido pagas até dezembro daquele ano. No setor residencial e comercial, a inadimplência foi de 21,90% e 8,18% respectivamente.

Os valores tarifários são divididos em dois grupos. O Grupo Tarifário A, é formado por clientes que tem fornecimento de energia, em tensão, igual ou superior a 2,3 kV, como é o caso do armazém logístico estudado que está classificado como Classe A4 – Horo-Sazonal Verde, como visto anteriormente, e o Grupo Tarifário B

que inclui unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV<sup>53</sup> (baixa tensão), como o caso de consumidores residenciais.

As tarifas de energia elétrica usadas para a análise de viabilidade estão dispostas na Tabela 15 (Tarifa Classe A4 – Verde) e na Tabela 16 (Tarifa Residencial). Os valores de energia consumida pelo armazém, são baseadas nas tarifas referentes a Classe A4 Horo-Sazonal Verde de R\$ 18,39/kW para a demanda, R\$ 1.425,34/mWh (1,42534/kWh) para a energia consumida na Ponta e R\$ 417,60/mWh (0,4176/kWh) para a anergia consumida Fora de Ponta. Para os valores tarifários atribuídos a geração solar consumida no armazém, foi considerada a tarifa Fora de Ponta de R\$ 417,60/mWh (0,4176/kWh), uma vez que é o período tarifário da energia fotovoltaica gerada. Importante ressaltar que esses valores estão isentos de impostos federais e estaduais, como informa a Light SESA (2021), e deverão ser corrigidos.

Tabela 15 Valores tarifários referente a fevereiro de 2021 – Classe A4 - Verde

TARIFA DE MÉDIA TENSÃO - ESTUTURA HORO-SAZONAL VERDE - Fevereiro/2021									
Nível de Tensão	Demanda R\$/kW			Consumo R\$/mWh					
	TUSD + TE	TUSD	TE	Ponta			Fora Ponta		
				TUSD + TE	TUSD	TE	TUSD + TE	TUSD	TE
A4 (2,3 a 25kV)	<b>18,39</b>	18,39	0	<b>1.425,34</b>	966,11	459,23	<b>417,6</b>	139,81	277,81
(*) Tarifas sem incidência de ICMS, PIS e COFINS									

Fonte: Light SESA (2021)

Para o cálculo da receita proveniente do excesso de energia gerada e injetada na rede, foi usada, como base, a média da tarifa social<sup>54</sup> residencial para um consumo de até 220kWh/mês de R\$ 0,541623/kWh, calculado respeitando as faixas de consumo e seus correspondentes tarifários mostrados na Tabela 16.

<sup>53</sup> De acordo com a Light SESA (2021), o Grupo Tarifário B também atende alguns consumidores específicos com fornecimento de energia em tensão superior a 2,3 kV.

<sup>54</sup> Tarifa Social - Criada pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, e regulamentada pela Lei nº 12.212 de 20 de janeiro de 2010, e pelo Decreto nº 7.583, de 13 de outubro de 2011, a Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE) concede descontos na conta de luz para famílias de baixa renda (Família inscrita no Cadastro Único para Programas Sociais do Governo Federal, Idosos com 65 (sessenta e cinco) anos ou mais ou pessoas com deficiência, que recebam o Benefício de Prestação Continuada da Assistência Social, Família inscrita no Cadastro Único com renda mensal de até 3 (três) salários mínimos, que tenha portador de doença ou deficiência, cujo tratamento, procedimento médico ou terapêutico demandem consumo de energia elétrica em uso continuado. A solicitação desse benefício deve ser feita diretamente à distribuidora de energia.

Tabela 16: Valores tarifários referente a fevereiro de 2021 - Residencial

<b>TARIFAS DE BAIXA TENSÃO - R\$/kWh - Fevereiro/2021</b>					
<b>Classe de consumo</b>	<b>Tarifa com PIS/COFINS e ICMS</b>				
	<b>Faixa consumo</b>				
	<b>até 50 kWh</b>	<b>de 51 até 300 kWh</b>	<b>até 300 kWh</b>	<b>de 301 até 450 kWh</b>	<b>acima de 450 kWh</b>
	<b>Residencial</b>	<b>Residencial</b>	<b>Demais Classes</b>	<b>Todas as Classes</b>	<b>Todas as Classes</b>
	<b>(isento de ICMS)</b>	<b>(ICMS de 18%)</b>	<b>(ICMS de 20%)</b>	<b>(ICMS de 31%)</b>	<b>(ICMS de 32%)</b>
Residencial	0,68404	0,84002	-	1,00563	1,02111
Tarifa Social					
- até 30 kWh	0,2116	<b>0,25984</b>	-	0,31107	0,31586
- 31 até 50 kWh	0,36274	<b>0,44545</b>	-	0,53327	0,54148
- 51 até 100 kWh	0,36274		-		
- 101 até 220 kWh	-	<b>0,66817</b>	-	0,7999	0,81222

Fonte: Light SESA (2021)

Contudo, ainda é necessário analisar alguns parâmetros para a tarifa final a ser utilizada para os cálculos financeiros.

É necessário analisar a parcela referente ao custo de transmissão na composição tarifária. Considerando que a energia gerada se localiza dentro do espaço urbano e será entregue diretamente à distribuidora sem a necessidade da transmissão, um desconto referente ao seu custo deverá ser atribuído as tarifas residenciais e Classe A4.

Também em relação aos encargos setoriais, para a tarifa social residencial, além da isenção do custeio autorizado pela ANEEL<sup>55</sup>, foi concedido um desconto referente ao rateio da Conta de Consumo de Combustível (CCC) utilizado para a geração de energia. Para as tarifas Classe A, também foi atribuído em desconto referente a parcela destinada a Compensação Financeira pela Utilização dos Recursos Hídricos (CFURRH) para a geração de energia.

A Lei Estadual No. 8.922 de 30 de junho de 2020 (Rio de Janeiro, 2021), concede isenção de ICMS às operações de geração e consumo de energia solar

<sup>55</sup> Os consumidores da subclasse Residencial Baixa Renda (tarifa social) são beneficiados com a isenção do custeio da Conta de Desenvolvimento Energético - CDE e do custeio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA que compõem os encargos setoriais.

fotovoltaica no sistema de compensação de energia utilizado no Brasil. Para o estudo de caso, também foi aplicada a isenção do ICMS para determinar as tarifas aplicadas no estudo de viabilidade, tanto para tarifas residenciais, quanto para tarifas Classe A.

Ainda sobre a Tarifa Classe A4 a ser paga para a concessionária, que corresponde a demanda contratada e ao consumo de energia reativa que não são compensados pela geração de energia solar, será aplicado um desconto referente ao percentual da parcela do custo de energia que é revertido as geradoras.

Entretanto, como visto anteriormente, o sistema brasileiro adota a compensação de energia para a geração fotovoltaica em telhados urbanos sem considera-los como potenciais geradores de energia para distribuição. Assim, para a remuneração da miniusina solar urbana, que tem a finalidade de gerar energia para a distribuição residencial ou comercial em baixa tensão, e considerando os descontos mencionados sobre os valores tarifários iniciais apresentados anteriormente, os valores tarifários finais que serão usados para cálculo das receitas e pagamentos no estudo de viabilidade são apresentados na Tabela 17.

Desta forma, a tarifa de energia residencial a ser faturada ao consumidor final terá um desconto de 4,55% sobre a tarifa social média (R\$ 0,541623), ou 38,45% sobre a tarifa residencial da faixa de consumo de 51 kWh à 300 kWh (R\$ 0,840002). As tarifas Classe A4, já acrescido o imposto federal de 4,4% (PIS/PASSEP) e isentando do imposto estadual (ICMS) como visto anteriormente, apresentam um desconto de 62,68%.

Tabela 17: Valores tarifários finais após descontos concedidos utilizados no estudo de viabilidade

Classe de consumo	Tarifa Média até consumo de 220 kWh	Demanda R\$/kW	Consumo R\$/kWh	
			Ponta	Fora Ponta
Residencial	0,516979			
Classe A4		10,166559	0,787972	0,230873

Fonte: Autor (2021)

A composição tarifária após todos os descontos concedidos, a correção de impostos e a redistribuição dos percentuais da composição tarifária é apresentada na Figura 66. Assim, percebe-se um aumento nos percentuais referentes a geração e distribuição. Mais da metade da fatura é reservada para repasse à geração de energia.

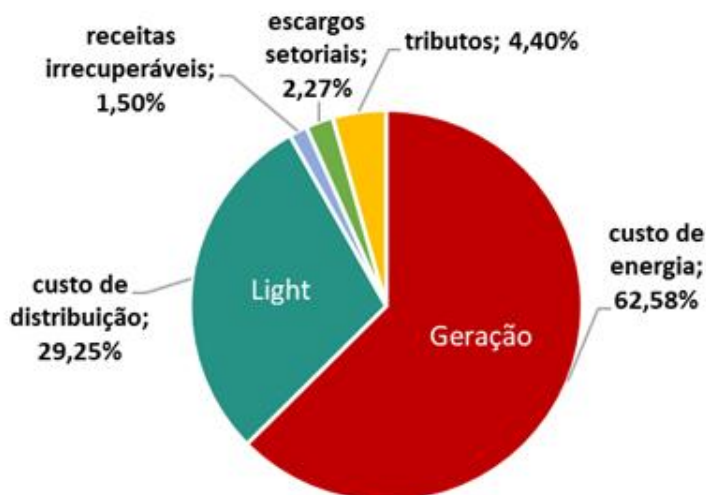


Figura 66: Composição tarifária de energia após os descontos concedidos e a redistribuição dos percentuais.

Fonte: Autor (2021)

De posse dessas informações, é possível analisar a viabilidade econômica do sistema fotovoltaico de acordo com índices financeiros aplicados à análise de investimento. Através da elaboração do fluxo de caixa futuro contabilizando despesas, custos e recebíveis ao longo da vida útil do projeto, e “trazendo” esse fluxo de caixa ao valor presente, identifica-se a atratividade do investimento.

Os índices financeiros analisados foram:

TMA – Taxa Mínima de Atratividade: ou taxa de desconto, é uma estimativa definida pelos empreendedores em relação ao retorno que se quer de um determinado investimento. Significa que, se o investimento remunerar abaixo da taxa mínima de atratividade, o investimento não é realizado. Não há uma fórmula única para determinar a TMA, mas é necessário levar em consideração a taxa básica de

juros, a inflação, a taxa de remuneração obtida em outros investimentos, sendo a TMA superior a esses índices, e ainda a liquidez e o risco do negócio.

TMT – Tempo Máximo Tolerado: representa o tempo máximo para recuperar o investimento, ou seja, um prazo determinado onde, se o *payback* descontado for maior que o TMT, o projeto não deverá ser aceito. O Tempo Máximo Tolerado deverá ser menor que a vida útil do projeto.

VPL – Valor Presente Líquido: utilizado para calcular o valor presente de todo fluxo de caixa, positivo e negativo, ao longo da vida útil do projeto. Um valor presente líquido positivo ( $VPL > 0$ ), significa que o investimento será aceito e o retorno é suficiente para compensar o investimento. Já para um valor presente líquido negativo ( $VPL < 0$ ), o investimento não deverá ser realizado. O VPL é calculado pela equação:

$$VPL = \sum_{n=1}^{n=25} \frac{FCt}{(1+i)^n} \quad (4)$$

Onde:

VPL = Valor Presente Líquido

FC = Fluxo de caixa

t = Momento em que o fluxo de caixa ocorreu

i = Taxa Mínima de atratividade (ou Taxa de desconto)

n = Período de tempo

IR – Índice de Rentabilidade: utiliza praticamente as mesmas informações que são usadas para o cálculo do valor presente líquido (VPL). Contudo, a informação é definida em forma de índice, uma relação entre as entradas e saídas no valor presente. O valor encontrado dessa relação sendo maior que 1 ( $IR > 1$ ), pode-se afirmar que o investimento produz mais benefícios do que prejuízos. O IR é calculado pela equação:

$$IR = \frac{\sum_{n=1}^{n=25} \frac{Rt}{(1+i)^n}}{\sum_{n=1}^{n=25} \frac{Dt}{(1+i)^n}} \quad (5)$$

Onde:

IR = Índice de Rentabilidade

R = Receita

D = Despesa

t = Momento em que a receita ou despesa ocorreu

i = Taxa Mínima de atratividade (ou Taxa de desconto)

n = Período de tempo

TIR – Taxa Interna de Retorno: é a taxa que faz com que o valor presente de entrada se iguale ao valor presente de saída. Assim, a TIR é a taxa de desconto que torna o valor presente líquido (VPL) do empreendimento igual a zero. Portanto, se a TIR for maior que a taxa mínima de atratividade (TMA - taxa de desconto da VPL), o investimento será viável. Como uma ferramenta de decisão, a TIR é utilizada para avaliar investimentos alternativos. A alternativa de investimento com a TIR mais elevada é normalmente a preferida. A TIR é calculada pela equação:

$$\sum_{n=0}^{n=25} \frac{FCt}{(1+TIR)^n} - I = 0 \quad (6)$$

Onde:

TIR = Taxa Interna de Retorno

FC = Fluxo de caixa

I = Investimento inicial

t = Momento em que o fluxo de caixa ocorreu

n = Período de tempo

ROI – Retorno sobre o Investimento: é o percentual de ganho real estimado para o projeto, além do principal investido e de correção monetária. O ROI é calculado pela equação:

$$ROI = \frac{VPL}{I} \quad (7)$$

Onde:

ROI = Retorno sobre o Investimento

VPL = Valor Presente Líquido

I = Investimento inicial

*PayBack* – É o período de recuperação do que foi investido. Quanto menor o período de *payback*, mais atrativo se torna o investimento. O *payback* deverá ser menor que o Tempo Máximo Tolerado (*Payback* < TMT). Seu cálculo se utiliza da análise do fluxo de caixa descontado para encontrar o resultado.

LCOE – Custo Nivelado de Energia: É o índice para comparar o custo relativo da energia produzida por diferentes fontes de geração. É a relação dos custos totais do projeto pela energia gerada, ao longo de toda a vida útil da usina. O LCOE é calculado pela equação:

$$LCOE = \frac{IT + \sum_{n=1}^{n=25} Mt(1+i)^n + \sum_{n=1}^{n=25} Ot(1+i)^n}{\sum_{n=1}^{n=25} ECt + \sum_{n=1}^{n=25} EIt} \quad (8)$$

Onde:

LCOE = Custo Nivelado de Energia

IT = Investimento Total

M = Manutenção do sistema

O = Operação do sistema

EC = Energia consumida

EI = Energia injetada na rede

t = Momento de ocorrência do evento

i = Taxa de inflação adotada

n = Período de tempo

Definidos os parâmetros financeiros iniciais, a análise econômica tomou dois caminhos. Primeiro, as informações foram inseridas no simulador PVsyst 7.1 para calcular a viabilidade econômica do sistema, mas como está programado para o sistema *Feed-in-Tariff* (FIT) visto anteriormente, como o utilizado na Alemanha, podem ocorrer algumas distorções. Em seguida, foi utilizada a ferramenta Excel para os cálculos de viabilidade.



Na Tabela 18 são apresentadas as premissas utilizadas como parâmetros financeiros iniciais usados para os cálculos da viabilidade econômica. Para uma inflação de 3,71% ao ano estimada para a vida útil do sistema, que é de 25 anos, foi adotada uma Taxa Mínima de Atratividade, de 0,5% ao mês, resultando numa Taxa de Desconto de 6,17% ao ano, 66% acima da inflação. Significa dizer que o investimento deverá remunerar ao investidor um percentual anual superior à Taxa de Desconto para se tornar viável.

As tarifas usadas como base para remuneração da miniusina e pagamento da fatura remanescente, a ser paga decorrente do consumo de energia reativa e demanda contratada, foram calculadas a partir das tarifas adotadas na Tabela 17. Em tempo, para a Tarifa Residencial, que gera receita para a miniusina, foi aplicado o percentual da composição tarifária destinada a remuneração da geração de energia mostrada na Figura 66 que é de 62,58%. Desta forma, a tarifa usada para remuneração da energia injetada na rede da concessionária é de R\$ 0,3235/kWh. O prazo máximo tolerado para o retorno do investimento (TMT) foi estabelecido em 20 anos.

Tabela 18: Parâmetros financeiros iniciais para cálculo da análise econômica.

<b>Grupo Fotovoltaico Conectado a Rede</b>		
Investimento Inicial (CAPEX)	4.206.662,00	R\$
OPEX (mês)	48.344,00	R\$
Valor Financiado	3.100.000,00	R\$
Tx Juros Financiamento	4,97%	aa
Prazo do Financiamento	16	anos
Vida Útil do Projeto	25	anos
Inflação anual (IPCA)	3,71%	aa
TMA	0,50%	mês
Taxa de Desconto	6,17%	aa
TMT	20	anos
Perda de Rentimento SFV	6,17	%
Tarifa Receita Geração (FIT)	0,3235	R\$

Fonte: Autor (2021)

O Pvsyst 7.1 não calcula todos os índices financeiros propostos anteriormente para a avaliação econômica, mas os resultados mostrados na Figura 67 retornam um Valor Presente Líquido positivo (VPL>0) de R\$ 4.988,79. O período de recuperação do que foi investido (*payback*) de 18,3 anos, foi menor que o Tempo

Máximo Tolerado (TMT = 20 anos). O retorno sobre o investimento (ROI) foi de 57,2%, ou seja, um ganho real de mais da metade do que foi investido. O custo de energia produzida ao longo da vida útil do projeto (LCOE) foi de R\$ 0,50/kWh. Com esses parâmetros, é possível dizer que o projeto é economicamente viável.

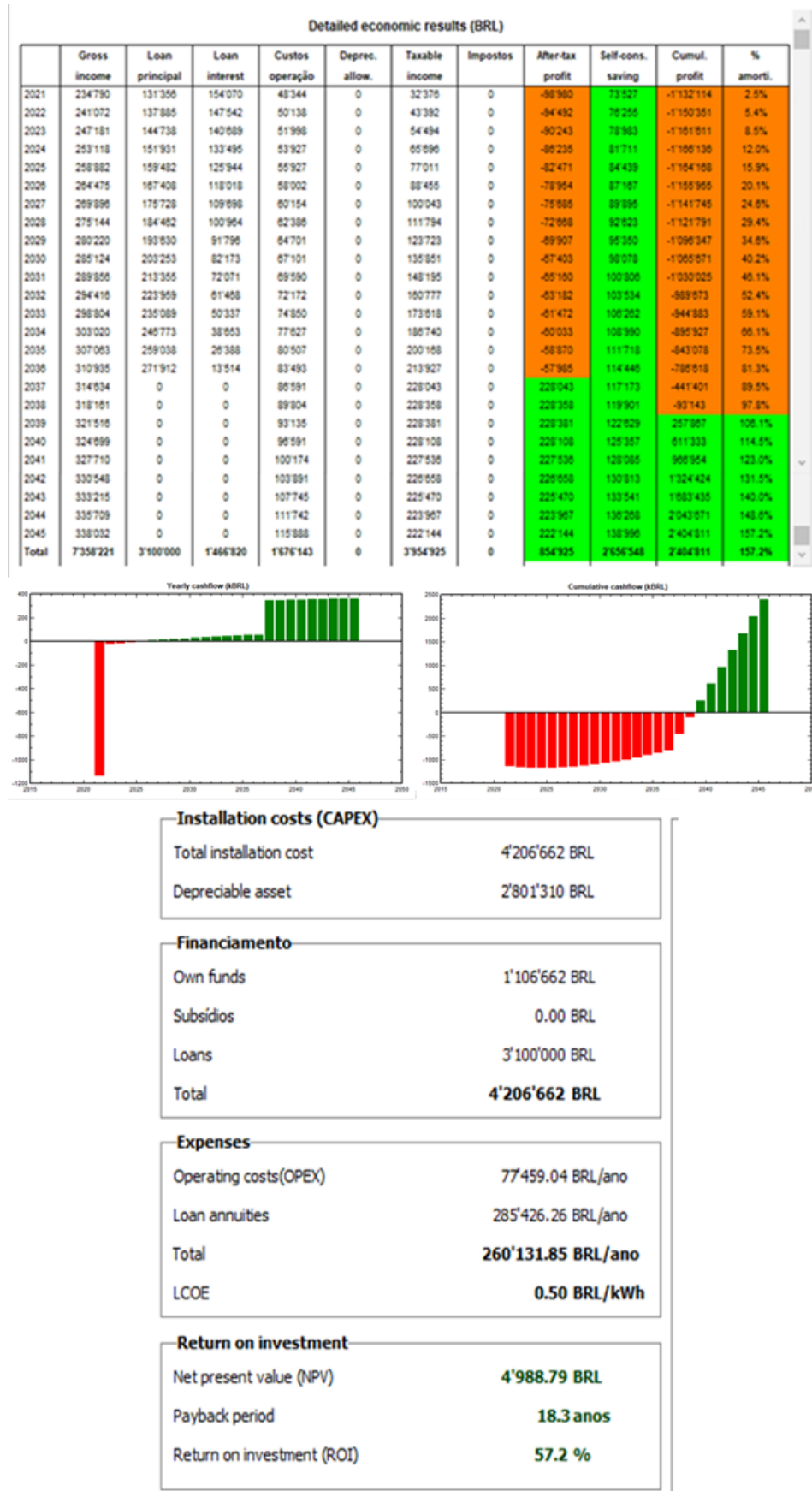


Figura 67: Resultado financeiro apresentado pelo PVsyst 7,1.

Fonte: PVsyst 7.1 (2021)

Além da viabilidade econômico-financeira, o PVsyst 7.1 verifica também a redução das emissões de CO<sub>2</sub>, promovendo benefícios sociais. A redução de CO<sub>2</sub>, desde a entrada em operação da miniusina fotovoltaica até o término da vida útil do projeto, foi estimada em 455.481 toneladas, como visto na Figura 68. Isso possibilita ingressar no Mercado de Carbono gerando 455.481 créditos que poderiam ser comercializados. A possibilidade de receita proveniente do Mercado de Carbono não foi analisada por este estudo.

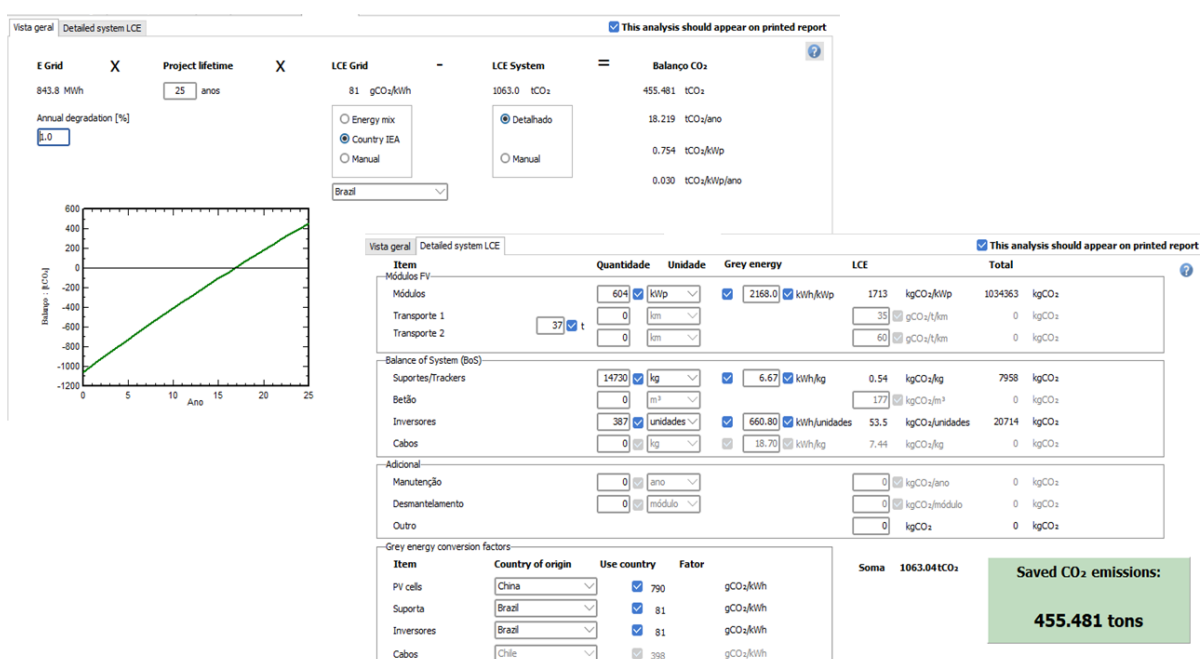


Figura 68: Redução de CO<sub>2</sub> obtida pela operação da miniusina fotovoltaica durante a vida útil do sistema.

Fonte: PVsyst 7.1

Em seguida, foi utilizada a ferramenta Excel para os cálculos de viabilidade econômica. As premissas utilizadas como parâmetros financeiros iniciais são as mesmas utilizadas para os cálculos da viabilidade econômica no simulador PVsyst 7.1 e estão na Tabela 18.

A Tabela 19 apresenta o desenvolvimento econômico anual durante os 25 anos de duração do projeto. O ano zero representa o tempo de preparação para operação do sistema fotovoltaico que se inicia no ano 1. As três próximas colunas dizem respeito à quantidade de energia elétrica ativa gerada e consumida na própria miniusina, a energia injetada na rede para distribuição e a energia reativa consumida

que continuará sendo paga a distribuidora. Cabe ressaltar que a quantidade de energia ativa gerada e consumida na própria miniusina está corrigida, já compensando a energia ativa consumida em horário fora de ponta, como mencionado anteriormente.

As duas próximas colunas dizem respeito às despesas anuais referentes ao pagamento do financiamento contraído junto ao BNDES e às operações administrativas e de manutenção do sistema (OPEX). As despesas com o financiamento, de R\$ 3.100.000,00, somam no final do período R\$ 4.555.957,38, somados os pagamentos anuais, durante 16 anos, dos juros de 4,97% ao ano e do valor principal. As despesas OPEX somam ao final do período R\$ 1.936.476,04 reajustados pela inflação anual adotada de 3,71% ao ano.

As próximas duas colunas dizem respeito as receitas. A redução da fatura se refere a diferença entre a fatura que era paga anualmente à concessionária antes da implantação do sistema fotovoltaico e a nova fatura que ainda deverá ser paga referente a demanda contratada, que sofreu alteração de 100 kW para 600 kW, e da energia reativa consumida, que não é compensada pela geração solar, somando ao final do período, R\$ 5.049.834,90. As tarifas utilizadas estão na Tabela 17. A receita de energia se refere a energia gerada e entregue para distribuição residencial. A tarifa utilizada para os cálculos da receita se refere a parcela da composição tarifária final destinada à geração de energia que é de 62,58% (ver Figura 66) calculado sobre a tarifa residencial social média final. A tarifa utilizada para receita da miniusina está identificada na Tabela 18 como “Tarifa Receita Geração” que é de R\$ 0,3235/kWh e soma ao final do período R\$ 7.523.034,92.

As duas próximas colunas são os fluxos de caixa, anual e acumulado, onde se contabiliza o saldo da diferença entre receitas e despesas e apresentam um resultado positivo de R\$ 4.973.774,41. Importante ressaltar que, a partir do terceiro ano de operação, o projeto gera mais receita do que despesa.

As duas últimas colunas são os cálculos do Valor Presente Líquido (VPL) e do índice de Rentabilidade (IR). Tanto o VPL quanto o IR foram calculados considerando a taxa de desconto de 6,17% aa como índice deflator para o valor

presente. Os dois índices apresentam valores que indicam a viabilidade positiva do projeto (VPL>0; IR>1).

Tabela 19: Resultados financeiros do sistema fotovoltaico

ANO	ENERGIA CORRIGIDA - kWh	ENERGIA CONSUMIDA - kWh	ENERGIA INJETADA NA REDE - kWh	ENERGIA REATIVA	PAG EMPRESTIMO	CUSTO OPEX	REDUÇÃO NA FATURA	RECEITA ENERGIA	FLUXO CAIXA	FLUXO CAIXA ACUMULADO	VPL	Índice de Rentabilidade	
												ENTRADAS	SAÍDAS
0									-1.106.662,00	-1.106.662,00	-1.106.662,00	ENTRADAS	SAÍDAS
1	264,187		580,517	11,464	284,760,00	48,344,00	126,068,80	187,812,08	-19,223,11	-1.125,885,11	-18,106,35	295,646,03	-313,752,38
2	264,187		578,914	11,464	284,760,00	50,137,56	130,745,96	194,779,91	-9,371,69	-1.135,256,80	-8,314,43	288,801,78	-297,116,21
3	264,187		575,539	11,464	284,760,00	51,997,67	135,596,63	202,006,25	845,21	-1.134,411,59	706,30	282,115,98	-281,409,68
4	264,187		571,910	11,464	284,760,00	53,926,78	140,627,27	209,500,68	11,441,17	-1.122,970,42	9,005,32	275,584,95	-266,579,64
5	264,187		568,029	11,464	284,760,00	55,927,46	145,844,54	217,273,15	22,430,23	-1.100,540,19	16,629,13	269,205,12	-252,575,99
6	264,187		563,979	11,464	284,760,00	58,002,37	151,255,37	225,333,99	33,826,99	-1.066,713,21	23,621,44	262,972,99	-239,351,54
7	264,187		559,844	11,464	284,760,00	60,154,26	156,866,95	233,693,88	45,646,56	-1.021,066,64	30,023,30	256,885,12	-226,861,83
8	264,187		555,457	11,464	284,760,00	62,385,98	162,686,71	242,363,92	57,904,65	-963,161,99	35,873,26	250,938,19	-215,064,93
9	264,187		550,900	11,464	284,760,00	64,700,50	168,722,39	251,355,62	70,617,51	-892,544,49	41,207,57	245,128,94	-203,921,37
10	264,187		546,091	11,464	284,760,00	67,100,89	174,981,99	260,680,92	83,802,01	-808,742,47	46,060,25	239,454,17	-193,393,92
11	264,187		540,943	11,464	284,760,00	69,590,33	181,473,82	270,352,18	97,475,66	-711,266,81	50,463,25	233,910,77	-183,447,52
12	264,187		535,375	11,464	284,760,00	72,172,14	188,206,50	280,382,25	111,656,61	-599,610,21	54,446,58	228,495,70	-174,049,12
13	264,187		529,299	11,464	284,760,00	74,849,72	195,188,96	290,784,43	126,363,66	-473,246,54	58,038,42	223,205,99	-165,167,57
14	264,187		522,971	11,464	284,760,00	77,626,65	202,430,47	301,572,53	141,616,35	-331,630,19	61,265,21	218,038,74	-156,773,53
15	264,187		516,474	11,464	284,760,00	80,506,60	209,940,64	312,760,87	157,434,91	-174,195,28	64,151,79	212,991,11	-148,839,32
16	264,187		509,892	11,464	284,557,38	83,493,39	217,729,44	324,364,30	174,042,96	-152,32	66,799,22	208,060,34	-141,261,12
17	264,187		503,142	11,464	0,00	86,590,99	225,807,20	336,398,21	475,614,42	475,462,09	171,940,07	203,243,71	-31,303,64
18	264,187		496,307	11,464	0,00	89,803,52	234,184,65	348,878,59	493,259,71	968,721,81	167,959,63	198,538,59	-30,578,95
19	264,187		489,641	11,464	0,00	93,135,23	242,872,90	361,821,98	511,559,65	1.480,281,45	164,071,34	193,942,39	-29,871,05
20	264,187		483,060	11,464	0,00	96,590,55	251,883,48	375,245,58	530,538,51	2.010,819,96	160,273,07	189,452,60	-29,179,53
21	264,187		476,731	11,464	0,00	100,174,06	261,228,36	389,167,19	550,221,49	2.561,041,45	156,562,72	185,066,74	-28,504,02
22	264,187		471,416	11,464	0,00	103,890,52	270,919,93	403,605,29	570,634,71	3.131,676,16	152,938,27	180,782,42	-27,844,15
23	264,187		466,859	11,464	0,00	107,744,85	280,971,06	418,579,05	591,805,25	3.723,481,41	149,397,73	176,597,28	-27,199,55
24	264,187		462,303	11,464	0,00	111,742,19	291,395,08	434,108,33	613,761,23	4.337,242,64	145,939,15	172,509,03	-26,569,88
25	264,187		457,578	11,464	0,00	115,887,82	302,205,84	450,213,75	636,531,77	4.973,774,41	142,560,64	168,515,42	-25,954,78
6.604.680			13.113.170		4.555.957,38	1.936.476,04	5.049.834,90	7.523.034,92	4.973.774,41	4.973.774,41	836.850,90	5.660.084,12	-3.716.571,22
ENERGIA CONSUMIDA - kWh			ENERGIA INJETADA NA REDE - kWh	ENERGIA REATIVA	PAG EMPRESTIMO	CUSTO OPEX	REDUÇÃO NA FATURA	RECEITA ENERGIA	FLUXO CAIXA	FLUXO CAIXA ACUMULADO	VPL	ÍNDICE DE RENTABILIDADE	
												1,522931697	

Fonte: Autor (2021)

Os resultados financeiros são apresentados na Tabela 20. De acordo com os cálculos realizados, ao final dos 25 anos de geração fotovoltaica, o valor total estimado para o fluxo de caixa futuro atingirá R\$ 1.943.5112,90 e o VPL obtido de R\$ 836.850,90, considerando uma taxa mínima de atratividade igual a taxa de desconto de 6,1678% ao ano.

O Índice de Rentabilidade (IR) foi de 1,52, indicando que o investimento é atrativo, ou seja, trará benefícios ao investidor.

Em relação à Taxa Interna de Retorno (TIR), o valor obtido de 9,5248% mostra que o investimento na miniusina solar é viável, pois sua taxa é superior ao custo do capital, que foi estipulado em 6,1678% (taxa de desconto), portanto o investimento é considerado rentáveis (TIR > TMA).

O Retorno sobre o Investimento (ROI), foi de 75,6194%. Este é o retorno real do investimento considerando o valor presente do fluxo de caixa.

Em relação ao período de recuperação do que foi investido (*payback*), este acontece ao final de 16 anos, prazo menor que o Tempo Máximo Tolerado (TMT) que foi de 20 anos.

Por fim, o Custo Nivelado de Energia (LCOE) que compara o custo relativo da energia produzida por diferentes fontes de geração de energia por toda a vida útil do sistema é de R\$0,312/kWh. Comparado a outras fontes renováveis, de acordo com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2020), está equivalente à média nacional por fonte fotovoltaica. Contudo, as outras fontes renováveis apresentam custos ainda menores, tendo a fonte eólica o menor custo de geração elétrica ao longo da vida útil do projeto, mostrado na Tabela 20.

Tabela 20: Resumo da análise econômica e comparativo LCOE entre fontes renováveis.

TABELA RESUMO ANÁLISE ECONÔMICA			
TMA	6,17%	>	3,71% INFLAÇÃO
TMT	20	>	16 PAYBACK
VPL	836.850,90	>	0
IR	1,523	>	1
TIR	9,52%	>	6,17% TMA
ROI	75,62%	=	2,28% ao ano
LCOE	0,312		R\$/kWh

COMPARAÇÃO LCOE - FONTE RENOVÁVEL		
MINIUSINA DO ESTUDO	0,312	R\$/kWh
SOLAR	0,321	R\$/kWh
PCH*	0,280	R\$/kWh
BIOMASSA	0,246	R\$/kWh
EÓLICA	0,195	R\$/kWh
* Pequenas Centrais Hidrelétricas		

Fonte: Autor (2021) e CCEE (2020)

Na Tabela 21, pode-se observar que o investimento na miniusina fotovoltaica sobre telhados de armazéns logísticos dentro do espaço urbano apresenta uma taxa de retorno maior do que a Taxa Selic, ou investimentos como poupança, tesouro direto ou fundo de renda fixa do Banco do Brasil<sup>56</sup>. No entanto, todos estes investimentos perdem para a inflação. Também observa-se que o Índice Nacional da Construção Civil e a variação cambial do dólar estão acima de 20% ao ano, refletindo o momento delicado economicamente em que atravessa o país, de investimentos estagnados e alta inflação.

Tabela 21: Comparação de ativos financeiros, inflação, e o retorno sobre o investimento na miniusina.

COMPARAÇÃO ATIVOS FINANCEIROS		
ROI	2,278%	ao ano
SELIC	1,626%	ao ano
INFLAÇÃO	3,710%	ao ano
INCC*	21,350%	ao ano
DOLAR**	23,260%	ao ano
POUPANÇA	1,401%	ao ano
TESOURO DIRETO***	1,970%	ao ano
FUNDO RENDA FIXA****	1,280%	ao ano

\* índice nacional da construção civil - fev 2020 à fev 2021

\*\* variação cambial do dolar entre fev2020 à fev 2021

\*\*\* indexado a tx selic com venc. 2023

\*\*\*\* fundo RF Ref DI Plus Ágil - Banco do Brasil

Fonte: Autor (2021)

<sup>56</sup> Os percentuais auferidos têm referência ao mês de fevereiro de 2021, anualizado.



Dos resultados obtidos acima, todos apontam para a viabilidade econômica do sistema, com exceção quando se compara com os índices inflacionários, tanto para a inflação projetada pelo Banco Central, quanto para a inflação dos insumos da construção civil, medida pelo INCC, e a variação cambial, auferidas entre fevereiro de 2020 e fevereiro de 2021. Esses índices afetam diretamente os preços das placas solares e dos inversores, causando Insegurança no investimento. Instabilidades econômicas afetam diretamente a confiança em investimentos de longo prazo, como o caso das usinas solares. Em contrapartida, como já mencionado, o consumo de energia elétrica é crucial para uma trajetória ascendente da economia. Sem oferta adequada de energia não há crescimento econômico. Portanto, mecanismos de compensação devem ser criados para garantir o fluxo de investimentos em geração de energia elétrica sustentável.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.**

Pode-se concluir que a análise técnica e financeira de uma Usina Solar Urbana, fruto dessa pesquisa e a partir das premissas adotadas, demonstrou a viabilidade do empreendimento. Contudo, é necessário ressaltar que a legislação brasileira não prevê a remuneração da energia por geração distribuída, dentro do espaço urbano, por fonte renovável. Apenas a compensação de energia é contemplada. Dos três modelos autorizados pela RN 687 (ANEEL, 2015) de compensação de energia adotados para a geração distribuída (empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada e autoconsumo remoto), o modelo de geração compartilhada é o que melhor se enquadra para a geração solar a partir de armazéns logísticos, mas com restrições já que o modelo por compensação adotado no Brasil não prevê o fornecimento direto de energia ao consumidor final, obrigando a energia excedente ser entregue a distribuidora local e incorporada na rede. Este modelo prevê a reunião de consumidores, pessoas físicas ou jurídicas, em consórcio ou cooperativa que possua unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída em local diferente de onde a energia excedente será compensada. Grupos de consumidores pré-definidos em baixa tensão, residenciais ou comerciais, podem se unir em cotas de energia a serem compensadas durante a vida útil do sistema solar. Desta forma, a energia consumida pelo consumidor final será abatida da cota de energia que lhe cabe.

Apenas o armazém logístico estudado poderia garantir um consumo de energia de 2.000kWh/ano (166,67kWh/mês) para 260 residências com um desconto de 4,55% sobre a tarifa social, ou de 38,45% sobre a tarifa residencial. Esses percentuais ainda poderiam ser ponderados a fim de equilibrar as distorções sociais e econômicas entre consumidores de faixas diferentes. Extrapolando esse resultado e guardando as proporções de ocupação útil dos telhados dos armazéns logísticos, os 2,55 milhões de m<sup>2</sup> informados pela *CBRE Group, Inc* (2017 *apud* XPIN , 2017), poderiam atender 84.500 residências no estado do Rio de Janeiro. Desta forma, bairros da periferia das cidades que compõem a região metropolitana do Rio de Janeiro poderiam ser atendidos pelo fornecimento de energia estável e contínua, melhorando o acesso ao consumo de informação e capacitação, criando condições de evolução social.

Para Milton Santos (1978, p.37), “os pobres não tem acesso a um grande número de mercadorias modernas”. A concepção idealista de que a luz é para todos já existe, entretanto deve-se fazer com que a eletricidade seja o motor para a prosperidade econômica e social, através da energização de equipamentos que valorizem os produtos, permitindo uma maior rentabilidade e produtividade também do indivíduo, além de elevar os níveis de educação e saúde, através do fornecimento de energia contínua, suficiente e de qualidade á escolas, postos médicos, bombas d'água e geladeiras, computadores e internet, como exemplos. Nesse sentido, a energia elétrica é uma mercadoria moderna, mas também o meio de produção capaz de possibilitar, num primeiro momento, o acesso à educação e a capacitação, e por fim, a utilização de equipamentos e serviços que maximizem tanto a capacitação quanto a produtividade, para enfim, a população da periferia ascender economicamente.

Ainda para Milton Santos, “a população pobre é obrigada a optar entre consumir esporadicamente bens manufaturados e/ou diminuir o consumo desses bens”, o que da base ao entendimento da discrepância existente na qualidade e no consumo de eletricidade, tanto como mercadoria, quanto meio de produção, observado entre o centro urbano e as periferias que consomem energia de baixa qualidade e intermitente.

. Para Valadares (*apud* SANTOS, 1978. p.28), é “incorreto considerar a favela um mundo autônomo, isolado e à parte”. Desta forma, se fazem necessárias políticas públicas que possibilitem o acesso à energia elétrica produzida em usinas solares urbanas ou que possibilitem a autonomia elétrica através de geradores solares próprios.

Pelo Princípio da Compensação, inicialmente trabalhada pelo economista Nicholas Kaldor, onde, embora não seja um princípio universal, tenta-se estabelecer em que condições uma determinada situação que afeta determinados grupos de maneira diferente (uns beneficiando, outros prejudicando) pode ser modificada, de forma que os beneficiados possam compensar os prejudicados, de maneira que a situação posterior seja considerada “melhor” que a situação anterior, de modo que as duas partes estarão melhor após o projeto do que estariam com a ausência dele. Desta forma, Usinas Solares em Condomínios Logísticos dentro do Espaço Urbano podem contribuir tanto beneficiando investidores quanto consumidores das periferias das cidades. Para o primeiro grupo, remunerando o capital investido, e para o segundo grupo, reduzindo as tarifas elétricas. Pois, embora as tarifas a serem pagas pelo investidor também sejam reduzidas, seu maior retorno é a remuneração do capital, e aos consumidores de baixa renda, por não possuírem capital para investimentos em sistemas solares próprios, contribuindo teoricamente, com a regularidade e qualidade do fornecimento dessa energia.

Outros benefícios podem ser vislumbrados, como a redução de perdas técnicas de energia na transmissão e na distribuição. Também há que se considerar uma redução nas perdas não técnicas, como inadimplência e furtos. Ainda, por não depender de períodos de chuva e seca, os consumidores abastecidos pela Usina Solar Urbana poderiam ser dispensados das Bandeiras Tarifárias.

Neste estudo fica evidenciado a necessidade de reduzir a dependência do setor elétrico das usinas por fonte hídrica. Para a estabilidade do setor, quanto mais diversificada é sua matriz elétrica, melhor a condição do sistema em atender a demanda e melhorar a qualidade da energia entregue, principalmente nos bairros de periferia onde o fornecimento de energia é intermitente e de baixa qualidade, possibilitando uma evolução social e econômica ascendente.

Contudo, os resultados estão sujeitos a limitações. O potencial elétrico de cada edifício está sujeito a posição geográfica e a inclinação do telhado. Também as estruturas existentes para suporte do sistema fotovoltaico, os telhados, precisam ser avaliadas quanto a sua resistência e estado de manutenção. Há ainda a necessidade de normatizar a forma de remuneração da geradora urbana, dando segurança jurídica e garantindo as isenções fiscais mencionadas anteriormente, uma vez que a legislação brasileira, só admite a compensação de energia.

Por fim, novos estudos podem dar continuidade a este trabalho a fim de verificar a forma de contratação da energia elétrica pelos consumidores finais no modelo de geração compartilhada, verificar a possibilidade de uma nova modalidade de geração distribuída onde a geradora urbana possa comercializar a energia gerada, investigar como se comportam telhados em posições geográficas distintas em relação ao potencial de geração fotovoltaica nos municípios brasileiros, a viabilidade econômica levando em consideração as composições tarifárias distintas e os incentivos fiscais nas diversas regiões do país.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE PESQUISA. **Critério de Classificação Econômica Brasil**. 2017. Disponível em: <<http://www.abep.org/criterio-brasil>>. Acesso em: janeiro 2020

ALARCÓN, Diana et al. **World Economic and Social Survey 2017**. UN/DESA. Department of Economic and Social Affairs. Rev1. 2017. Disponível em: <[https://www.un.org/development/desa/dpad/wp-content/uploads/sites/45/publication/WESS\\_2017-FullReport.pdf](https://www.un.org/development/desa/dpad/wp-content/uploads/sites/45/publication/WESS_2017-FullReport.pdf)>. Acesso em: dezembro 2019.

ANNEE - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília. 2008. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2008\\_AtlasEnergiaEletricaBrasil3ed/297ceb2e-16b7-514d-5f19-16cef60679fb](http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2008_AtlasEnergiaEletricaBrasil3ed/297ceb2e-16b7-514d-5f19-16cef60679fb)>. Acesso em: setembro 2019

\_\_\_\_\_. **Cadernos Temáticos ANEEL. Micro e Minigeração Distribuída. Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. 2ª. ed. Brasília: ANEEL, 2016. Disponível em:

<<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161?version=1.3>>. Acesso em: fevereiro 2021.

\_\_\_\_\_. **Painel da Geração Distribuída. 2019.** Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoizjM4NjM0OWYtN2IwZS00YjVlTIIMjltN2E5MzBkN2ZIMzVklwidCl6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>>. Acesso em: janeiro 2020

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa 687. 2015.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: fevereiro 2020

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Forbes – Relatório de Mercado. Abril 2021.** Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/content/focus/focus/R20210401.pdf>>. Acesso em: abril de 2021.

BANCO MUNDIAL. **World Development Indicators. 2019.** Disponível em: <<http://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/themes/environment.html>>. Acesso em: dezembro 2019

BARBOSA, Gisele S. **O desafio do desenvolvimento sustentável.** Revista Visões no. 4, Vol 1. Rio de Janeiro. 2008

BDJ - BUNDESMINISTERIUMS DER JUSTIZ. **Lei de Fencimento de Eletricidade.** 1999. Disponível em: <<http://archiv.jura.uni-saarland.de/BGBI/TEIL1/1990/19902633.1.HTML>>. Acesso em: abril 2020.

\_\_\_\_\_. **Lei de Energias Renováveis - EEG 2017.** Disponível em: <[http://www.gesetze-im-internet.de/eeg\\_2014/EEG\\_2017.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/EEG_2017.pdf)>. Acesso em: abril 2020.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Programa Fundo Clima.** Brasília: BNDES. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima-energias-renovaveis!/ut/p/z0/hU5LDolwED2LC5ZkQI2yJSw0RqPEmGA3ZIQCozDFtqLe3soBdPde3hcEZCAYB6rRkmJsHT-LRb5MV8k6nofb1TacBukpOqTHaD3bJ3PYgPhtcA1TvUt2NYgebeMTVwqy6sGl8ouWOvQIS10TGI9LVgMOKsw3Rdf7XcQgCsVWvixkFy6lyYmNJfsoxn9e0KhOekFFjFwQdpKtMI7QEjeusNeq1tg5NO454d9ufxOX9zOefADHRCin/>>. Acesso em: março de 2021.

BRAGA, Tania M; FREITAS, Ana Paula G. de; DUARTE, Gabriela de Souza. **Índice de Sustentabilidade Urbana.** CNPq. 2015. Disponível em:

<<https://pt.scribd.com/document/263389038/INdice-de-Sustentabilidade-Urbana>>. Acesso em: julho de 2019.

BRASIL. **Decreto-Lei nº. 9.648 de 27 de maio de 1998. Altera dispositivos das Leis nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 8.666, de 21 de junho de 1993, nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, nº 9.074, de 7 de julho de 1995, nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e autoriza o Poder Executivo a promover a reestruturação da Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS e de suas subsidiárias e dá outras providências.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9648cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9648cons.htm)>. Acesso em fevereiro de 2021

BRASIL. Senado Federal. **Decreto-Lei no. 41.019 de 12 de março de 1957. Regulamenta os serviços de energia elétrica.** Disponível em: <<http://legis.senado.leg.br/norma/463601/publicacao/15701017>>. Acesso em: fevereiro de 2021

BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei PL 232/2016. Altera as Leis nº 9.427/1996, Lei 9.478/1997, Lei 9.648/1998, Lei 10.847/2004, Lei 10.848/2004, Lei 12.783/2013, e a Medida Provisória 2.227/2001 que dispõe sobre o modelo comercial do setor elétrico, a portabilidade da conta de luz e as concessões de geração de energia elétrica.** Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/126049>>. Acesso em: abril de 2020.

BRITISH PETROLEUM. **BP Statistical Review of World Energy.** 2019. Disponível em: <<http://www.bp.com/statisticalreview>>. Acesso em: maio de 2020.

BRITO, Miguel Centeno. **Eletricidade Solar.** Universidade de Lisboa. 2001. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/p1.pdf>>. Acesso em: abril de 2020.

CANADIANSOLAR. **Catálogo eletrônico de Paineis Solar Fotovoltaico 410W - CS3W-410P.** Disponível em: <[https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2019/12/Canadian\\_Solar-Datasheet-HiKu\\_CS3W-P\\_EN.pdf](https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2019/12/Canadian_Solar-Datasheet-HiKu_CS3W-P_EN.pdf)>. Acesso em: janeiro de 2021.

CASADOMICROINVERSOR. **Catálogo eletrônico de micro-inversor APsystems - QS1-1200W.** Disponível em: <<https://microinversor.com.br/produto/micro-inversor-apsystems-qs1-220v-mono-bifasico/?v=9a5a5f39f4c7>>. Acesso em: janeiro de 2021.

CCEE – CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Estudo sobre custo da energia de fontes renováveis – 2015 a 2019.** Disponível em: <[https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/noticias-opiniao/noticias/noticia leitura?contentid=CCEE\\_656850&\\_afrLoop=141530352524986&\\_adf.ctrl-](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/noticias-opiniao/noticias/noticia leitura?contentid=CCEE_656850&_afrLoop=141530352524986&_adf.ctrl-)>

state=2e6ct4ndw\_54#!%40%40%3Fcontentid%3DCCEE\_656850%26\_afrLoop%3D141530352524986%26\_adf.ctrl-state%3D2e6ct4ndw\_58>. Acesso em: abril de 2021.

CMMAD - COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum**. 2 ed. Rio de Janeiro: FGV, 1988.

CORRÊA, Roberto Lobato. **O Espaço Urbano**. Editora Ática, Rio de Janeiro. 1995.

CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Programa SunData de Verificação da Irradiação Solar no Território Nacional**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: setembro de 2020.

DA SILVA, Arthur José Gerbasi. **Investimento de Empresas de Petróleo em Energia Fotovoltaica: O Caso da BP Solar e Motivações da Petrobras**. COPPE/UFRJ, M.Sc. Rio de Janeiro. 2006.

DeMARTINO, Samantha. Le BLANC, David. **Estimating the Amount of a Global Feed in Tariff for Renewable Electricity**. UM/DESA. Department of Economic and Social Affairs. Working Paper No. 95. 2010. Disponível em: <[http://www.un.org/esa/desa/papers/2010/wp95\\_2010.pdf](http://www.un.org/esa/desa/papers/2010/wp95_2010.pdf)>. Acesso em: dezembro 2019.

DUPAS, Gilberto. **O Mito do Progresso**. Scielo Brasil. Novos Estudos – CEBRAP. N°. 77. São Paulo. Março 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/nec/n77/a05n77.pdf>>. Acesso em: março 2014.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Projeções da Demanda de Energia Elétrica para os Próximos 10 anos (2017-2026)**. Rio de Janeiro. 2017. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001\\_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026\\_VF\[1\].pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF[1].pdf)> Acesso em: março 2020.

\_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018: ano base 2017**. Rio de Janeiro. 2018. Disponível em: <<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2018vf.pdf>>. Acesso em: dezembro 2019.

\_\_\_\_\_. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. Brasília. 2020. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf>> Acesso em: março 2020.

ESRI – Environmental Systems Research Institute. **Mapa Solar da Cidade do Rio de Janeiro dos telhados das edificações.** Disponível em: <<https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=029ccb875ca24c209a8572e70a4b6b19>>. Acesso em: maio de 2020.

ESRL - EARTH SYSTEM RESEARCH LABORATORIES. **Trends in Atmospheric Carbon Dioxide.** Global Monitoring Laboratory. 2020, Disponível em: <<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>>. Acesso em: março 2020.

FALCO, Gláucia de Paula. **O Perfil Econômico do Consumidor Residencial de Energia Elétrica no Período entre 1994-2003.** Revista das Faculdades Integradas Vianna Junior. Volume 1 – Número 1. 2010.

G1 – PORTAL DE NOTÍCIAS. **Risco de faltar energia vai de ‘baixíssimo’ para ‘baixo’, diz governo.** 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/noticia/2014/03/risco-de-faltar-energia-vai-de-baixissimo-para-baixo-diz-cmse.html>>. Acesso em: março 2020.

GESTORSOLAR, **5 Importantes Indicadores de performance dos sistemas fotovoltaicos.** Disponível em: < <http://www.gestorsolar.com.br/5-importantes-indicadores-de-performance-dos-sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em: setembro de 2020

GONÇALVES, Carlos W. Porto. **O Desafio Ambiental.** Rio de Janeiro: Editora Record, 2004.

GONZALEZ, Mariana Pedrosa. **O Mito do Alto Custo. Uma comparação entre a energia solar fotovoltaica e a energia nuclear.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do ABC. Santo André, 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Brasil em Números.** v. 21. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 392 p.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2004.** Energia e Desenvolvimento. Capítulo 10. P. 333, 335, 2004.

\_\_\_\_\_. **Data and Statistics 2017.** Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=WORLD>>. Acesso em: outubro 2019.

\_\_\_\_\_. **World Energy Balances 2019.** Disponível em: <<https://webstore.iea.org/co2-emissions-from-fuel-combustion-2019-highlights>>. Disponível em: março de 2020.



\_\_\_\_\_. **World Energy Outlook 2019**. Disponível em: <<https://www.iea.org/topics/investment>> Acesso em: março 2020

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas Brasileiro de Energia Solar 2017** - LABREN / CCST / INPE. Disponível em: <[http://labren.ccst.inpe.br/atlas\\_2017.html](http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html)>. Acesso em: abril 2020.

IPP - INSTITUTO PERREIRA PASSOS. **Armazém de Dados – DATA.RIO: Infraestrutura e Saneamento** - Tabelas T 3155 e T 2501. Rio de Janeiro: IPP, 2010. Disponível em: <<http://www.data.rio/>>. Acesso em: 13 mar. 2020.

LACERDA, Norma; MENDES ZANCHETI, Sílvio; DINIZ, Fernando. **Planejamento metropolitano: uma proposta de conservação urbana e territorial**. EURE (Santiago), Santiago, v. 26, n. 79, dez. 2000. Disponível em <[https://www.academia.edu/29127085/Planejamento\\_metropolitano\\_uma\\_proposta\\_de\\_conserva\\_o\\_urbana\\_e\\_territorial?auto=download](https://www.academia.edu/29127085/Planejamento_metropolitano_uma_proposta_de_conserva_o_urbana_e_territorial?auto=download)>. Acesso em 18 de janeiro de 2020.

LIGHT SESA. **Composição Tarifária. Tarifas e Tributos**. Disponível em: <<http://www.light.com.br/para-residencias/Sua-Conta/composicao-da-tarifa.aspx>>. Acesso em: abril de 2021.

MECATRONSOLAR. **Catálogo eletrônico de preços do Painel Solar Fotovoltaico 410W - CS3W-410P**. Disponível em: <https://mecatronsolar.com.br/product/painel-solar-cs3w/>. Acesso em: janeiro de 2021.

MENKES, Monica. **Eficiência energética, políticas públicas e sustentabilidade**. Tese de Doutorado. UnB-CDS. 2004.

MME - MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico - Dez 2019**. Brasília: 2020 Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico/2019/>>. Acesso em: março de 2020.

NBR 8800. **Projetos de Estrutura de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 237 p.

NEOSOLAR. **Catálogo eletrônico de Painel Solar Fotovoltaico 330W - OSDA - ODA330-36-P**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-330w-osda-oda330-36-p.html>> Acesso em: setembro de 2020

NREL - NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **Perovskite Solar Cells**. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/pv/perovskite-solar-cells.html>>. Acesso em: abril de 2020.

NUOSHU, He. **Can Brazil replicate China's successful solar industry?** 2017. Disponível em: <<https://dialogochino.net/en/climate-energy/9186-can-brazil-replicate-chinas-successful-solar-industry/>>. Acesso em: abril de 2020

PASTERNAK, Alan D. **Global Energy Futures and Human Development: A Framework for Analysis.** 2000. California: *University of California*, 2000. Disponível em: <<https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/239193.pdf>>. Acesso em: junho de 2014.

REN21. **Renewables Global Status Report.** 2018. Disponível em: <<https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>> Acesso em: maio de 2019.

PNUD - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil 2010** – UDH Rio de Janeiro. Brasília: PNUD, Ipea, FJP, 2013. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/consulta/>>. Acesso em 03 mar. 2020.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Dados Geográficos da Cidade do Rio de Janeiro.** Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/riotur/caracteristicas-geograficas>>. Acesso em: setembro de 2020.

REN21 - ENEWABLES ENERGY POLICE NETWORK FOR THE 21ST CENTURY. **Renewable 2019 Global Status Report.** Disponível em: <<http://www.ren21.net/gsr-2019/>>. Acessado em: março de 2020.

RIO DE JANEIRO. **Lei No. 8.922 de 30 de junho de 2020 - concede isenção de ICMS às operações de geração e consumo de energia solar fotovoltaica no sistema de compensação de energia utilizado no Brasil.** Disponível em: <[http://www.fazenda.rj.gov.br/sefaz/faces/oracle/webcenter/portalapp/pages/navigation-renderer.jspx?\\_afLoop=40156414235504808&datasource=UCMServer%23dDocName%3AWCC42000009178&\\_adf.ctrl-state=5l0ptgrml\\_32](http://www.fazenda.rj.gov.br/sefaz/faces/oracle/webcenter/portalapp/pages/navigation-renderer.jspx?_afLoop=40156414235504808&datasource=UCMServer%23dDocName%3AWCC42000009178&_adf.ctrl-state=5l0ptgrml_32)>. Acesso em: abril de 2021.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente.** São Paulo: Fundação do Desenvolvimento Administrativos, 1993.

SANTOS, Luis Delfim; MARTINS, Isabel. **A qualidade de vida urbana – O caso da cidade do Porto.** In: *Investigação – Trabalhos em curso* – no. 116, maio de 2002. Porto, Portugal. Disponível em: <<http://wps.fep.up.pt/wps/wp116.pdf>>. Acesso em: janeiro de 2020.

SANTOS, Milton. **Pobreza Urbana. Coleção Estudos Urbanos.** Editora HUCITEC. São Paulo. 1978.

SECOVI-SP - SINDICATO DA HABITAÇÃO DE SÃO PAULO; FDC - FUNDAÇÃO DOM CABRAL. **Indicadores de Sustentabilidade no Desenvolvimento**

**Imobiliário Urbano.** 2010. Secovi-SP. São Paulo. Disponível em: <<http://old.secovi.com.br/files/Downloads/indicadores-downloadpdf.pdf>>. Acesso em: janeiro 2020

SICHE, Raúl et al. **Índices Versus Indicadores: Precisoões Conceituais na Discussão da Sustentabilidade de Países.** Revista Ambiente e Sociedade. V 10 no 2. Campinas. 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/asoc/v10n2/a09v10n2.pdf>>. Acesso em: abril de 2020

SILVA, Marcelo Gomes da, GUIMARÃES, Leonan dos Santos. **Uso do Índice de Desenvolvimento Humano como Instrumento de Projeção de Demanda de Energia Elétrica.** Revista Economia e Energia. Ano XVI. No. 86. 2012. Disponível em: <<http://www.ecen.com/eee86/eee86p/eee86.pdf>>. Acesso em: dezembro 2019.

SOLARGIS. **Mapas da Irradiação Solar no Plano Horizontal e do Potencial Fotovoltaico (2019).** Divulgado em parceria com a Global Solar Atlas 2.0. Disponível em: <<https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/brazil>>. Acesso em: abril, 2020.

UBA - UMWELTBUNDESAMTES. **Lei de Energia Renovável.** 2019. Disponível em: <<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-gesetz>>. Acesso em: abril 2019.

UM - UNITED NATIONS. **World Urbanization Prospects – 2018.** Department of Economic and Social Affairs, Population Division. Disponível em: <<https://population.un.org/wup/DataQuery/>>. Acesso em: maio 2019

UNDP - UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** Nações Unidas Brasil. 2015. Disponível em: <<https://www.undp.org/content/dam/brazil/docs/agenda2030/undp-br-Agenda2030-completo-pt-br-2016.pdf>> Acesso em: fevereiro 2020.

VAN BELLEN, Hans M. **Indicadores de Sustentabilidade: Uma análise comparativa.** Tese de Doutorado Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2002. Disponível em: <[http://cmappublic2.ihmc.us/rid=1188902033989\\_1460031917\\_8589/Tese\\_de\\_Van\\_Bellen.pdf](http://cmappublic2.ihmc.us/rid=1188902033989_1460031917_8589/Tese_de_Van_Bellen.pdf)>. Acesso em: maio 2014.

VEIGA, José Eli. **Indicadores de Sustentabilidade.** Revista Estudos Avançados. 24 (68). USP. São Paulo. 2010. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10465/12196>>. Acesso em: abril 2020.

VINTURINI, Mateus. **A correção da inclinação dos módulos FV compensa economicamente?.** CanalSolar. 2020. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/a->

correcao-da-inclinacao-dos-modulos-fv-compensa-economicamente/>. Acesso em: dezembro de 2020.

WEBER, Max. Economia e Sociedade. **Fundamentos da Sociologia Compreensiva**. UnB. São Paulo. 2004

XPIN – FUNDO DE INVESTIMENTO IMOBILIÁRIO. **Mercado de Galpões Industriais e Logísticos**. 2017. Disponível em: <<https://xpin.riweb.com.br/show.aspx?idMateria=0JUAMayn5DWq54xRVRroGw==>>. Acesso em: maio de 2020.

XU, Yuan. **As impressionantes fazendas solares da China que estão transformando a geração de energia mundial**. Entrevista concedida a BBC NEWS Brasil em 2018. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/vert-fut-45766319>>. Acesso em: abril 2020.

# ANEXOS

ANEXO 1 – Faturamento de energia elétrica consumida no Armazém de Distribuição, objeto de estudo com histórico de consumo no período de junho 2018 à junho 2019.

**Light** CCEA DE ENERGIA ELÉTRICA  
 RUA DE CAPIVARI, 1041, JARDIM URBANO, 204 - 3º ANDAR - ALTOGRANDE - CEP: 20251-000 RIO DE JANEIRO - RJ  
 NOME FISCAL: SEM-02

Reservatório em Faltoso: 0845 FE65 5177 8200-CRBC-0A81-8586-8F41

Nº de Fatura: 0083771 | Endereço: 030003430002A | Unidade de Consumo: 0031355241 | Período de Faturamento: 420/02474 | **JUL/2019**

**VENCIMENTO 19/06/2019 TOTAL A PAGAR 17.241,11**

Item de Fatura	Quant.	Valor unit (R\$)	Valor (R\$)
Demanda Ativa kWh (MVA) Juros	5,254	431,2	2.264,74
Energia Ativa kWh (MVA) Juros	9,253	19,336	179,99
Energia Ativa kWh (MVA)	3,253	2,879	9.371,35
Energia Reativa kWh (MVA) Juros	1,253	34,1	42,81
Energia Reativa kWh (MVA)	1,254	11	13,80
Contrib. Custos com Energia			418,51
Limite de Energia Ativa e Fluída			-2.871,88
Adicional Bandeira - Já incluído no Valor a Pagar Bandeira Amarela			288,63

**SUMÁRIO DA FATURA**

Descrição	Valor (R\$)
Demanda Ativa kWh (MVA) Juros	2.264,74
Energia Ativa kWh (MVA) Juros	179,99
Energia Ativa kWh (MVA)	9.371,35
Energia Reativa kWh (MVA) Juros	42,81
Energia Reativa kWh (MVA)	13,80
Contrib. Custos com Energia	418,51
Limite de Energia Ativa e Fluída	-2.871,88
Adicional Bandeira - Já incluído no Valor a Pagar Bandeira Amarela	288,63
<b>TOTAL A PAGAR</b>	<b>17.241,11</b>

**VALIDADEZ**

Mês	Consumo (kWh)	Valor (R\$)
Jun 2018	1000	1000
Jul 2018	1200	1200
Aug 2018	1100	1100
Sep 2018	1300	1300
Out 2018	1400	1400
Nov 2018	1500	1500
Dez 2018	1600	1600
Jan 2019	1700	1700
Fev 2019	1800	1800
Mar 2019	1900	1900
Abr 2019	2000	2000
Mai 2019	2100	2100
Jun 2019	2200	2200

**RESUMO DA FATURA**

Valor (R\$)	Valor (R\$)	Vencimento	Total a Pagar
13.240,40	0,00	19/06/2019	17.241,11

BANCO ITAÚ S.A. 341-7 34191 09107 31234 372931 80573 340009 9 79990001724111

PAGAR, PREFERENCIALMENTE NO BANCO 341-7

Light - Serviços de Eletricidade S.A. CNPJ: 060.846.432/0001-08

Valor do Documento: 17.241,11

Receber mesmo após a data de vencimento da fatura correspondente.  
 Pagamento em cheque, somente da mesma filialidade do sacado.  
 Atentar no verso do cheque 0010312343

Receber mesmo após a data de vencimento da fatura correspondente.  
 Pagamento em cheque, somente da mesma filialidade do sacado.  
 Atentar no verso do cheque 0010312343