



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE

MATEUS DE ALENCAR COSTA

REGIONALIZAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO WSI PARA O
NORDESTE BRASILEIRO

FORTALEZA

2021

MATEUS DE ALENCAR COSTA

REGIONALIZAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO WSI PARA O NORDESTE
BRASILEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador: Prof.^a Dr. Francisco Casimiro Filho.

Coorientadora: Prof.^ª. PhD. Maria Cléa Brito de Figueiredo.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C874r Costa, Mateus de Alencar.
Regionalização do Índice de Estresse Hídrico WSI para o Nordeste brasileiro / Mateus de Alencar Costa. –
2021.
103 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação,
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Casimiro Filho.
Coorientação: Profª. Dra. Maria Cléa Brito de Figueiredo.
1. Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida. 2. WSI. 3. Unidades Hidrográficas Estaduais. 4. Escassez
Hídrica. 5. Pegada Hídrica. I. Título.

CDD 333.7

MATEUS DE ALENCAR COSTA

REGIONALIZAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO WSI PARA O NORDESTE
BRASILEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Casimiro Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. PhD. Maria Cléa Brito de Figueirêdo (Coorientadora)
Embrapa Agroindústria Tropical

Prof^ª. Dr^ª. Christiane Luci Bezerra Alves
Universidade Regional do Cariri (URCA)

Dr. Viviane da Silva Barros
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Dedico esse trabalho aos meus pais, Ivonildo Leite da Costa e Maria Solange, aos meus irmãos Ana Carolina de Alencar Costa e Leonardo de Alencar Costa e a minha companheira de vida, Joyce Varelo da Silva.

AGRADECIMENTOS

À Deus e a Santa Rita, por me concederem força nos momentos de dificuldade e persistência nos momentos de fraqueza.

Aos meus pais, Ivonildo Leite da Costa e Maria Solange de Alencar Costa, por todo o esforço e sacrifício realizado para proporcionar as melhores condições de vida para mim.

Aos meus irmãos, Ana Carolina de Alencar Costa e Leonardo de Alencar Costa, por todo o apoio e carinho.

À minha companheira de vida, Joyce Varelo da Silva, por todo o seu apoio, amor e carinho e por sempre acreditar no meu potencial, incentivando-me a acreditar e lutar por aquilo que acredito.

Ao Prof. Dr. Francisco Casimiro Filho, pela orientação e compreensão.

À Prof. PhD. Maria Cléa Brito de Figueirêdo pela coorientação e pelo incentivo dado desde o primeiro dia de convivência.

Em especial, mais uma vez, à Edilene Pereira Andrade, por todos os conselhos, dicas, incentivos, orientação e ajuda que tem me dado no decorrer dos últimos 3 anos. Muito obrigado pelo suporte, incentivo, pela calma e por se preocupar com o meu desenvolvimento pessoal e profissional!

À FUNCAP, por acreditar na ciência e promover seu desenvolvimento no estado do Ceará e pela bolsa concedida a mim.

RESUMO

Os modelos de escassez hídrica *Water Stress Index* (WSI) e AWARE, aplicados na Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV), foram recomendados para uso no Brasil desde que um processo de regionalização fosse realizado para aumentar sua sensibilidade às regiões com eventos de escassez hídrica, como a região nordeste do Brasil. Trabalhos anteriores regionalizaram o modelo AWARE para as 449 Unidades Hidrográficas Estaduais (UHEs) brasileiras definidas pela Agência Nacional de Águas (ANA). O objetivo desse trabalho foi gerar fatores mensais e anuais regionalizados (WSI-BR-NE) para as 146 UHEs da região Nordeste do Brasil para possibilitar uma futura análise de sensibilidade dos resultados, considerando a aplicação de diferentes modelos para o cálculo do impacto causado na escassez hídrica. Para isso, foram utilizados dados hidrológicos nacionais, limites hidrogeográficos das UHEs propostos pela ANA e a agregação dos dados de precipitação provenientes de estações pluviométricas (EP) em UHEs. Comparações qualitativas foram realizadas para verificar a diferença entre WSI e WSI-BR-NE, e comparações quantitativas, utilizando o Desvio Padrão Geométrico (GSD²), para verificar a proximidade dos resultados dos modelos WSI, WSI-BR-NE e AWARE-BR, no qual quanto mais próximo de zero, mais próximos são os resultados. Como resultado, foram obtidos fatores WSI-BR-NE anuais e mensais para as 146 UHEs da região Nordeste. Após análise do WSI-BR-NE anual, observou-se que 97 UHEs foram categorizadas como Estresse Hídrico Muito Alto (EHMA) e as regiões que concentram o maior número dessas UHEs estão no estado do Ceará e Rio Grande do Norte. Analisando os WSI-BR-NE mensais, identificou-se que outubro é o mês com escassez hídrica mais intensa, com 110 (75%) UHEs classificadas como de EHMA. Por outro lado, abril foi o mês mais ameno, com 51 (35%) UHEs classificadas como de Estresse Hídrico Baixo (EHB). Na comparação qualitativa, observou-se que 112 UHEs subiram de categoria de escassez hídrica e 128 UHEs obtiveram fatores maiores no WSI-BR-NE. O maior aumento, de 9105%, foi encontrado para a UHE Dos Frades, Buranhém e Santo Antônio (Bahia), enquanto a maior redução (50%), na UHE Traipu (Alagoas). Além disso, a utilização do WSI anual resultou em 99,7% da área do Nordeste classificada como EHB, contra 26% do WSI-BR-NE anual. Na comparação quantitativa entre WSI e WSI-BR-NE, obteve-se GSD² de 112 para os fatores anuais e 154 como valor máximo dos fatores mensais. Entre WSI-BR-NE e AWARE-BR-NE o GSD² foi de 46 na análise anual e 113 como valor máximo da análise mensal. Esses resultados mostram que a regionalização gerou fatores mais ajustados à escassez hídrica vivenciada no Nordeste, e podem ser comprovados em análise conjunta com relatórios da ANA e mecanismos de órgãos

(Monitor de Secas) do governo, além de estudos científicos da área já realizados no Nordeste, sendo úteis para utilização em políticas públicas, pesquisa e tomada de decisão e reduzindo incertezas em estudos de escassez hídrica de produtos no Brasil.

Palavras-Chave: Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida. WSI. Unidades Hidrográficas Estaduais. Escassez Hídrica. Pegada Hídrica.

ABSTRACT

Both water scarcity models Water Stress Index (WSI) and AWARE, applied in the Life Cycle Impact Assessment (LCIA), were recommended for use in Brazil as long as a regionalization process is carried out to increase their sensitivity to regions with events of water scarcity, such as the northeastern region of Brazil. Previous work regionalized the AWARE model for the 449 State Hydrographic Units (SHUs) in Brazil defined by the National Water Agency (NWA). The objective of this work was to generate regionalized monthly and annual factors (WSI-BR-NE) for the 146 Northeastern SHUs of Brazil to enable a future sensitivity analysis of the results, considering the application of different models for the calculation of the impact caused in the water scarcity. For this, national hydrological data, hydrogeographic limits of the SHUs proposed by NWA and the aggregation of precipitation data from rainfall stations (RS) in SHUs were used. Qualitative comparisons were made to verify the difference between WSI and WSI-BR-NE, and quantitative comparisons, using the Geometric Standard Deviation (GSD^2), to verify the proximity of the results of the models WSI, WSI-BR-NE and AWARE-BR, in which the closer to zero, the closer the results are. As a result, annual and monthly WSI-BR-NE factors were obtained for the 149 SHUs. After analyzing the annual WSI-BR-NE, it was observed that 97 SHUs were categorized as Very High Water Stress (VHWS) and the regions that concentrate the largest number of these SHUs are in the state of Ceará and Rio Grande do Norte. Analyzing the monthly WSI-BR-NE, it was identified that October is the month with the most intense water scarcity, with 110 (75%) SHUs classified as VHWS. On the other hand, April was the mildest month, with 51 (35%) SHUs classified as Low Water Stress (LWS). In the qualitative comparison, it was observed that 112 SHUs rose from the category of water scarcity and 128 SHUs obtained greater factors in WSI-BR-NE. The biggest increase, of 9105%, was found for SHU Dos Frades, Buranhém and Santo Antônio (Bahia), while the biggest reduction (50%), in SHU Traipu (Alagoas). In addition, the use of the annual WSI resulted in 99.7% of the Northeast area classified as LWS, against 26% of the annual WSI-BR-NE. In the quantitative comparison between WSI and WSI-BR-NE, GSD^2 of 112 was obtained for the annual factors and 154 as the maximum value of the monthly factors. Between WSI-BR-NE and AWARE-BR-NE, the GSD^2 was 46 in the annual analysis and 113 as the maximum value in the monthly analysis. These results show that regionalization has generated factors more adjusted to the water scarcity experienced in the Northeast, and can be proven in a joint analysis with ANA reports and government mechanisms (Drought Monitor), in addition to scientific studies already carried out

in the Northeast, being useful for use in public policies, research and decision making and reducing uncertainties in studies of water scarcity of products in Brazil.

Keywords: Life Cycle Impact Assessment. WSI. State Hydrographic Units. Water scarcity. Water Footprint.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Linha de tempo das secas no Nordeste: as secas ao longo da história no Nordeste.	21
Figura 2 - Identificação das Regiões Hidrográficas do Brasil.....	23
Figura 3 - Unidades Hidrográficas Estaduais contidas no território nordestino.....	24
Figura 4 - Etapas de uma ACV.....	26
Figura 5 - Diferença entre métodos midpoint e endpoint da AICV.	27
Figura 6 - Diferenças entre limites hidrogeográficos no Nordeste: ANA versus WaterGAP ..	31
Figura 7 - Passo a passo para a obtenção dos resultados propostos no trabalho.	35
Figura 8 - Nordeste brasileiro subdividido em Unidades Hidrográficas Estaduais.....	38
Figura 9 - Distribuição das estações pluviométricas na região Nordeste do Brasil.	40
Figura 10 - Localização das UHEs sem dados de pluviosidade na região Nordeste.....	42
Figura 11 - Obtenção de dados de WSI anual e mensal para as 17 UHEs faltantes.....	43
Figura 12 - Interpolação dos dados de desvio padrão anual e mensal de 129 UHEs.	44
Figura 13 - Limite de bacias do WaterGAP adaptado para o modelo de UHEs (ANA).	47
Figura 14 - Gráfico da relação entre os valores de WSI e WTA.....	49
Figura 15 - Valores finais de WSI anual para todas as UHEs da região Nordeste.....	59
Figura 16 - Região Semiárida do Brasil.	61
Figura 17 - Análise dos valores de WSI-BR-NE anual dentro do polígono do semiárido.....	62
Figura 18 - WSI mensal para as UHEs da região Nordeste.....	65
Figura 19 - Área irrigada total: municípios com área irrigada superior a 500 hectares.	66
Figura 20 – Caracterização da região agrícola de Petrolina/Juazeiro.....	67
Figura 21 - Comparação dos resultados dos métodos WSI original e WSI regionalizado.....	68
Figura 22 - Estudo da seca no Nordeste nos meses mais escassos: 2017 a 2020.....	74
Figura 23 - Estudo da seca no Nordeste nos meses menos escassos: 2017 a 2020.....	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Quantidade de estações pluviométricas após a categorização.	51
Gráfico 2 - Boxplot para identificação de outliers nos valores do Fator de Variação.....	54
Gráfico 3 – Fator de Variação versus desvio padrão anual e desvio padrão mensal.....	54
Gráfico 4 - Quantidade de UHEs por categoria de escassez hídrica	63
Gráfico 5 - Quantidade de dados mensais por categoria de escassez hídrica.....	64
Gráfico 6 - Distribuição das UHEs por categoria de escassez hídrica (WSI Mensal).....	71
Gráfico 7 - Distribuição UHEs por categoria de escassez hídrica (WSI-BR-NE).	71
Gráfico 8 - WSI mensal x WSI-BR-NE mensal: área (m ²) por categoria de escassez hídrica	72
Gráfico 9 - Valores de GSD ² por mês na comparação WSI versus WSI-BR-NE	76
Gráfico 10 - Valores de GSD ² por mês na comparação WSI-BR-NE x AWARE-BR-NE.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de municípios por ano com decretos de emergência: 2011 – 2017.	22
Tabela 2 - Aplicação da regionalização em diversas categorias de impactos da AICV.....	32
Tabela 3 - Cálculo do Fator de Variação (FV). Exemplo: UHE Itapicuru (Bahia).....	45
Tabela 4 - Demanda Total Mensal e da Retirada Mensal. Exemplo: UHE Itapicuru (Bahia).	46
Tabela 5 - Demanda Total Anual e da Retirada Anual. Exemplo: UHE Itapicuru (Bahia).	46
Tabela 6 - WSI-BR-NE Mensal. Exemplo: UHE Itapicuru (Bahia).	46
Tabela 7 - WSI-BR-NE Anual. Exemplo: UHE Itapicuru (Bahia).	47
Tabela 8 - Categorias de escassez hídrica propostas por Núñez et al. (2015).....	49
Tabela 9 - Quantidade de UHEs em cada categoria de classificação de dados.....	52
Tabela 10 - Resumo da agregação dos dados de pluviosidade em UHEs.	52
Tabela 11 - Desvio padrão mensal e anual para UHEs sem dados de precipitação.	53
Tabela 12 - Resumo dos WSI-BR-NE anuais e mensais das UHEs do Nordeste.	55
Tabela 13 - WSI Anual x WSI-BR-NE Anual: bacias e UHEs por categoria.....	69
Tabela 14 - WSI Anual x WSI-BR-NE Anual: área territorial.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
ANA	Agência Nacional de Águas
AWARE	<i>Available Water REmaining</i>
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
EPLCA	<i>European Platform on Life Cycle Assessment</i>
FV	Fator de Variação
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i>
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
NE	Nordeste
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica
PSH	Programa de Segurança Hídrica
RH	Região Hidrográfica
SEDEC	Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento
SNGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
UHE	Unidade Hidrográfica Estadual
WaterGAP	<i>Water Global Assessment and Prognosis</i>
WSI	<i>Water Stress Index</i>
WTA	<i>Water To Availability</i>
WU	Retirada de Diferentes Usuários
WULCA	<i>Water Use in LCA</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Objetivo Geral.....	17
1.2	Objetivo Específicos.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	A escassez hídrica.....	18
2.1.1	<i>No mundo.....</i>	18
2.1.2	<i>No Brasil.....</i>	19
2.1.3	<i>Na região Nordeste.....</i>	21
2.2	Limites hidrográficos: Regiões Hidrográficas e Unidades Hidrográficas Estaduais.....	23
2.3	Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	25
2.4	Modelos para Avaliação de Impactos de Escassez Hídrica.....	28
2.5	Regionalização de modelos.....	30
2.6	Dados hidrológicos nacionais: Disponibilidade e demanda.....	32
2.7	Modelo Índice de Estresse Hídrico (Water Stress Index – WSI), proposto por Pfister <i>et al.</i> (2009) e Pfister e Bayer (2013)	33
2.8	Modelo AWARE.....	33
3	METODOLOGIA.....	35
3.1	Etapa 1: Modelo WSI.....	35
3.2	Etapa 2: Obtenção de dados.....	38
3.2.1	<i>Área de Estudo.....</i>	38
3.2.2	<i>Cálculo da disponibilidade hídrica e agregação de dados de demanda.....</i>	39
3.2.3	<i>Pré-seleção das Estações Pluviométricas e obtenção de dados de pluviosidade.....</i>	40
3.2.4	<i>Categorização dos dados de pluviosidade e agregação por UHE.....</i>	42
3.2.5	<i>Estratégia de obtenção de dados para UHEs sem estações pluviométricas...</i>	45
3.3	Etapa 3: Cálculo do WSI-BR-NE anual e mensal por UHE.....	45
3.4	Etapa 4: Comparação entre modelos de escassez hídrica.....	47
3.4.1	<i>Comparação qualitativa.....</i>	48
3.4.2	<i>Comparação quantitativa.....</i>	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51

4.1	Etapas 2 e 3: Análise dos fatores regionalizados WSI-BR-NE.....	51
4.1.1	<i>Resultado da categorização dos dados de pluviosidade e da agregação de dados pluviométricos por UHE.....</i>	51
4.1.2	<i>Valores de Desvio Padrão Mensal e Anual e Fator de Variação (FV).....</i>	53
4.1.3	<i>Valores de WSI-BR-NE Anual e Mensal.....</i>	55
4.1.3.1	<i>Fatores WSI-BR-NE Anuais.....</i>	59
4.1.3.2	<i>Fatores WSI-BR-NE Mensais.....</i>	62
4.2	Etapa 4: Comparações entre fatores.....	68
4.2.1	<i>Comparação Qualitativa.....</i>	68
4.2.1.1	<i>WSI anual x WSI-BR-NE anual.....</i>	68
4.2.1.2	<i>WSI mensal x WSI-BR-NE mensal.....</i>	70
4.2.2	<i>Comparação Quantitativa.....</i>	76
4.2.2.1	<i>WSI x WSI-BR-NE anual e mensal.....</i>	76
4.2.2.2	<i>WSI-BR-NE x AWARE-BR-NE.....</i>	77
5	CONCLUSÃO.....	79
	REFERÊNCIAS.....	81
	APÊNDICE A – CÁLCULO DO WSI-BE-NE MENSAL E ANUAL PARA TODAS AS UHES DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL.....	88
	APÊNDICE B – ESTRATÉGIA DE CÁLCULO ADOTADA PARA A AGREGAÇÃO DE DADOS DE CHUVA DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS EM UHE. EXEMPLO: PARTE DA UHE DE ITAPICURU.....	95
	APÊNDICE C – AS CATEGORIAS E A QUANTIDADE DE ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS EM CADA UHE.....	98
	APÊNDICE D – DADOS UTILIZADOS PARA REALIZAR A COMPARAÇÃO DOS VALORES DE WSI ORIGINAL MENSAL E WSI-BR-NE MENSAL.....	102

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas provocam eventos cada vez mais intensos e constantes, causando impactos na flora, fauna e nos seres humanos. Dentre esses impactos, pode-se citar o impacto na quantidade e distribuição de água ao longo do tempo e espaço, que vem ganhando cada vez mais importância na comunidade científica, política e na sociedade como um todo.

Segundo Kounina *et al.* (2013), a escassez hídrica pode ser definida como a quantidade de água consumida que se aproxima ou excede a capacidade de um corpo hídrico de se regenerar naturalmente. O aumento considerável de problemas relacionados à escassez hídrica tem gerado um aumento no número de publicações e relatórios referentes ao tema e com estudos cada vez mais específicos como os de Kummu *et al.* (2016) que fala sobre o fato de o mundo estar tomando um caminho rumo à escassez hídrica, citando causas e consequências, e o estudo de Pritchard (2019), que debate sobre a importância do degelo nas montanhas para a população asiática que vive no seu entorno e como o uso insustentável desse recurso pode causar uma crise hídrica sem precedentes na Ásia.

Inclusive, a questão hídrica tornou-se um ponto de extrema importância em tratados e acordos mundiais, configurando-se como um dos temas mais relevantes da Assembleia Geral da ONU de 2015, da qual, através da reunião de 193 Estados-Membros da ONU, gerou-se a Agenda 2030. Tal agenda é um relatório com objetivos que devem ser alcançados tendo em vista atingir o desenvolvimento sustentável no mundo, que visa amenizar, dentre outras questões, a atual situação hídrica alarmante (ONU, 2021).

Atualmente, mais de 4 bilhões de pessoas enfrentam episódios de escassez hídrica severa em até um mês por ano e, além disso, cerca de 2 bilhões de pessoas vivem em países que já enfrentam alto estresse hídrico durante todo o ano (ONU, 2019). O relatório “*Não deixar ninguém para trás*” (ONU, 2019) aponta que o crescimento da população mundial, o desenvolvimento socioeconômico (visto que a melhora de infraestrutura e o aumento de renda contribuem para o acesso a água) e as mudanças no padrão de consumo são as maiores causas do aumento de uso de água no mundo desde 1980 e da configuração da atual situação hídrica do mundo. Esse aumento cresce a uma taxa de cerca de 1% ao ano, sendo estimado que até 2050 haja um aumento de até 30% na demanda de água. A agricultura é um dos setores mais lembrados na questão da escassez hídrica por ser responsável por cerca de 70% de toda a água retirada de corpos hídricos e consumida no mundo (GRUÈRE; ASHLEY; CADILHON, 2018).

A situação no Brasil em relação ao aumento da taxa de demanda de água se assemelha a do restante do mundo, uma vez que a Agência Nacional de Águas (ANA) prevê um aumento de 24% da demanda hídrica do país até 2030 (ANA, 2019). Especificamente, a região Nordeste do país convive com episódios intensos e prolongados de seca desde o século XVIII e, infelizmente, esses episódios estão se tornando cada vez mais frequentes nessa região desde o século passado (LIMA; MAGALHÃES, 2018). Todavia, os maiores danos dos episódios de seca, antes reservados apenas para a região Nordeste, começaram a ser sentidos nas outras regiões do Brasil, desencadeando esforços nacionais voltados para a prevenção e convivência com a seca (SANTANA; SANTOS, 2020).

Dessa forma, por conta do agravamento da questão hídrica no mundo, modelos foram propostos para avaliar os impactos relacionados ao consumo de água com a intenção de criar políticas públicas, normas e relatórios voltados para o combate ou convívio à escassez hídrica. Dentre esses modelos, ressalta-se os propostos para aplicação em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

ACV é uma ferramenta de avaliação de impacto ambiental de produtos, processos e serviços internacionalmente aceita e padronizada pela Organização Internacional de Normatização (ISO). Essa ferramenta permite avaliar e quantificar os possíveis impactos ambientais derivados de um produto ou serviço por meio da observação, contabilização e compilação de todas as entradas e saídas ao longo do ciclo de vida, ou da fronteira de sistema utilizada (ISO 14044, 2009). Os impactos ambientais são calculados na etapa de Avaliação de Impactos de Ciclo de Vida (AICV) por meio de modelos de caracterização que geram fatores de impacto para as substâncias relacionadas à aspectos ambientais causadores de impactos ambientais. Dessa forma, modelos de caracterização utilizados na AICV conectam dados de inventário a categorias de impactos.

Os modelos utilizados para avaliar o impacto de um produto na escassez hídrica, no âmbito da AICV, relacionam o consumo de água com a escassez hídrica em uma bacia hidrográfica. Esses modelos geram fatores de escassez, calculados para as diferentes bacias mundiais, que demonstram o desequilíbrio entre oferta e demanda hídrica nos limites dessas bacias (ANDRADE *et al.*, 2019). Diversos modelos de AICV foram desenvolvidos com o intuito de estudar e avaliar os impactos causados pela escassez hídrica, como por exemplo: Frischknecht *et al.* (2006), Bösch *et al.* (2007), Pfister *et al.* (2009), Milà i Canals *et al.* (2009) (ADP e WSI), Boulay *et al.* (2011), Hoekstra *et al.* (2011), Pfister e Bayer (2013), Loubet *et al.* (2013), Bayart *et al.* (2014), Berger *et al.* (2014) e Motoshita *et al.* (2014).

Castro *et al.* (2018) realizaram uma revisão crítica desses modelos utilizando quatro critérios: (i) abrangência do indicador; (ii) robustez científica; (iii) disponibilidade de fatores de caracterização para o Brasil; e (iv) potencial de regionalização desses fatores utilizando a divisão hidrográfica adotada pela ANA. O Resultado dessa avaliação mostrou que o modelo “Water Stress Index” (WSI) de Pfister *et al.* (2009) e Pfister e Bayer (2013) e o modelo AWARE (Boulay *et al.*, 2018) eram os mais indicados para aplicação no Brasil. Entretanto, indicou-se a regionalização desses modelos para aumentar a sua sensibilidade às regiões com eventos de escassez hídrica para que, dessa forma, pudessem gerar resultados mais condizentes com a realidade brasileira, em especial, a região Nordeste do Brasil, historicamente conhecida como submetida a estresse hídrico. Para tanto, a regionalização do modelo AWARE para todo o Brasil foi feita em Andrade *et al.* (2019).

Para complementar o acervo de estudos sobre o tema, ressaltar diferentes realidades da região Nordeste quanto o potencial de escassez hídrica e incrementar o processo de regionalização proposto por Castro *et al.* (2018), esse trabalho realizou a regionalização do modelo WSI de Pfister *et al.* (2009) e Pfister e Bayer (2013) para o Nordeste brasileiro. Os fatores regionalizados são analisados buscando identificar bacias hidrográficas mais susceptíveis à escassez e a sensibilidade desses fatores em comparação a outros fatores disponíveis. Espera-se, com esse trabalho, contribuir para decisões na escolha de fatores de escassez hídrica, sendo cada vez mais adequados e relevantes para à realidade da região estudada.

1.1 Objetivo Geral

- Regionalizar o modelo WSI proposto por Pfister *et al.* (2009) e Pfister e Bayer (2013) para a região Nordeste do Brasil.

1.2 Objetivos Específicos

- Gerar fatores de caracterização regionalizados (WSI-BR-NE) para as Unidades Hidrográficas Estaduais (UHE) da região Nordeste definidas pela ANA;
- Analisar a escassez hídrica do Nordeste por meio do uso do WSI-BR-NE;
- Comparar de forma quantitativa e qualitativa os fatores WSI-BR-NE anuais e mensais com os fatores WSI anuais e mensais para atestar a diferença após o processo de regionalização;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A escassez hídrica

2.1.1 No Mundo

Segundo Kounina *et al.* (2013), a escassez hídrica pode ser definida como a quantidade de água consumida que se aproxima ou excede a capacidade de um corpo hídrico de se regenerar naturalmente.

O mundo já enfrentou grandes eventos de escassez hídrica, seja por causa de eventos climáticos naturais ou seja pelo uso desacerbado desse recurso. Um conhecido exemplo da falta de planejamento hídrico foi a gestão Soviética na utilização da água do Mar de Aral, antigamente quarto maior lago do mundo, localizado no Uzbequistão. O lago que possuía cerca de 60 mil km² de área e com profundidades de até 40 metros secou, principalmente, pelas políticas agressivas de irrigação extensiva, realizadas para estimular a produção de algodão na região (QOBILOV, 2015).

O desaparecimento do Mar de Aral é considerado uma das maiores alterações causadas pelo ser humano em toda a história moderna. À medida que o lago secava, os agrotóxicos utilizados, que eram carregados até o corpo hídrico pela chuva, se tornavam cada vez mais concentrados e ocasionaram a morte de muitos peixes do lago. Além disso, o clima da região mudou, diminuindo a precipitação e acelerando o processo de desaparecimento do lago e, dessa forma, houve um colapso econômico e social no país. Em 2005, o lago possuía menos de 10% da sua área original (QOBILOV, 2015).

Atualmente, mais de 4 bilhões de pessoas enfrentam episódios de escassez hídrica severa em até um mês por ano e, além disso, cerca de 2 bilhões de pessoas vivem em países que já enfrentam alto estresse hídrico durante todo o ano (ONU, 2019), ou seja, tais regiões possuem uma demanda por água próxima, ou até mesmo superior, ao seu reabastecimento hídrico (ISO 14046, 2014).

Com o intuito de mudar esse cenário que se perpetua por décadas e se agrava pela má utilização da água, a ONU, em 2015 após reunir 193 Estados-Membros da ONU em Nova Iorque, nos Estados Unidos da América, adotou um plano de ação global para um 2030 sustentável. Esse plano, cujo documento foi adotado na Assembleia Geral da ONU em 2015, foi intitulado de “Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável” (ONU, 2021).

O documento conta com 17 Objetivos para atingir o Desenvolvimento Sustentável (ODS), que englobam 169 metas com indicadores específicos para sua medição/avaliação, e seu objetivo primordial é a erradicação da pobreza em todas as suas formas, tópico que foi reconhecido pelos 193 Estados-Membros da ONU como maior desafio global (ONU, 2021).

Um dos ODS criados para ajudar a alcançar o Desenvolvimento Sustentável foi o ODS 6, com seis metas, intitulado de *Água potável e saneamento*, que visa “Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos” (ONU, 2021). Esse objetivo reconhece a dificuldade de muitos países em lidar com a gestão dos seus recursos hídricos, fato que não está reservado apenas para nações com baixa disponibilidade hídrica, mas, também, para países como o Brasil, o qual possui aproximadamente 12% de toda a água doce do mundo.

2.1.2 No Brasil

Apesar de o Brasil como um todo possuir uma grande oferta hídrica, várias localidades do país enfrentam fortes episódios de escassez hídrica (ANA, 2019). Isso ocorre pelo fato de o Brasil ser um país de escala continental e, dessa forma, seu território abriga uma grande diversidade de fenômenos climatológicos, considerável quantidade de tipos de climas e diferentes regimes de precipitação que geram diferentes cenários de disponibilidade hídrica. Por exemplo, em média 260.000 m³/s de água correm pelo território brasileiro, dos quais 205.000 m³/s fazem parte da bacia do rio Amazonas, restando apenas 55.000 m³/s de vazão média para todo o resto do país (ANA, 2019).

Mesmo assim, segundo projeções realizadas pela ANA (2019), a demanda hídrica do Brasil aumentará em cerca de 24% até o ano de 2030 (de 2.000 m³/s para cerca de 2.500 m³/s). Tal aumento, segundo o relatório, ocorrerá por conta do aumento do consumo humano e do consumo dos diversos setores da economia no Brasil. A irrigação, por exemplo, aumentará cerca de 30%, chegando a uma vazão média anual de retirada de 1.313 m³/s.

A questão hídrica sempre foi um assunto abordado no Brasil e, ao longo da história do país, várias leis/normas foram elaboradas com a intenção de melhorar a gestão dos recursos hídricos, além de salientar a importância e o caráter finito da água. Em ordem cronológica, alguns desses documentos foram: Constituição Federal de 1981, Código Civil de 1916 e a Constituição Federal de 1934 seguida pelo Decreto nº 24.643 de 10 de julho de 1934 (conhecido como o “Código de Águas”) (SOARES, J.; SOARES, R.; BARBOSA, 2019).

Esse movimento de fortalecimento do arcabouço jurídico entorno da água ganhou força no Brasil a partir dos anos 1980 por conta dos sucessivos, e intensos, episódios de seca que ocorreram no país e, principalmente, pela crescente importância do tema no cenário internacional. Nesse período, documentos importantes para a preservação dos recursos hídricos foram gerados, como a resolução nº 20/1986 do CONAMA, que estabeleceu padrões de qualidade de água nos corpos hídricos, além de classificá-los em classes de acordo com seus usos preponderantes. Ressalta-se, também, a Constituição Federal de 1988 que, diferente de todas as outras Constituições, deu enfoque especial aos recursos hídricos. (SOARES, J.; SOARES, R.; BARBOSA, 2019).

Todavia, o marco do combate a escassez hídrica e preservação dos recursos hídricos no Brasil ocorreu com a criação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), promulgada pela Lei 9.433 de 1997. O PNRH é um instrumento de gestão hídrica voltado para os recursos hídricos de domínio federal e foi o responsável pela criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (ANA, 2021b). Além disso, a PNRH tem como principais características o seu caráter descentralizador, pelo fato de integrar a União e estados, e participativo, pela adoção dos comitês de bacias (ANA, 2021b).

Contudo, mesmo com um bom arcabouço legal e inserido em tratados internacionais, o Brasil ainda encontra dificuldades para melhorar o gerenciamento da água por conta de questões técnicas e/ou questões políticas. Um exemplo recente dessa má gestão foi a crise hídrica enfrentada pela região Sudeste do país entre 2014 e 2017. Apesar da contribuição do clima na crise, por meio da diminuição drástica dos níveis de precipitação, não houve planejamento, políticas de médio/longo prazo e políticas reativas suficientes por parte do governo para combater os efeitos adversos da crise (JARDIM, 2015; SORIANO, 2016).

Esses acontecimentos resultaram em um cenário no qual milhões de habitantes (principalmente de São Paulo) foram afetados, com o governo de São Paulo chegando a ter necessidade de autorizar o uso do segundo volume morto do Sistema Cantareira (JARDIM, 2015; SORIANO, 2016). Essa crise foi tão marcante, que o monitor de secas, antes focado apenas na Região Nordeste, passou a englobar em novembro de 2018 o estado de Minas Gerais. Atualmente, o monitor de secas engloba de forma integral as regiões Nordeste, Sudeste e Sul e, de forma parcial, as regiões Norte e Centro-Oeste (ANA, 2021a).

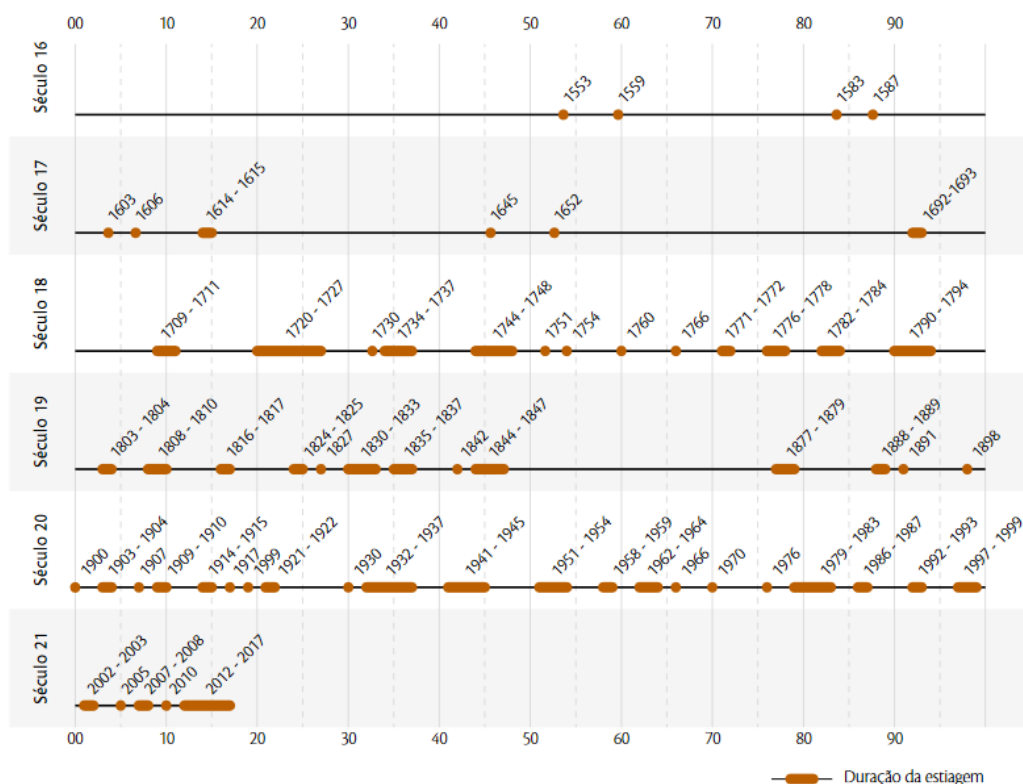
Infelizmente, esses episódios de má gestão somados a dinâmica climática são encontrados há muito tempo em outra região do Brasil, a região Nordeste.

2.1.3 Na região Nordeste

Região mais afetada do Brasil quando se trata de escassez hídrica, o Nordeste possui uma área de aproximadamente 1.554.000 km², 56.560.081 habitantes (IBGE, 2019) e é composto por nove estados: Alagoas (AL), Bahia (BA), Ceará (CE), Maranhão (MA), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Piauí (PI), Rio Grande do Norte (RN) e Sergipe (SE). Além disso, contém duas das cinco cidades mais populosas do Brasil que são Fortaleza, com 2.686.612 de habitantes, e Salvador, com 2.886.698 habitantes.

Historicamente, a região Nordeste está atrelada a escassez hídrica, sendo alvo de diversos programas e políticas públicas do governo por sofrer com episódios intensos e constantes de seca (IPEA, 2019). Pode-se citar dois exemplos, dentre as várias ocorrências (Figura 1), de seca que ocorreram apenas no território nordestino: 1) Um dos episódios mais conhecidos no Nordeste foi a seca entre o ano de 1979 e 1985, que vitimou cerca de 3,5 milhões de pessoas, a maioria crianças vítimas de desnutrição (LIMA; MAGALHÃES, 2018).

Figura 1 - Linha de tempo das secas no Nordeste: as secas ao longo da história no Nordeste.



Fonte: (LIMA; MAGALHÃES, 2018).

Estima-se que o período de seca de 1979 a 1985 tenha causado perdas significativas na produção de culturas agrícolas como o feijão (72%), milho (82%), arroz (52%) e algodão (70%), tudo isso apenas no Nordeste (CGEE, 2016).

O segundo exemplo, e o mais recente, foi o a seca que acometeu o Nordeste entre os anos de 2012 e 2017, considerada o mais longo evento após o ocorrido entre 1720 e 1727 (LIMA; MAGALHÃES, 2018). Segundo dados da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC, 2017), contabilizou-se no Nordeste, em 2013, 1.345 municípios com decretos de emergência por conta da escassez hídrica (Tabela 1). Além disso, no decorrer da seca, os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Piauí e Paraíba chegaram a ter, respectivamente, 96%, 96%, 94% e 91% dos seus municípios em situação de emergência (SANTANA; SANTOS, 2020).

Tabela 1 - Quantidade de municípios por ano com decretos de emergência: 2011 – 2017.

Estados do NE com atuação da Sudene	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Alagoas	0	36	59	43	38	40	71
Bahia	40	263	227	171	133	79	224
Ceará	7	177	177	176	139	127	94
Maranhão	0	73	139	11	2	11	0
Paraíba	11	196	202	198	197	196	197
Pernambuco	11	121	130	125	126	125	71
Piauí	4	194	211	204	209	122	42
Rio Grande do Norte	0	142	161	160	153	153	153
Sergipe	5	18	39	17	8	16	27
Total de Municípios	78	1220	1345	1105	1005	869	879

Fonte: Adaptado de (SANTANA; SANTOS, 2020).

Por consequência desses episódios de escassez hídrica e com intenção de minimizá-los, o Nordeste se tornou a região do Brasil com a maior concentração de reservatórios voltados para o abastecimento humano, com aproximadamente 90% de todos os reservatórios. Todavia, mesmo com esse tipo de ação, o Nordeste continua como destaque na questão de conflitos por água (CPT, 2020; ANA, 2020).

Segundo documento publicado pela Comissão Pastoral da Terra (CPT, 2020; ANA, 2020), o Nordeste foi a região brasileira que mais sofreu em termos de conflitos por água em 2019. Dentre os 489 conflitos que ocorrem no Brasil em 2019, 234 (48%) ocorrem em território nordestino. Especificamente, estiveram envolvidas nesses episódios cerca de 32.119 famílias nordestinas, equivalente a 46% de todas as famílias afetadas em todo o Brasil.

Esses conflitos, segundo a CPT (2020), envolveram três questões específicas que foram: Apropriação Particular, quando ocorre uma diminuição ou impedimento de acesso à água por parte da população quando um corpo hídrico, ou parte dele, é apropriado por grandes produtores agropecuaristas ou indústrias para fins próprios, dificultando o acesso à água por

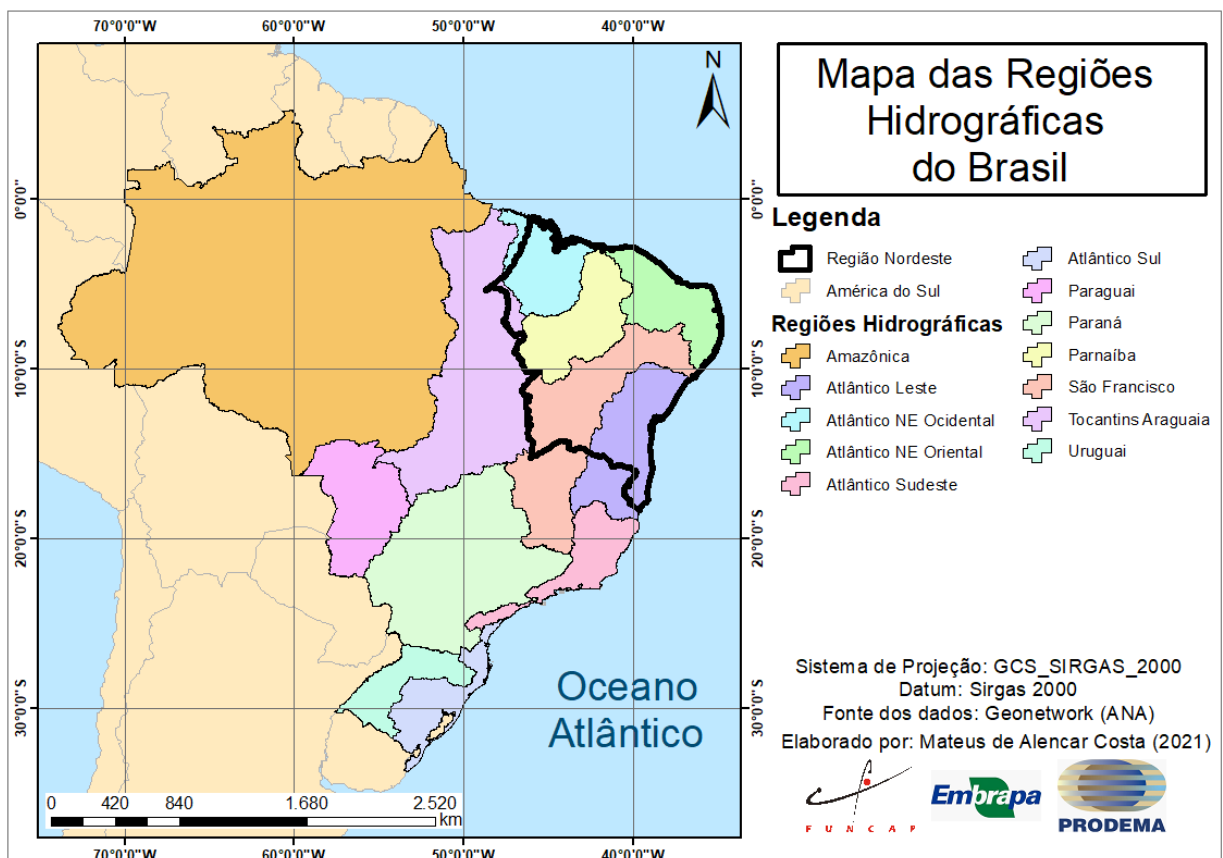
parte da parcela mais necessitada da população; Uso e Preservação das Águas, quando não há o cumprimento de procedimentos legais como EIA/RIMA, que pode levar a destruição e poluição de matas ciliares e corpos hídricos; por último, Barragens e Açudes, que são conflitos que ocorrem quando o governo está tentando implementar uma nova barragem e, principalmente, quando as políticas de reassentamento são frágeis.

2.2 Limites hidrográficos: Regiões Hidrográficas e Unidades Hidrográficas

Estaduais

Segundo ANA (2020), Regiões Hidrográficas (RHs), são bacias, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas circunvizinhas que possuem características sociais, naturais e econômicas similares. Responsável pela subdivisão do Brasil em RHs, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) instituiu a criação de 12 regiões hidrográficas que são: Amazônica, Atlântico Leste, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Nordeste Oriental, Atlântico Sudeste, Atlântico Sul, Paraná, Paraguai, Parnaíba, São Francisco, Tocantins-Araguaia e Uruguai (Figura 2).

Figura 2 - Identificação das Regiões Hidrográficas do Brasil



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

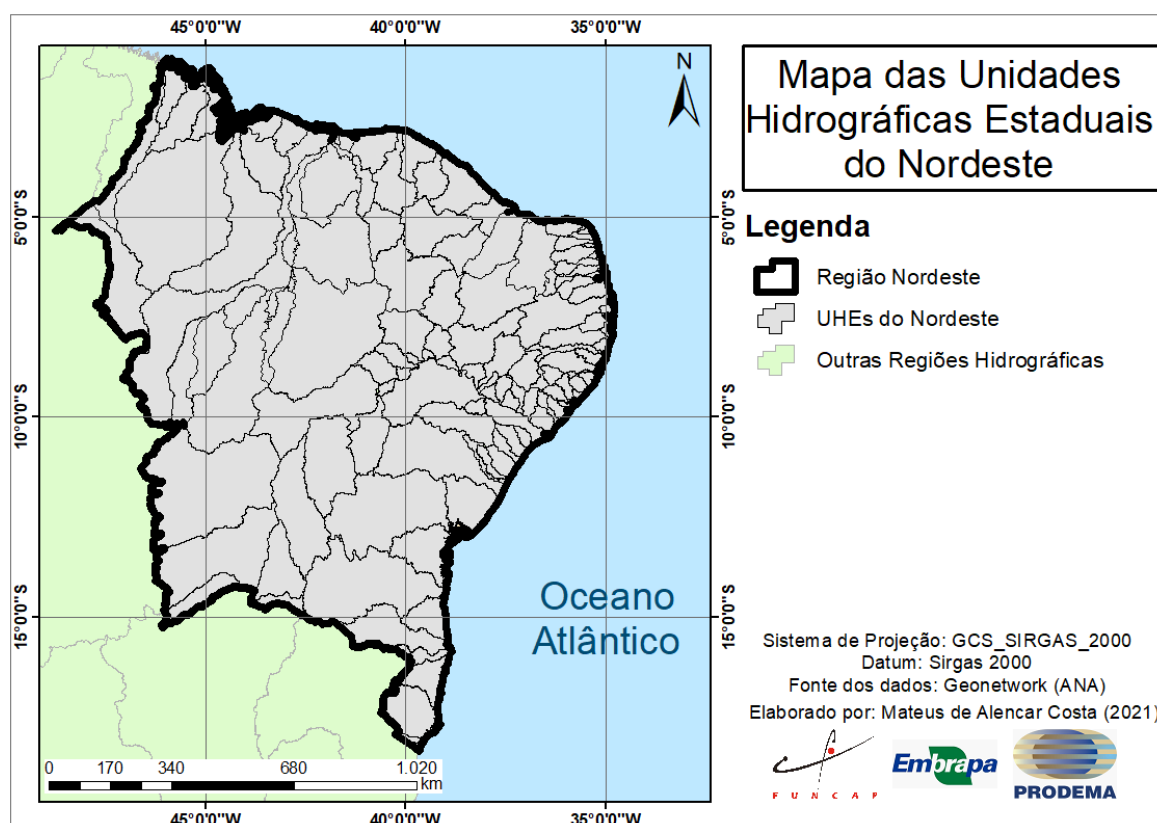
Especificamente, a região Nordeste abrange seis das dozes RHs do Brasil, são elas: Atlântico NE Ocidental, Atlântico NE Oriental, Atlântico Leste, Parnaíba, São Francisco e Tocantins Araguaia. Todavia, apenas as RHs Atlântico NE Oriental e Parnaíba estão completamente inseridas no território nordestino (Figura 2).

A Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil de 2013 é o documento que melhor caracteriza as RH brasileiras, o qual trouxe informações gerais como área, população, quantidade de estados, municípios inseridos e informações específicas como balanço hídrico qualitativo, tipos de usos consuntivos por RH, precipitação por RH, unidades de conservação por RH etc.

Mesmo ganhando novas versões todos os anos, os novos documentos pecam no alto grau de compilação dos dados que, apesar de torná-los documentos de leitura mais acessível para toda a população, dificultam o acesso a informações pontuais relevantes por RH como, por exemplo, o balanço hídrico quantitativo realizado por RH.

As 12 RHs do Brasil são divididas em 449 Unidades Hidrográficas Estaduais (UHEs), entretanto, apenas 146 UHEs compõem o Nordeste (Figura 3).

Figura 3 - Unidades Hidrográficas Estaduais contidas no território nordestino.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Segundo a ANA (2020), o recorte das UHEs é utilizado para facilitar a gestão dos recursos hídricos no País pelo fato de a situação hídrica diferir bastante de uma região hidrográfica para outra. Dessa forma, as peculiaridades de cada região são preservadas e as medidas de gestão tomadas são próprias para a situação específica estudada, já que a divisão por UHE também facilita a criação de base de dados de disponibilidade e demanda hídrica, qualidade da água e vazão.

2.3 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Nas últimas décadas, por conta da cobrança de diversos setores da sociedade e da responsabilidade de cumprir tratados internacionais, indústrias, empresas e governos têm voltado sua atenção aos impactos ambientais causados pelo seu modo de viver e/ou por conta de suas atividades fins e como tais processos podem causar esgotamento de recursos naturais (HOEKSTRA; WIEDMANN, 2014). Dessa forma, visando atender essas demandas e incentivar boas práticas, muitos países, especialmente os europeus, já começaram a atrelar a compra de produtos à certificados ambientais (SEBRAE, 2016).

Recentemente, medidas mais restritivas estão em análise para serem implementadas como, por exemplo, a possível apreciação pelo parlamento europeu de uma proposta de criação de uma nova taxa sobre carnes, visando refletir o impacto ambiental desse produto (VALOR ECONÔMICO, 2020). Na busca de uma ferramenta que pudesse auxiliar nos processos de tomada de decisão, na criação de políticas públicas, no uso consciente dos recursos naturais e no avanço do estado da arte dos estudos ambientais (IBICT, 2015), surge a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

A ACV é uma ferramenta de gestão ambiental que possui padronização internacional pela série ISO 14040 (IBICT, 2014), cuja metodologia possibilita a avaliação e a quantificação dos possíveis impactos ambientais decorrentes de um produto, processo ou serviço por meio da agregação de dados de entradas e saídas ao longo de todo o seu ciclo de vida ou parte dele. Além disso, a ACV foca no uso de dados quantitativos, cujos resultados obtidos conseguem refletir os potenciais impactos causados compartmentados em categorias de impacto, possibilitando a comparação entre produtos similares e/ou a melhoria dos processos produtivos envolvidos no estudo.

A ACV é estruturada em quatro fases, ilustradas na Figura 4 e explicadas a seguir:

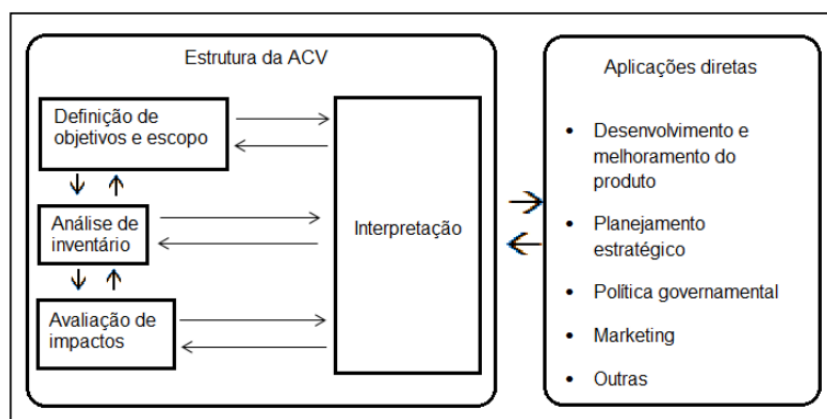
- a) Definição de objetivo e escopo: nessa etapa ocorre a definição do objetivo do estudo que engloba a justificativa da elaboração do seu estudo, a quem ele é direcionado e para o que

vai ser utilizado. Aqui também se define o escopo, o qual inclui como tópicos necessários para sua definição a descrição de aplicabilidade tecnológica (se a aplicação é viável com a tecnologia existente e como ela será realizada), geográfica (onde esse estudo poderá ser aplicado) e temporal do estudo (quão relevante o estudo será com o passar dos anos, ele se tornará obsoleto?). Existe também a necessidade de definir a (1.1) unidade funcional a ser utilizada no estudo e a (1.2) fronteira do sistema considerada, que são subtópicos do escopo do projeto. Ressalta-se que por ser um processo iterativo, o escopo do estudo pode vir a ser alterado e ajustado pelo condutor do estudo.

1.1. O objetivo da unidade funcional (UF) é definir quantitativamente as funções identificadas em um produto. Além disso, desde que possuam a mesma UF, é possível comparar e mensurar diferentes sistemas (ISO, 2009b).

1.2. A fronteira de sistema são os critérios escolhidos pelo pesquisador que vão determinar quais processos do objeto de estudo devem ser incluídos na ACV (ISO, 2009a), como por exemplo, “do berço-ao-túmulo”, “do berço-ao-portão”, “do portão-ao-portão” e etc.

Figura 4 - Etapas de uma ACV.



Fonte: ISO 14040 (2009).

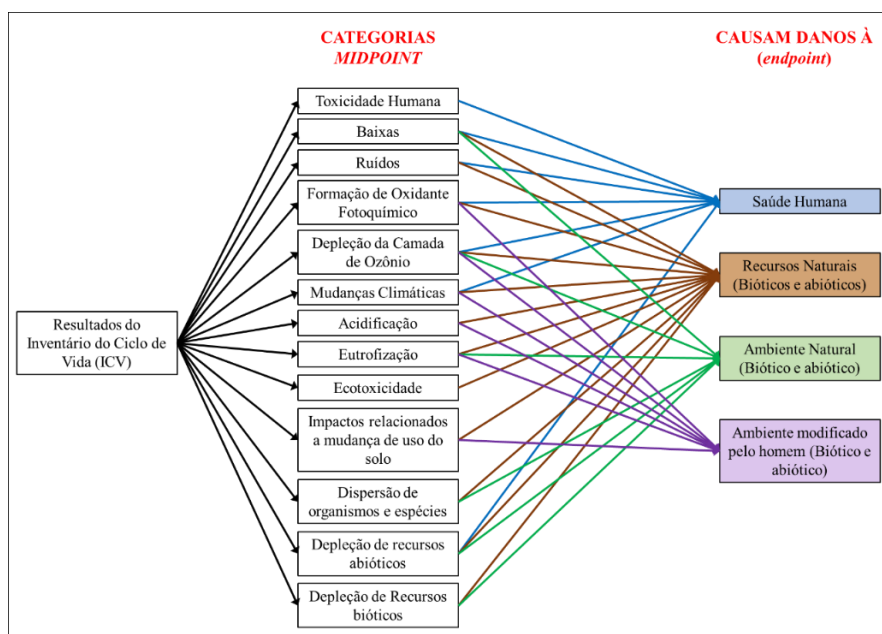
- b) Análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV): etapa de levantamento de dados de entrada e saída relacionados a todos os processos envolvidos no objeto de estudo, sendo necessário a realização de um processo de quantificação do uso de insumos e emissões em cada processo incluído no escopo.
- c) Análise de Impacto Ambiental de Ciclo de Vida (AICV): possui o objetivo de analisar e estudar a importância dos potenciais impactos ambientais gerados pelos aspectos ambientais inventariados. Nessa etapa ocorre a ligação de dados de inventário a categorias de impacto, como mudanças climáticas, depleção de recursos, eutrofização etc. (BONTON

et al., 2012). Com essa ligação, os dados obtidos na etapa anterior (ICV) passam a ter um significado ambiental relevante, com informações quantificadas sobre impactos no meio ambiente, na saúde humana ou nos recursos naturais.

Os modelos de caracterização, utilizados para o cálculo dos indicadores de categoria, podem ser separados em dois grupos: *midpoint* (impacto intermediário) e *endpoint* (dano ambiental) (Figura 5):

- Os modelos *midpoint* consideram efeitos ambientais intermediários na cadeia de causa e efeito ambiental. Ademais, cobre todas os recursos relacionados aos impactos que possuem práticas e modelos de caracterização disponíveis (GUINÉE *et al.*, 2002).
- Já os modelos de *endpoint*, consideram o dano causado pelo uso de recursos ou emissões na saúde humana, na depleção dos recursos naturais ou na qualidade dos ecossistemas. Logo, a caracterização leva em consideração de forma integral o mecanismo ambiental até o seu ponto final, referindo-se a um impacto específico.

Figura 5 - Diferença entre métodos *midpoint* e *endpoint* da AICV.



Fonte: UNEP/SETAC (2005). Adaptada.

- d) **Interpretação de resultado:** aqui avalia-se as possíveis limitações do estudo, além de análises de incerteza (para verificar a precisão dos dados e os efeitos adversos das agregações realizadas) e de sensibilidade dos dados (identificar as variáveis que mais influenciam nos resultados, positivos ou negativos, do estudo.) Tem como principal objetivo aumentar a confiança e significado do estudo de ACV em andamento (ISO 14040, 2009).

Nas últimas décadas, a ACV tem ganhado importância no mundo e, especialmente, na Europa. Segundo a Comissão de Meio Ambiente da Europa, a ACV é a melhor metodologia para ser utilizada em no processo de avaliação de potenciais impactos ambientais dos produtos atualmente disponíveis. Além disso, criou-se a *European Platform on Life Cycle Assessment* (EPLCA), responsável por promover a ACV como metodologia de avaliação ambiental integrada usada, inclusive, para criação de políticas públicas para os países da União Europeia.

Entretanto, características da ACV podem ser vistas também na elaboração de documentos fora da Europa, como é o caso dos ODS. Especificamente, ressalta-se a meta 6.4, e os seus indicadores, do ODS 6, pela sua proximidade com a motivação dos estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV):

Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores, assegurando retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez. (IPEA, 2021).

O trecho transcrito retrata o compromisso assumido pelo Brasil especificamente para essa meta. Para atingir esse objetivo, foram propostos os indicadores 6.4.1, que visa avaliar a eficiência do uso dos recursos hídricos na agricultura irrigada, indústria e serviços, e o 6.4.2, que tem o intuito de estimar a pressão exercida pela demanda hídrica do país (todas os tipos de uso) nos recursos de água doce (IPEA, 2021).

2.4 Modelos para Avaliação de Impacto de Escassez Hídrica

Segundo projeções da ONU (2019), a situação hídrica do mundo tende a piorar ainda mais nos próximos anos. Os principais motivos dessa piora são o desenvolvimento econômico das nações e o crescimento populacional, que aumentam a demanda por água ao redor do mundo. Por conseguinte, impulsionado pela crescente preocupação com a escassez hídrica e seus efeitos, o desenvolvimento de modelos voltados para a avaliação da escassez hídrica ganhou força nas últimas décadas com o objetivo de melhorar a gestão de água no mundo (CASTRO *et al.*, 2018). Todavia, apesar de avaliarem a mesma categoria de impacto, esses modelos levam em consideração diferentes informações para a sua aplicação. Essas diferenças estão presentes desde a definição de escassez hídrica adotada até a utilização de diferentes recortes espaciais e abrangência temporal que, conseqüentemente, geram diferentes fatores de caracterização (CASTRO *et al.*, 2018; ANDRADE *et al.*, 2019).

Dessa forma, motivados pelos diferentes resultados que poderiam ser obtidos em um estudo de escassez hídrica e pela falta de estudos sobre o tema para países fora da Europa, Castro *et al.* (2018) realizaram uma revisão de literatura crítica visando identificar e avaliar os modelos de escassez hídrica, disponíveis até junho de 2017, com a intenção de realizar uma comparação entre eles. Os modelos foram identificados na plataforma *Web of Science* através da utilização das seguintes palavras-chave: “*life cycle impact assessment*”, “*water scarcity*”, “*water footprint*” e “*characterization model*” e apenas modelos *midpoint* foram considerados (Castro *et al.*, 2018).

Como resultado da revisão de literatura crítica, identificou-se 12 modelos voltados para escassez hídrica: Frischknecht *et al.* (2006), Bösch *et al.* (2007), Pfister *et al.* (2009), Milà i Canals *et al.* (2009) (ADP e WSI), Boulay *et al.* (2011), Hoekstra *et al.* (2011), Pfister e Bayer (2013), Loubet *et al.* (2013), Bayart *et al.* (2014), Berger *et al.* (2014) e Motoshita *et al.* (2014).

A avaliação realizada nos 12 modelos identificados levou em consideração os seguintes critérios (Castro *et al.*, 2018):

- i. Abrangência do indicador (*Indicator broadness*): refere-se à abrangência de cada modelo quando se trata do conceito de escassez hídrica utilizado, da cobertura geográfica adotada e os fluxos considerados no modelo (água superficial, subterrânea e umidade do solo);
- ii. Robustez científica (*Scientific robustness*): refere-se à confiabilidade do modelo dentro da comunidade científica e à transparência no processo de elaboração dos fatores de caracterização proposto pelo referido modelo;
- iii. Disponibilidade de Fatores de caracterização para o Brasil (*Availability of CFs for Brazil*): refere-se à existência, ou não, de fatores gerados para o Brasil. Além disso, quais o limite geográfico (específico ou não) e espaço temporal (mês ou ano) foram utilizados;
- iv. Potencial de regionalização dos fatores de caracterização através da utilização da divisão hidrográfica adotada pela ANA (*Regionalization potential of CFs for Brazilian geopolitical hydrographic divisions*): refere-se à disponibilidade (facilitada) de dados necessários para realização de um processo de regionalização. Esses dados em questão são relacionados às informações necessárias para suprir a necessidade de cada modelo e conseguir calcular todas as suas variáveis.

Esses critérios foram utilizados para permitir que cada modelo recebesse uma pontuação e, assim, os modelos que recebessem a maior pontuação seriam os recomendados para utilização no Brasil. Dessa forma, Castro *et al.* (2018) identificaram que o modelo de Pfister *et al.* (2009) e Pfister e Bayer (2013) e o modelo AWARE (Boulay *et al.*, 2018) foram considerados os melhores para uso no Brasil, desde que um processo de regionalização fosse realizado. Seguindo tal conclusão, Andrade *et al.* (2019) realizaram a regionalização do modelo AWARE para todo o Brasil utilizando dados hidrológicos nacionais e limites hidrogeográficos propostos pela ANA.

Mesmo o AWARE sendo o modelo escolhido por consenso pela *Water Use in Life Cycle Assessment* (WULCA), os modelos Pfister *et al.* (2009) e Pfister e Bayer (2013), que ainda precisam ser regionalizados, mostraram-se promissores para uso em estudos no Brasil, de acordo com os resultados obtidos por Castro *et al.* (2018). Tais modelos utilizam o WSI (*Water Stress Index*) anual e mensal, respectivamente, como fator de caracterização, onde seus resultados estão inseridos em um intervalo de 0,01 a 1,00 (seguindo uma função logística) e expressam a fração de água consumida da qual os outros usuários são potencialmente privados, sendo baseado no sistema de retiradas de disponibilidade (WTA) do WaterGAP (PFISTER; BAYER, 2013).

2.5 Regionalização de modelos

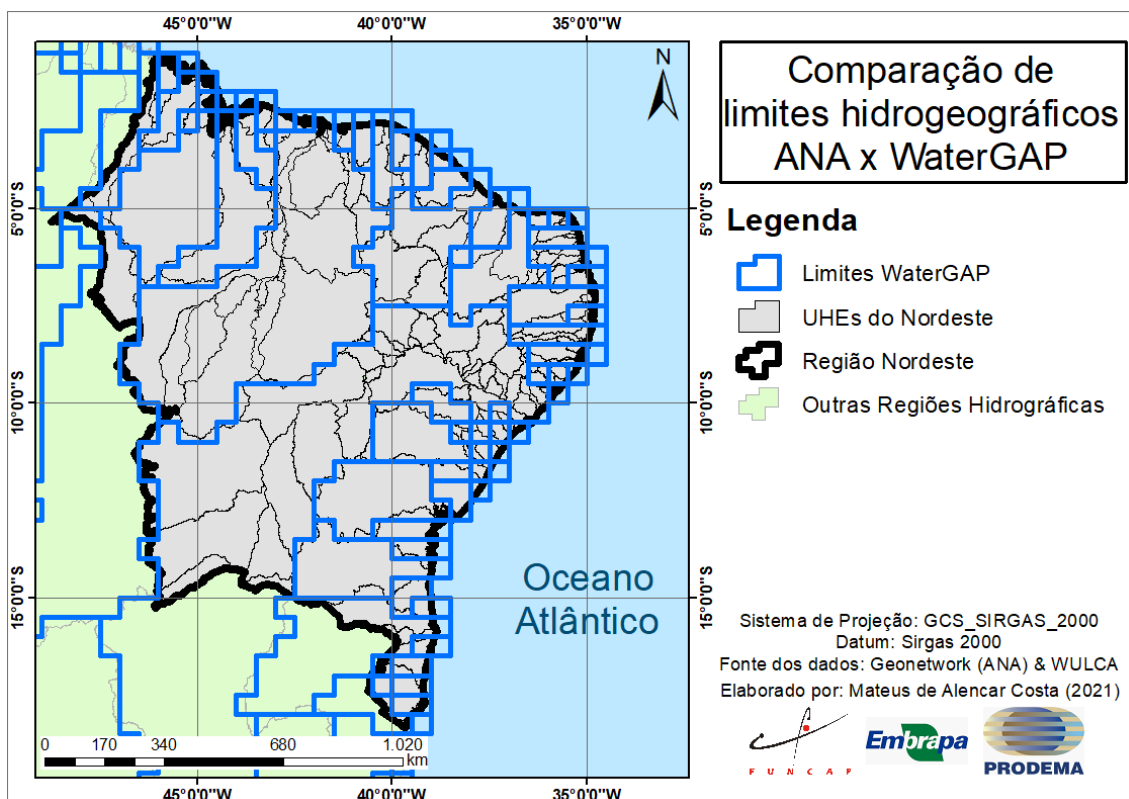
O constante desenvolvimento de modelos de AICV para os mais diversos tipos de categorias de impacto fez surgir uma dúvida sobre a importância do fator localização geográfica. Esse questionamento foi movido pela hipótese que um produto, serviço ou processo poderia causar um mesmo tipo de impacto, no entanto, com diferentes intensidades, dependendo da sua localização. Dito isso, desenvolvedores de modelos de AICV reconheceram que a localização afeta diversos tipos de categorias de impactos, sendo o tipo de impacto e sua intensidade influenciados por esse fator (MUTEL, 2018).

Dessa forma, a regionalização de modelos de AICV se tornou um forte e crescente campo de pesquisa ao redor do mundo sob a influência da UNEP/SETAC *Life Cycle Initiative* e, no Brasil, sob a influência da RAICV (A Rede de Pesquisa em Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida), cujo um dos principais objetivos é “[...] a formação e a interação entre grupos de pesquisa existentes no desenvolvimento, no aperfeiçoamento e na aplicação dos métodos de avaliação de impacto do ciclo de vida.” (MUTEL, 2018; RAICV, 2020). O crescimento dessa área deveu-se, dentre outros motivos, da necessidade de obter fatores de caracterização através do uso de recortes espaciais cada vez mais específicos e detalhados, com o intuito de gerar

fatores cada vez mais precisos do que os disponibilizados pelos modelos originais. Tal processo visa a melhoria de processos de tomadas de decisões por parte do governo, empresas e para o contínuo desenvolvimento da pesquisa na área de ACV. No caso do Brasil, o recorte específico que pode ser adotado é o das Unidades Hidrográficas Estaduais (UHEs) (Figura 7).

Os modelos de escassez hídrica sinalizados por Castro *et al.* (2018) utilizam o modelo hidrológico global WaterGAP (*Water Global Assessment and Prognosis*) v 2.0 como fonte de dados hidrológicos, o qual permite a realização de cálculo dos fluxos e dos armazenamentos de água doce em todo o globo, exceto na Antártida (ÁLCAMO *et al.*, 2003). Todavia, a metodologia proposta pelo WaterGAP faz uso de bacias formadas pela união de células de 0.5° de latitude x 0.5° longitude, que levam em consideração grandes rios mundiais (Figura 6).

Figura 6 – Diferenças entre limites hidrogeográficos no Nordeste: ANA versus WaterGAP



Fonte: Metadados da ANA. Elaborado pelo autor (2021)

Exemplificando a diferença entre a divisão do WaterGAP e da ANA: de acordo com a divisão por UHEs da ANA, a região hidrográfica do São Francisco contém 45 UHEs. Todavia, levando em consideração o modelo WaterGAP, toda essa região é considerada apenas uma única grande bacia e, conseqüentemente, possui apenas um valor (Figura 6). Dessa forma,

a utilização desse modelo acaba mascarando as peculiaridades relacionadas a saúde hídrica de cada região.

Diversos estudos sobre regionalização foram realizados, como os de: Mutel *et al.* (2018), que debate sobre as principais características dos estudos de regionalização que estavam sendo realizados até a época de publicação do estudo. Além disso, o estudo apresenta recomendações para a realização de futuros estudos sobre regionalização; Pfister, Oberschelp e Sonderegger (2020) que apresentam a criação de um *shapefile* universal (e defendem a sua importância) para melhorar a conexão entre as etapas de ICV e AICV em estudos de regionalização; Frischknecht *et al.* (2018), cujo principal assunto foi o panorama dos estudos de regionalização, focando em seus conceitos, utilização em *softwares* e criação de *databases*. Ademais, pode-se citar estudos onde é possível visualizar a aplicação da regionalização em diversas categorias de impactos (Tabela 2):

Tabela 2 - Aplicação da regionalização em diversas categorias de impactos da AICV.

Categoria	Estudos
Poluição Atmosférica	Roy <i>et al.</i> (2012) van Zelm <i>et al.</i> (2016)
Eutrofização	Azevedo <i>et al.</i> (2013) Scherer e Pfister (2015) Oliveira e Ugaya (2020)
Uso do Solo, biodiversidade e qualidade do solo	Núñez <i>et al.</i> (2012) de Baan <i>et al.</i> (2013) Teixeira, Morais e Domingo (2018)
Salinização	Núñez e Finkbeiner (2020)
Escassez Hídrica	Andrade <i>et al.</i> (2019) Núñez <i>et al.</i> (2015)

Fonte: MUTEL (2018). Adaptado.

2.6 Dados hidrológicos nacionais: Disponibilidade e demanda

Segundo a nota técnica nº 16/2016/SPR da ANA, a disponibilidade hídrica é a quantidade de água que será utilizada no balanço da oferta e demanda por água doce. Logo, nada mais é do que a representação da oferta bruta de água sem a contabilização de captações e que será utilizada em um processo de confronto entre ela (disponibilidade hídrica) e as possíveis demandas existentes. Dessa forma, é possível calcular a quantidade de água disponível para outros usos além dos contabilizados e verificar a saúde hídrica dos rios.

A demanda, cuja nota técnica corresponde a de nº 006/2005/SPR/ANA, é calculada através do volume de água que é retirado de um corpo hídrico para suprir a necessidade de um

uso específico, levando em consideração o tempo necessário para realizar tal retirada. Os tipos de demandas consuntivas consideradas pela ANA foram: demanda urbana; demanda rural humana; demanda animal; demanda industrial; e demanda de irrigação.

2.7 Modelo Índice de Estresse Hídrico (Water Stress Index - WSI), proposto por Pfister *et al.* (2009) e Pfister e Bayer (2013)

Os modelos de escassez hídrica desenvolvidos por Pfister *et al.* (2009) e Pfister e Bayer (2013), atualmente considerado um só modelo, integram o grupo de modelos da AICV que consideram o uso do *withdrawal-to-availability* (WTA) em seu cálculo de desenvolvimento (NÚÑEZ *et al.*, 2015). Segundo Pfister *et al.* (2009), WTA representa o quanto de água doce está sendo retirada do volume disponível na área de estudo, ou seja, a razão entre a retirada e disponibilidade de água doce.

Os valores de WTA impactam diretamente nos fatores de caracterização (FCs) gerados pelos modelos. Ambos utilizam o *Water Stress Index* (WSI) como FC, possuindo foco em desenvolvimento de fatores anuais (PFISTER *et al.*, 2009) e mensais (PFISTER; BAYER, 2013). Esses modelos possuem escala de 0,01 (menor escassez hídrica) a 1,00 (maior escassez hídrica) e seus valores quantificam a fração de água consumida da qual outros usuários são potencialmente privados (PFISTER; BAYER, 2013).

2.8 Modelo AWARE

O modelo de escassez hídrica *Available Water REmaining* (AWARE) foi proposto por Boulay *et al.* (2018), o qual foi criado com o intuito de avaliar o potencial relativo da privação de água, tanto para os ecossistemas como para os seres humanos. A quantificação dessa água relativa disponível por área é realizada sob o pressuposto de que a demanda dos seres humanos e dos ecossistemas aquáticos foi atendida (Boulay *et al.*, 2017).

O indicador do modelo AWARE é baseado na expressão $1/AMD$ (Equação 1). Segundo Boulay *et al.* (2017), AMD é justamente a diferença entre disponibilidade e demanda ($m^3/mês$), em uma determinada área (m^2). Dessa forma, o indicador $1/AMD$ (m^3/m^2) é o inverso dessa relação e considera o pressuposto de que quanto menor o volume de água disponível em uma determinada área, maior serão as chances de que um outro usuário sofra os efeitos da escassez hídrica.

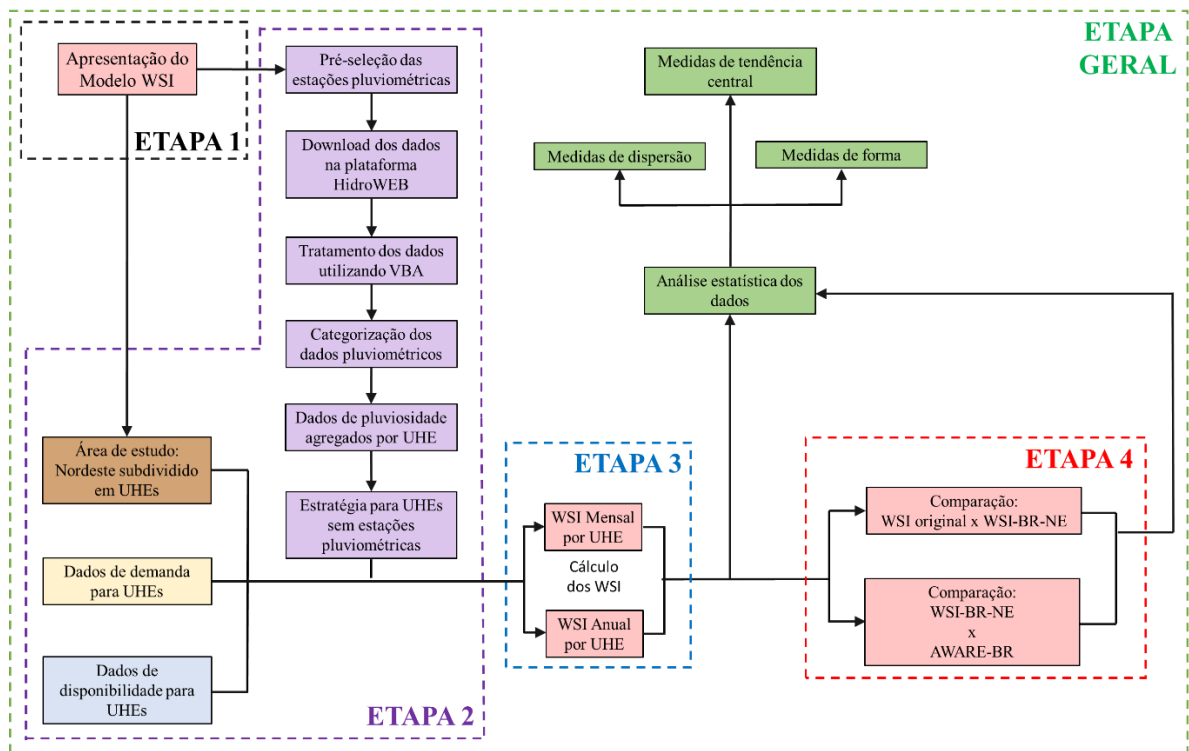
$$AMD = \frac{(\text{Disponibilidade} - \text{Demanda Humana} - \text{Demanda do Ecossistema})}{\text{Área}} \quad (1)$$

O fator de caracterização gerado pelo modelo varia em uma escala de 0,1 (menor escassez hídrica) e 100 (maior escassez hídrica) e, atualmente, é o modelo de escassez hídrica indicado pela WULCA para a realização de estudos de ACV relacionados ao tema de escassez hídrica.

3 METODOLOGIA

Para atender o objetivo geral e os objetivos específicos propostos no trabalho, ele foi dividido em cinco etapas. Etapa 1: apresentação do modelo utilizado; etapa 2: obtenção de dados para cálculo dos WSI-BR-NE mensal e anual; etapa 3: cálculo dos WSI-BR-NE mensal e anual; etapa 4: comparação entre modelos de escassez hídrica; e etapa geral: procedimentos estatísticos realizados, quando necessários, em qualquer etapa. Dessa forma, a metodologia apresentada no fluxograma abaixo (Figura 8) foi seguida e será detalhada nos próximos tópicos.

Figura 7 – Passo a passo para a obtenção dos resultados propostos no trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.1 Etapa 1: Modelo WSI

Para a aplicação dos modelos Pfister *et al.* (2009) e Pfister e Bayer (2013), considerados complementares, devem ser utilizadas as Equações 2 a 7.

A Equação 2 demonstra o cálculo do WTA através da utilização do somatório das retiradas de diferentes usuários (WU) dividido pela disponibilidade de água doce da área de estudo. Logo, WTA é a razão entre retirada e disponibilidade de água doce, ou seja, o quanto de água está sendo retirada do volume disponível na área de estudo (PFISTER *et al.*, 2009; PFISTER; BAYER, 2013).

$$WTA = \frac{\sum WU}{WA} \quad (2)$$

Em que:

- WTA = Retirada da disponibilidade hidrológica (anual e mensal);
- WU = Retiradas de diferentes usuários (m³);
- WA = Disponibilidade de água doce (m³).

O Fator de Variação (FV), calculado através da Equação 3, utiliza os valores do desvio padrão mensal e anual da precipitação da área de estudo. Tal fator é necessário para compensar possíveis erros nos valores de WSI que podem ser causados por períodos em que existe um armazenamento insuficiente de água e/ou períodos em que grande parte da água armazenada é evaporada. Essas situações acabam superdimensionando os valores de WSI e, mesmo que os anos seguintes sejam abundantes em chuva, não é possível compensar esse superdimensionamento. Dessa forma, o FV foi criado para gerar um novo valor de WTA para que tal problema seja minimizado (PFISTER *et al.*, 2009; PFISTER; BAYER, 2013).

Teoricamente, o FV possui valores máximo (quando ambos os desvios são iguais a amplitude da amostra) e mínimo (quando ambos os desvios são 0, resultando em um FV igual a 1). Todavia, esses valores são impossíveis de serem alcançados na prática, visto que o volume de chuva sempre vai variar de um mês para o outro ou de um ano para outro.

$$FV = e^{\sqrt{\ln(S^*mês)^2 + \ln(S^*ano)^2}} \quad (3)$$

Em que:

- FV = Fator de Variação;
- S*mês = Desvio Padrão Mensal da precipitação (mm);
- S*ano = Desvio Padrão Anual da precipitação (mm).

A Equação 4 é o resultado da multiplicação das Equações 2 e 3. Com o cálculo do WTA*, espera-se que a razão entre retirada e disponibilidade de água doce seja corrigida (PFISTER *et al.*, 2009; PFISTER; BAYER, 2013).

$$WTA^* = FV \times WTA \quad (4)$$

Em que:

- WTA^* anual = Retiradas da disponibilidade hidrológica modificada (anual);
- FV = Fator de Variação.

O desvio padrão geométrico (DPG) é utilizado no cálculo do WSI mensal (PFISTER; BAYER, 2013) e tem uma função semelhante à do FV. Todavia, o DPG reflete apenas a variabilidade dos valores de precipitação dentro do ano. Para tanto, é calculado através do exponencial do desvio padrão anual dos dados de precipitação. (Equação 5)

$$\text{Desvio Padrão Geométrico (DPG)} = \exp(S \cdot \text{ano}) \quad (5)$$

A Equação 6 demonstra a fórmula de cálculo do Fator de Caracterização proposto por Pfister *et al.* (2009), o WSI anual. Seus valores variam entre 0,01 (menor escassez) e 1,00 (maior escassez).

$$WSI_{\text{anual}} = \frac{1}{1 + e^{-6,4 \times WTA^*_{\text{anual}} \times \left(\frac{1}{0,01} - 1\right)}} \quad (6)$$

Em que:

- WSI_{anual} = Índice de Estresse Hídrico anual (*Water Stress Index*).

O WSI mensal (Equação 7) foi desenvolvido no trabalho de Pfister e Bayer (2013), onde os autores buscaram avaliar a variação de escassez hídrica dentro de um ano. Apesar de o WSI anual ser um resultado relevante, ele acaba mascarando a variabilidade da disponibilidade ao longo do ano. Dessa forma, locais que parecem possuir forte escassez hídrica o ano todo (WSI_{anual}) podem possuir meses de pluviosidade considerável e, conseqüentemente, são meses em que a escassez hídrica é mais amena (WSI_{mensal}).

$$WSI_{\text{mensal}} = \frac{1}{1 + e^{-9,8 \times WTA^*_{\text{mensal}} \times \left(\frac{1}{0,01} - 1\right)}} \quad (7)$$

Em que:

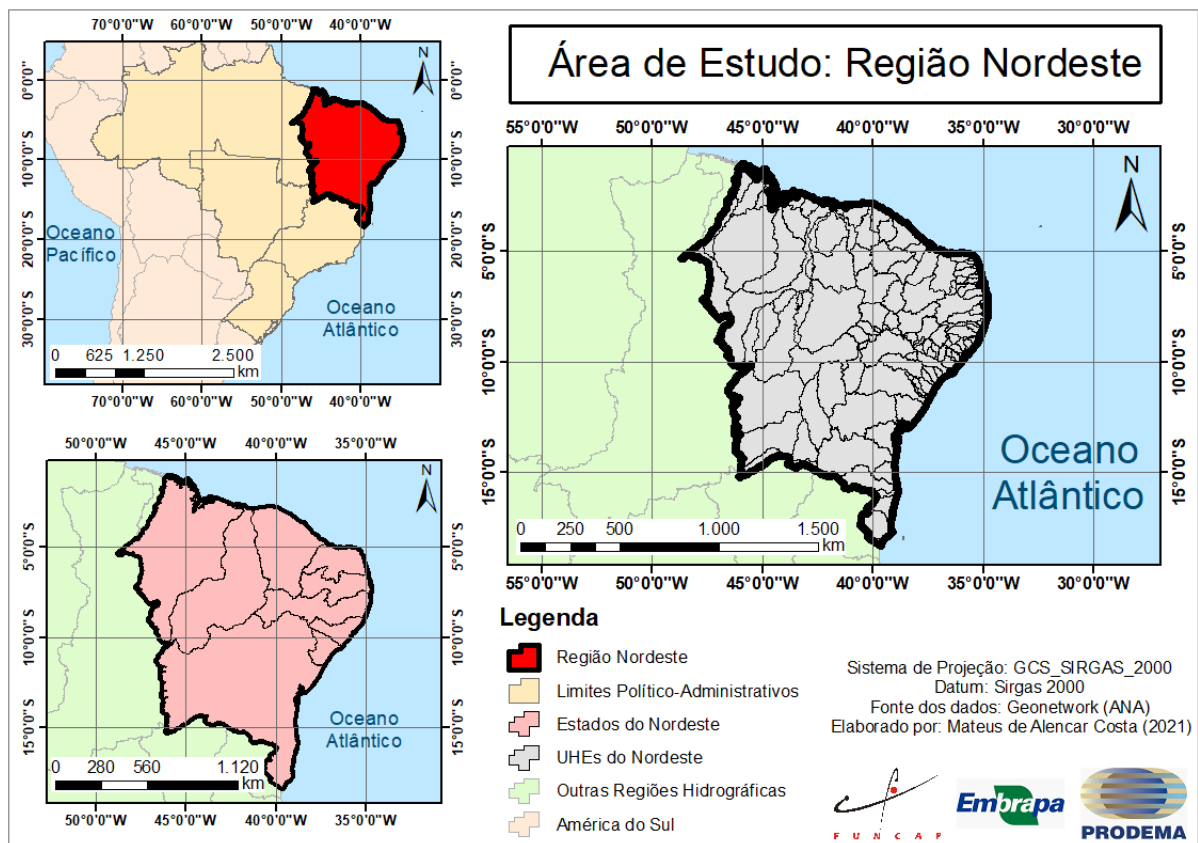
- WTA^* mensal = Retiradas da disponibilidade hidrológica modificada (mensal).

3.2 Etapa 2: Obtenção de dados

3.2.1 Área de Estudo

O presente trabalho utilizou a região Nordeste do Brasil como área de estudo (Figura 9), levando em consideração a subdivisão do território em Unidades Hidrográficas Estaduais (UHEs) proposta pela Agência Nacional de Águas (ANA). Atualmente, o nordeste brasileiro é subdividido em 146 UHEs espalhadas dentre seus 9 Estados: Alagoas (16 UHEs), Bahia (25), Ceará (12), Maranhão (12), Paraíba (8), Pernambuco (36), Piauí (13), Rio Grande do Norte (24) e Sergipe (8).

Figura 8 - Nordeste brasileiro subdividido em Unidades Hidrográficas Estaduais.



Fonte: Metadados ANA. Elaborado pelo autor (2021).

A escolha do local foi baseada na situação histórica de enfrentamento à eventos de escassez hídrica da região, porém, não detectada nos modelos selecionados para regionalização nesse trabalho. Somado a isso, a previsão de aumento do número de habitantes pelo IBGE e o crescimento do consumo de água pelas pessoas, apontado pela ANA, torna o cenário ainda mais preocupante, requerendo cada vez mais estudos sobre o tema com a intenção de criar uma base teórica para tomadas de decisão e pesquisa.

Ademais, a escassez hídrica da região Nordeste no campo da ACV já foi objeto de estudo, ou parte, em alguns trabalhos como o de CASTRO *et al.*, 2018; o de Sampaio *et al.* (2018) que estudou a pegada hídrica da água de coco verde nas principais regiões produtoras da região Nordeste; ANDRADE *et al.* (2019) que regionalizou o modelo AWARE para o Brasil inteiro e, conseqüentemente, para a região Nordeste; e DA SILVA *et al.* (2020), que realizou pesquisa sobre as pegadas hídrica e de carbono de produtos agrícolas através de estudo da água de coco *in natura*.

Dessa forma, utilizando tal região como área de estudo, viabiliza-se o processo de comparação entre diferentes modelos utilizados para avaliar a escassez hídrica da região e, logo, buscar definir qual é o mais apropriado para uso na região Nordeste.

3.2.2 Cálculo da disponibilidade hídrica e agregação de dados de demanda

Os dados de demanda (urbana, rural, animal, industrial e irrigação) utilizados no presente trabalho foram disponibilizados pela ANA e representam a mesma base de dados utilizada em Andrade *et al.* (2019). Ressalta-se que apenas a demanda de irrigação apresentou valores mensais, enquanto as outras demandas tiveram seus valores replicados de janeiro até dezembro, procedimento adotado por sugestão da ANA.

Em relação aos dados de disponibilidade hídrica, os dados utilizados foram obtidos junto à ANA, sendo utilizados *shapefiles* e dados de estações fluviométricas, obtidos no banco de dados digital HidroWEB da ANA (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>).

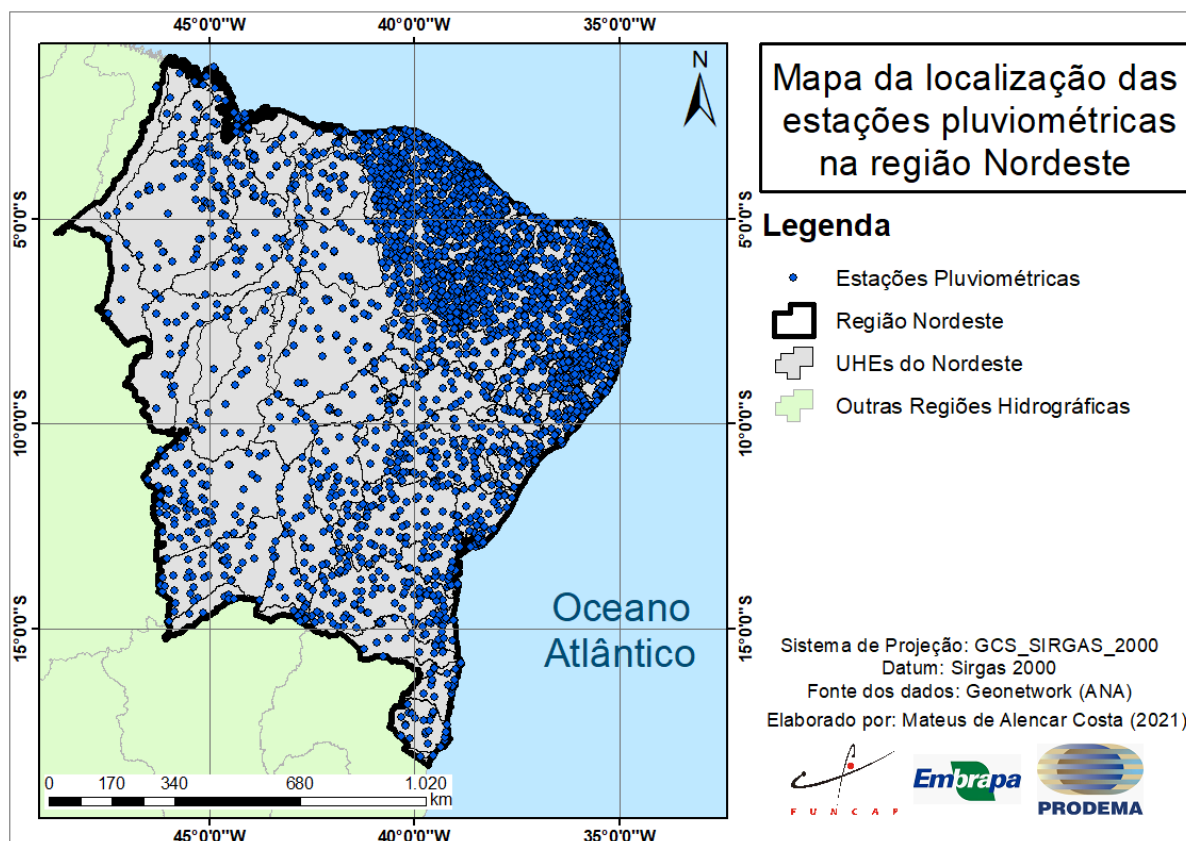
3.2.3 Pré-seleção das Estações Pluviométricas e obtenção de dados de pluviosidade

Para obter os dados de chuva necessários para realizar o cálculo do Fator de Variação (FV) e, posteriormente, do WSI-BR-NE mensal e anual, utilizou-se os dados disponíveis das estações pluviométricas da ANA distribuídas na região Nordeste (Figura 10).

Segundo os metadados da ANA, a região Nordeste possui 5945 estações pluviométricas. Todavia, não foi possível coletar os dados de todas essas estações através do portal HidroWEB da ANA. Isso ocorreu, principalmente, por dois motivos: i) algumas estações pluviométricas não existem mais e não contêm dados e, assim, estão apenas sinalizadas no mapa; ii) nem todas as estações pertencem e/ou são operadas pela ANA e, dessa forma, a coleta desses dados dispersos se mostrou inviável por conta de limitações estruturais das instituições para distribuição de materiais ou por conta do demorado processo de obtenção deles.

Com base no explicitado, foi realizado uma pré-seleção das estações pluviométricas através do uso do *software* ArcMAP usando como critério a ANA ser a responsável pela estação ou pela sua operação, obtendo-se 1288 estações pluviométricas próprias para uso. Posteriormente, foi realizado o *download* no portal HidroWEB dos dados de precipitação mensal dessas 1288 estações pluviométricas.

Figura 9 - Distribuição das estações pluviométricas na região Nordeste do Brasil.



Fonte: Metadados ANA. Elaborado pelo autor (2021).

3.2.4 Categorização dos dados de pluviosidade e agregação por UHE

Após o download dos dados de precipitação das 1288 estações, foi realizada sua categorização em quatro categorias com o intuito de refinar e harmonizar os dados das estações pluviométricas, pelo fato de nem todas as estações disponibilizarem a mesma quantidade de anos na sua base de dados e por muitas vezes cobrirem períodos diferentes.

Para tanto, foram utilizados como critérios: a abrangência temporal dos dados de precipitação, no qual uma série histórica de 30 anos foi considerada como abrangência ótima pelo fato de conseguir englobar anos de seca, chuva acima da média e anos normais em relação ao desvio padrão; e o período de 1991 a 2020, já que são os 30 anos mais recentes de dados.

- a) Categoria 1: enquadram-se nessa categoria as estações pluviométricas que contenham de 21 a 30 anos de dados, do período entre 1991 e 2020;
- b) Categoria 2: enquadram-se nessa categoria as estações pluviométricas que contenham, pelo menos, de 11 a 20 anos de dados, do período entre 1991 e 2020;
- c) Categoria 3: enquadram-se nessa categoria as estações pluviométricas que contenham, pelo menos, de 5 a 10 anos de dados, do período entre 1991 e 2020;
- d) Categoria 4: enquadram-se nessa categoria as estações pluviométricas que não contenham dados de precipitação do período entre 1991 e 2020.

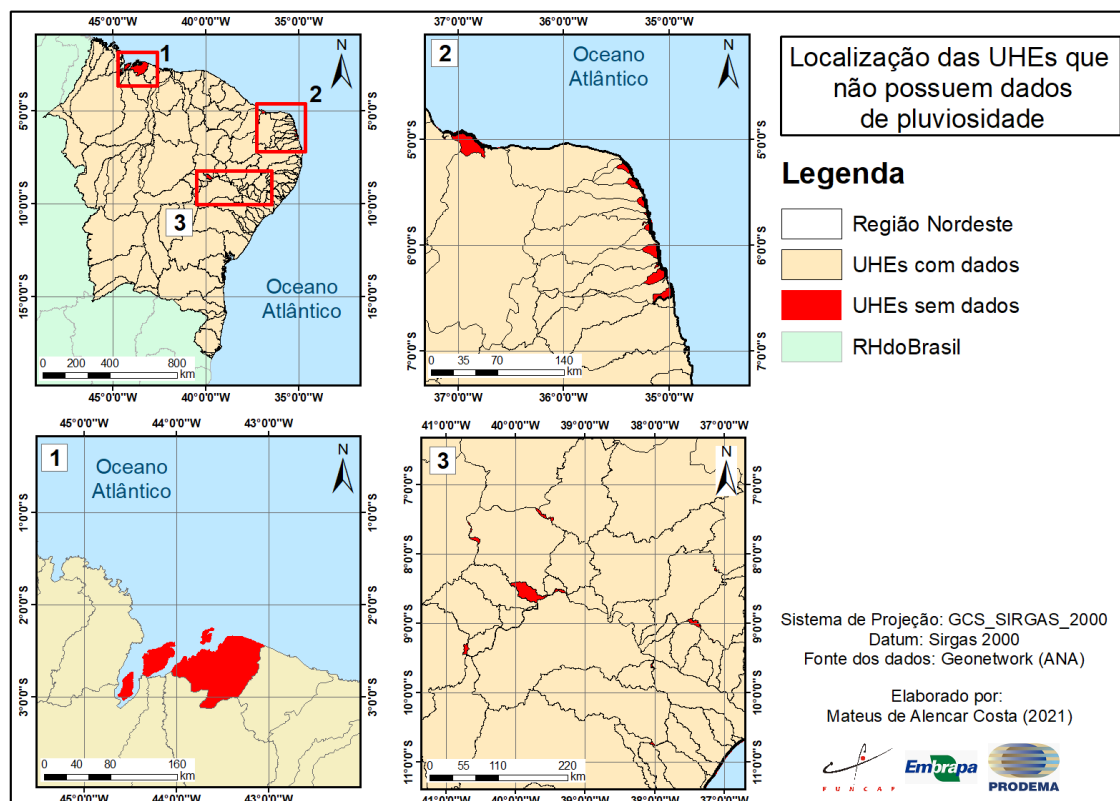
Após o refinamento, os dados de precipitação das estações pluviométricas foram agregados para que fosse possível gerar valores únicos de desvio padrão mensal e anual de precipitação por UHE e, conseqüentemente, valores únicos mensal e anual de WSI-BR-NE por UHE.

No processo de agregação, as estações classificadas foram agregadas apenas quando pertenciam a uma mesma categoria, tendo cada categoria preferência sob sua antecessora. Dessa forma, aplicou-se uma estratégia que permitiu realizar o processo de agregação entre estações pluviométricas que possuíssem características semelhantes. Exemplificando: a UHE de Itapicuru, localizada no estado da Bahia, possui 14 estações pluviométricas dentro do seu território. Todavia, 12 dessas estações pertencem à categoria 1 e as restantes, à categoria 3. Logo, para a realização do processo de agregação, apenas as 12 estações da categoria 1 foram utilizadas, sendo o restante descartado.

Ao final do processo de classificação e agregação das estações por UHE, obteve-se dados de precipitação para 129 das 146 UHEs existentes na região Nordeste. Não foi possível obter dados de precipitação para essas 17 UHEs (Figura 11) pelo fato de essas UHEs não possuírem estações pluviométricas utilizáveis em seu território.

Dessa forma, tornou-se necessário adotar uma nova estratégia para possibilitar o cálculo do WSI-BR-NE para essas 17 UHEs que não obtiveram dados de chuva nessa etapa. Essas unidades e seus respectivos estados são: Maranhão: Ilhas Maranhenses e Peria; Paraíba: Trairi PB; Pernambuco: GI2, GI6, GI9; Rio Grande do Norte: 15-3, 16-1, 16-2, 16-3, 16-4, 16-5, 16-6, 16-7, 16-8, Catu, Guaju RN. Ressalta-se que as 17 UHEs representam menos de 1% da área do Nordeste.

Figura 10 - Localização das UHEs sem dados de pluviosidade na região Nordeste



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

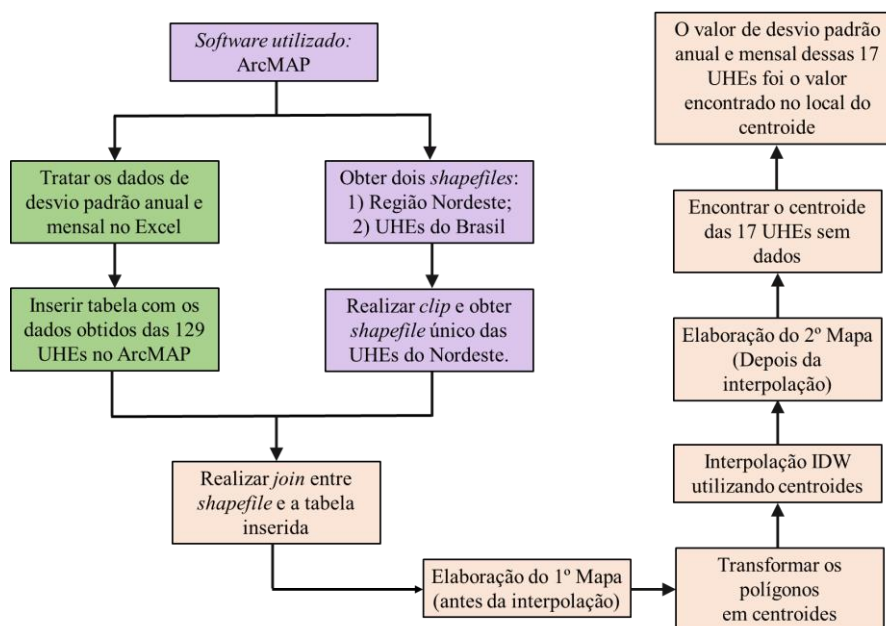
3.2.5 Estratégia de obtenção de dados para UHEs sem estações pluviométricas

Como mencionado na seção anterior, para a realização do cálculo do WSI-BR-NE anual e mensal, faz-se necessário a obtenção de dados de precipitação. Todavia, não foram identificadas estações pluviométricas no território de 17 UHEs, conseqüentemente, essas unidades não possuem dados de precipitação.

Dessa forma, para viabilizar o procedimento de cálculo para essas 17 UHEs, foi utilizada a estratégia apresentada no fluxograma da Figura 12. Focou-se apenas na obtenção de valores de desvio padrão de precipitação mensal e anual, já que o restante dos dados de entrada necessários para o cálculo do WSI-BR-NE anual e mensal já estavam disponíveis.

A metodologia escolhida para a obtenção desses valores de desvio padrão foi a interpolação, a qual é um método utilizado em diversas áreas para aproximar valores de um conjunto discreto, ou seja, uma técnica que possibilita a construção de um novo conjunto de dados utilizando dados conhecidos. Logo, a interpolação foi utilizada nesse estudo para construir um novo conjunto de dados a partir das 129 UHEs com dados de precipitação, onde tal conjunto proposto possui dados de desvio padrão (anual e mensal) para todas as 146 UHEs da região Nordeste.

Figura 11 - Obtenção de dados de WSI anual e mensal para as 17 UHEs faltantes.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Especificamente, a metodologia de interpolação utilizada foi a Ponderação do Inverso das Distâncias (IDW, *Inverse Distance Weighting*). Para realizar o cálculo de uma área com dados que não são conhecidos, o modelo IDW utiliza todos os pontos que estão em volta dessa determinada área, todavia, os pontos mais próximos possuem um peso maior no cálculo do que os pontos mais distantes.

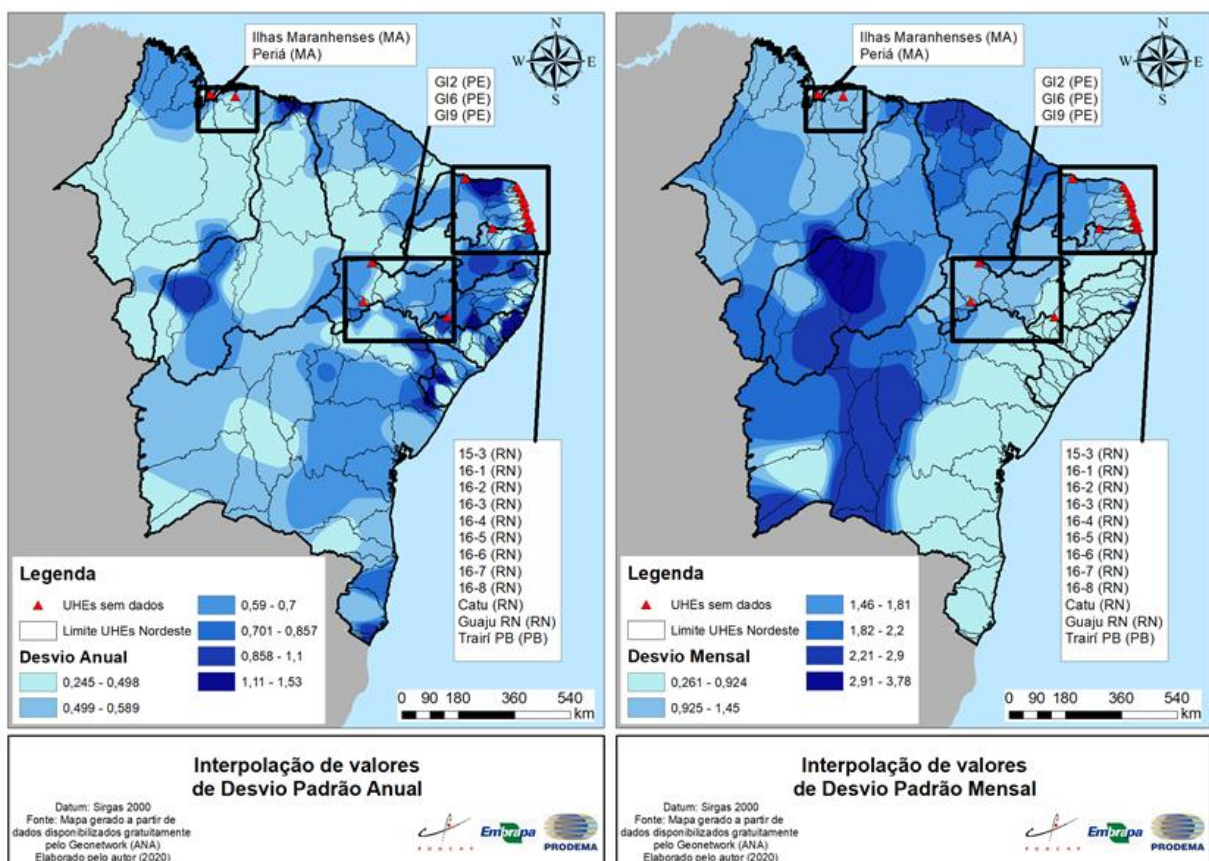
Os valores de desvio padrão de precipitação mensal e anual foram selecionados como variáveis a serem encontradas no processo de interpolação pelo seguinte motivo: cada UHE possui apenas um valor para desvio padrão mensal e um valor para desvio padrão anual e, dessa forma, foi necessário apenas uma interpolação para cada variável. Caso se optasse por utilizar os dados de precipitação na realização da interpolação, ela teria que ser realizada algumas centenas de vezes.

O *software* escolhido para realizar essa etapa foi o ArcMAP pelo fato de ser possível realizar cálculos de interpolação de maneira intuitiva e prática no seu ambiente de trabalho. Porém, primeiramente, foi necessário realizar um refinamento dos dados de desvio padrão mensal e anual das 129 UHEs que obtiveram dados de pluviosidade na etapa anterior. O ArcMAP, apesar de ser um *software* robusto e completo, precisa receber os dados com configuração e formatação específicas para garantir que os dados sejam reconhecidos como números, e não como caracteres especiais. Após o tratamento desses dados, o arquivo Excel final foi inserido no *software* ArcMAP.

Enquanto isso, dois *shapefiles* foram obtidos no *Geonetwork* (base de dados geográfica) da ANA: 1) um *shapefile* que contém todas as UHEs do Brasil; e 2) um *shapefile* dos estados que compõe a região Nordeste do Brasil. Dessa forma, foi realizado um comando *clip*, onde o arquivo de entrada foi o *shapefile* das UHEs e o *shapefile* de corte foi o da região Nordeste, resultando em um *shapefile* único que contém apenas as UHEs do Nordeste.

Em seguida, foi realizado um *join* entre o *shapefile* resultante e a tabela de dados inserida com os valores de desvio padrão mensal e anual das 129 UHEs. Dessa forma, o *shapefile* passou a possuir as informações contidas na tabela e, assim, tornou-se possível a produção de mapas temáticos e a realização de interpolações. Contudo, antes de realizar o processo de interpolação, foi necessário converter o *shapefile* do seu formato inicial (polígono) para um formato de pontos (centroide dos antigos polígonos). Isso se fez necessário pelo fato de o *software* necessitar de informações de posição geográfica pontuais para realizar interpolações. Na Figura 13, pode-se visualizar a interpolação realizada para obter esses dados de desvio padrão anual e mensal para as 17 UHEs sem dados de precipitação.

Figura 12 - Interpolação dos dados de desvio padrão anual e mensal de 129 UHEs.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As cores apresentadas na Figura 13 representam intervalos de valores, e não valores únicos. Logo, as 17 UHEs sem dados foram transformadas em centroides e o valor de desvio padrão (anual e mensal) encontrado na mesma localização do centroide (representado como UHEs sem dados na legenda da Figura 13) foi considerado o desvio padrão de toda a UHE. Mesmo sendo uma aproximação, o procedimento foi considerado válido por conta da pequena área das UHEs em questão.

3.3 Etapa 3: Cálculo do WSI-BR-NE anual e mensal por UHE

Para realizar o cálculo dos fatores de caracterização (WSI-BR-NE anual e mensal) das UHEs, foram utilizadas as Equações 3 a 7 propostas por Pfister *et al.* (2009) e Pfister e Bayer (2013), listadas na seção 3.1.

Para exemplificar a metodologia aplicada para obtenção dos valores de WSI-BR-NE mensal e anual, utilizou-se a UHE de Itapicuru (BA) como exemplo. Primeiramente, calculou-se o FV utilizando os valores de desvio padrão anual e mensal de precipitação, obtidos após a agregação dos dados de precipitação ou pela interpolação, no caso das 17 UHEs sem estações pluviométricas. Na Tabela 3, é possível visualizar o cálculo do FV para a UHE de Itapicuru.

Tabela 3 - Cálculo do Fator de Variação (FV). Exemplo: UHE Itapicuru (Bahia).

Desvio Padrão Anual de Precipitação	Desvio Padrão Mensal de Precipitação	Cálculo do Fator de Variação (FV)
0,627	0,35	2,05

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na Tabela 4 os dados das demandas foram alinhados e somados para calcular a demanda total mensal para tornar possível calcular a retirada total mensal (Equação 8). Os valores de disponibilidade mensais foram alocados na mesma tabela para organizar as informações de forma intuitiva, facilitando a realização dos cálculos das etapas seguintes.

$$\text{Retirada (m}^3\text{)} = \text{Demanda}/0,8 \quad (8)$$

Tabela 4 - Demanda Total Mensal e da Retirada Mensal. Exemplo: UHE Itapicuru (Bahia).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Disponibilidade Mensal	34,1	45,3	34,6	19,0	17,6	19,1	19,5	16,3	14,7	12,3	19,4	17,0
Demanda Irrigação Mensal	1,4	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6	0,8	1,2	1,7	2,4	2,1	1,9
Demanda Animal Mensal	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Demanda Industrial Mensal	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Demanda Rural Mensal	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Demanda Urbana Mensal	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
Demanda Total Mensal	5,1	4,9	4,6	4,5	4,4	4,3	4,5	4,9	5,4	6,1	5,8	5,6
Retirada Mensal	6,4	6,1	5,7	5,6	5,5	5,4	5,6	6,1	6,8	7,7	7,3	7,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Posteriormente, foram calculadas as médias anuais dos valores de disponibilidade, demanda total e retirada total por meio do uso dos dados mensais presentes na Tabela 4, gerando os valores apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Demanda Total Anual e da Retirada Anual. Exemplo: UHE Itapicuru (Bahia).

Disponibilidade Anual	Demanda Irrigação Anual	Demanda Animal Anual	Demanda Industrial Anual	Demanda Rural Anual	Demanda Urbana Anual	Demanda Total Anual	Retirada Anual
22,41	1,31	0,70	0,30	0,80	1,90	5,01	6,26

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Tabela 6 demonstra os resultados obtidos após a aplicação das Equações 3, 5, 6 e 8 do modelo Pfister e Bayer (2013) em conjunto com os dados hidrológicos obtidos na Tabela 4. Com isso, obteve-se os valores de WSI-BR-NE mensal para a UHE de Itapicuru.

Tabela 6 - WSI-BR-NE Mensal. Exemplo: UHE Itapicuru (Bahia).

Variáveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$WTA_{mês}$	0,19	0,13	0,17	0,29	0,31	0,28	0,29	0,38	0,46	0,62	0,37	0,41
S^*_{ano}	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Desvio Padrão Geométrico	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87
$WTA^*_{mês}$	0,35	0,25	0,31	0,55	0,59	0,53	0,54	0,7	0,86	1,17	0,7	0,77
$WSI_{mês}$	0,24	0,11	0,17	0,68	0,76	0,64	0,66	0,91	0,98	1	0,91	0,95

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Por último, a Tabela 7 contém o resultado da aplicação das Equações 3, 4, 5 e 7 do modelo Pfister *et al.* (2009). Assim, utilizando os valores da Tabela 5, obteve-se o valor de WSI-BR-NE anual para a UHE de Itapicuru.

Tabela 7 - WSI-BR-NE Anual. Exemplo: UHE Itapicuru (Bahia).

WTA _{ano}	Fator de Variação (FV)	WTA* _{ano}	WSI _{ano}
0,28	2,05	0,57	0,28

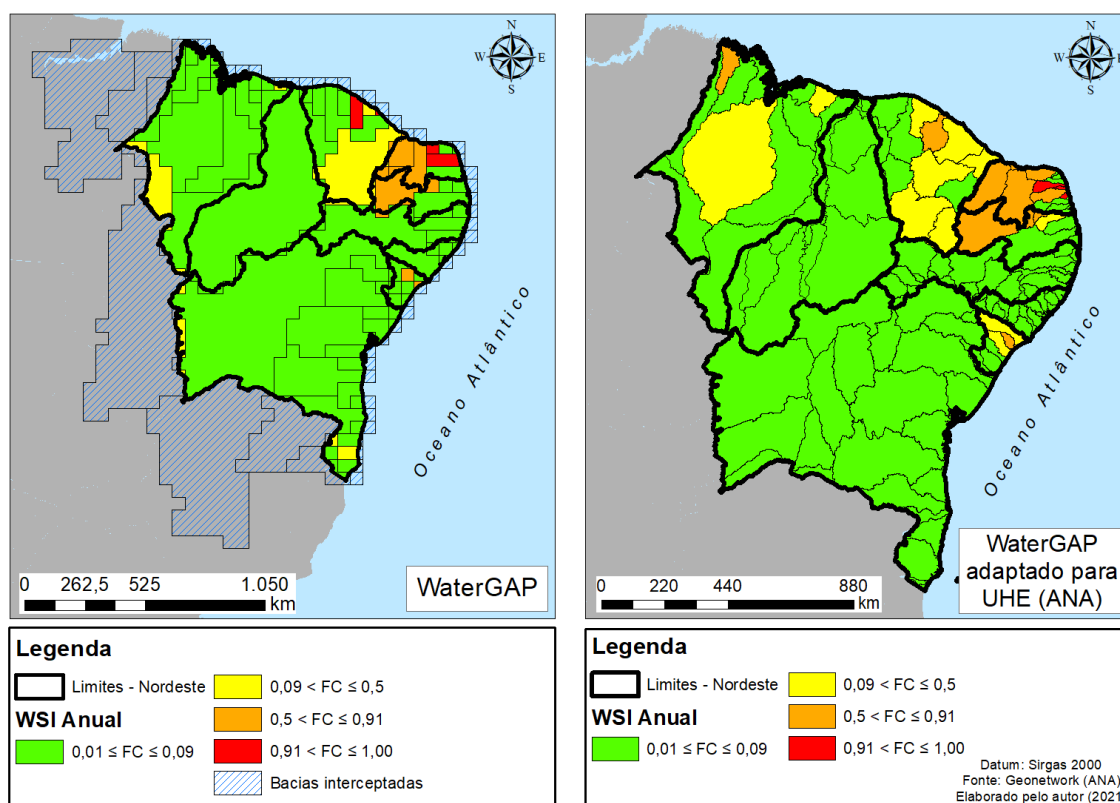
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

No Apêndice A encontra-se uma planilha de cálculo resumida onde é possível visualizar várias informações para todas as 146 UHEs como: a identificação da UHE, a Unidade Federativa na qual a UHE está inserida, Desvio padrão anual e mensal, fator de variação, Desvio Padrão Geométrico, WSI-BR-NE anual e mensal.

3.4 Etapa 4: Comparação entre modelos de escassez hídrica

Para tornar possível a realização da comparação qualitativa e quantitativa entre os FCs, adotou-se a estratégia utilizada em Costa *et al.* (2021) de adaptar os limites das bacias do modelo original nos limites das UHEs do território nordestino (Figura 14).

Figura 13 - Limite de bacias do WaterGAP adaptado para o modelo de UHEs (ANA).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

*As bacias do WaterGAP que aparecem em azul no mapa do WSI Anual Original representam as bacias que foram interceptadas pelo recorte espacial da região Nordeste e, dessa forma, as partes que estão fora do recorte estão em azul e as partes que estão dentro do recorte seguiram a classificação das categorias de escassez hídrica.

Tal estratégia foi utilizada pelo fato de que os limites adotados nos WSI originais e regionalizados diferem em quase todas as bacias. Para tanto, o grid mundial disponibilizado com valores de WSI original anual e mensal por Pfister et al. (2009) e Pfister e Bayer (2013), respectivamente, foram utilizados para realizar uma ponderação por área.

Para as UHEs que estavam completamente inseridas em apenas uma célula do Grid mundial, o valor de WSI foi replicado. Todavia, para as UHEs que eram interceptadas por duas ou mais células, tal ponderação levou em consideração a porcentagem de área das UHEs ocupada pelas células do modelo original, realizando uma média ponderada. Um exemplo dessa operação para uma UHE X pode ser visto na Equação 9.

$$\text{WaterGAP}_{\text{adaptado}} = \sum_{i=1}^N \frac{(\text{área1}) * \text{WSI} + (\text{área2}) * \text{WSI} + (\text{áreaN}) * \text{WSI}}{\text{área da UHE X}} \quad (9)$$

Em que:

- Área1 = equivalente a área de uma célula do WaterGAP que está inserida em uma UHE X;
- Área2 = equivalente a área de uma segunda célula do WaterGAP que está inserida na UHE X;
- ÁreaN = equivalente a área de uma enésima célula do WaterGAP que está inserida na UHE X;
- WSI = valor de WSI original (mensal ou anual) da célula do WaterGAP em questão;
- WaterGAP_{adaptado} = valor de WSI original (mensal ou anual) adaptado para os limites das UHEs utilizado pela ANA.

3.4.1 Comparação qualitativa

Para efetuar a comparação qualitativa entre modelos de escassez hídrica, que será realizada apenas entre fatores WSI e WSI-BR-NE, a separação em categorias de escassez hídrica proposta por Núñez *et al.* (2015) foi utilizada. A separação considera quatro categorias cuja limitação são intervalos baseados nos valores de WSI obtidos, sendo elas as seguintes (Tabela 8).

Tabela 8 - Categorias de escassez hídrica propostas por Núñez et al. (2015).

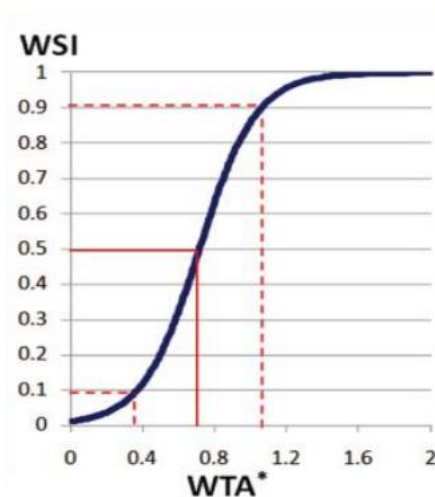
Categoria de Escassez Hídrica	Intervalos de WSI	Abreviações
Estresse Hídrico Baixo	$WSI \leq 0,09$	EHB
Estresse Hídrico Médio	$0,09 < WSI \leq 0,5$	EHM
Estresse Hídrico Alto	$0,5 < WSI \leq 0,91$	EHA
Estresse Hídrico Muito Alto	$0,91 < WSI \leq 1,00$	EHMA

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Essa categorização parte da análise realizada por Pfister *et al.* (2009) sobre a relação entre os valores de WSI, WTA e WTA*, no qual, através de análise gráfica (Figura 15), visualizou-se que o valor de WSI de 0,5 aponta um cenário onde a razão entre retirada e disponibilidade de água doce é de aproximadamente 40%.

Dessa forma, os fatores de escassez calculados para as UHEs foram inseridos nessas quatro categorias de acordo com o seu valor de WSI-BR-NE. Posteriormente, foi realizada uma contagem para verificar quantas UHEs estavam contidas em cada uma das categorias apresentadas acima, para que, desta maneira, fosse possível calcular a porcentagem em relação a quantidade total de UHEs do WSI e do WSI-BR-NE. Por fim, os modelos foram comparados com base no valor das porcentagens obtidas e pela porcentagem que tal categoria ocupa no território nordestino em termos de área (km²).

Figura 14 - Gráfico da relação entre os valores de WSI e WTA.



Fonte: Pfister *et al.* (2009).

3.4.2 Comparação quantitativa

Atualmente, o método adotado para realizar comparações quantitativas entre modelos de escassez hídrica é a metodologia desenvolvida por Boulay *et al.* (2018), onde os autores propuseram utilizar o erro residual (RE) para medir a aproximação dos modelos envolvidos na comparação. Caso possuam escalas diferentes, os valores obtidos por cada modelo precisam ser normalizados pelo seu valor máximo, inserindo-os em um intervalo de 0 a 1, para tornar possível o uso da fórmula do RE e, posteriormente, do GSD² (Equações 10 e 11).

A metodologia de comparação quantitativa GSD² foi utilizada nesse trabalho na comparação entre WSI *versus* WSI-BR-NE e WSI-BR-NE *versus* AWARE-BR-NE, seguindo as considerações dos autores de realizar a normalização pelo valor máximo, já que os modelos AWARE e WSI possuem escalas diferentes. Segundo Boulay *et al.* (2018), tem-se que:

$$RE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\log x_{1,t} - \log x_{2,t})^2}{n}} \quad (10)$$

$$GSD^2 = 10^2 RE \quad (11)$$

Em que:

- X1 = resultado do modelo 1;
- X2 = resultado do modelo que está sendo comparado com o modelo 1;
- n = quantidade de pares comparados multiplicado pela quantidade de meses (para análises mensais) ou anos (para análises anuais);
- RE = desvio médio quadrático;
- GSD² = define o 95° intervalo de confiança. Quanto menor for o valor obtido no resultado do GSD², maior será a aproximação entre os métodos

Boulay *et al.* (2018) aplicaram essa fórmula comparando o modelo AWARE com outros modelos de escassez hídrica: AWARE-WSI (WSI proposto por Pfister) com GSD² = 24,44; AWARE-HDI (Berger) com GSD² = 34,43; AWARE-WSI (WSI proposto por Boulay) com GSD² = 63,25.

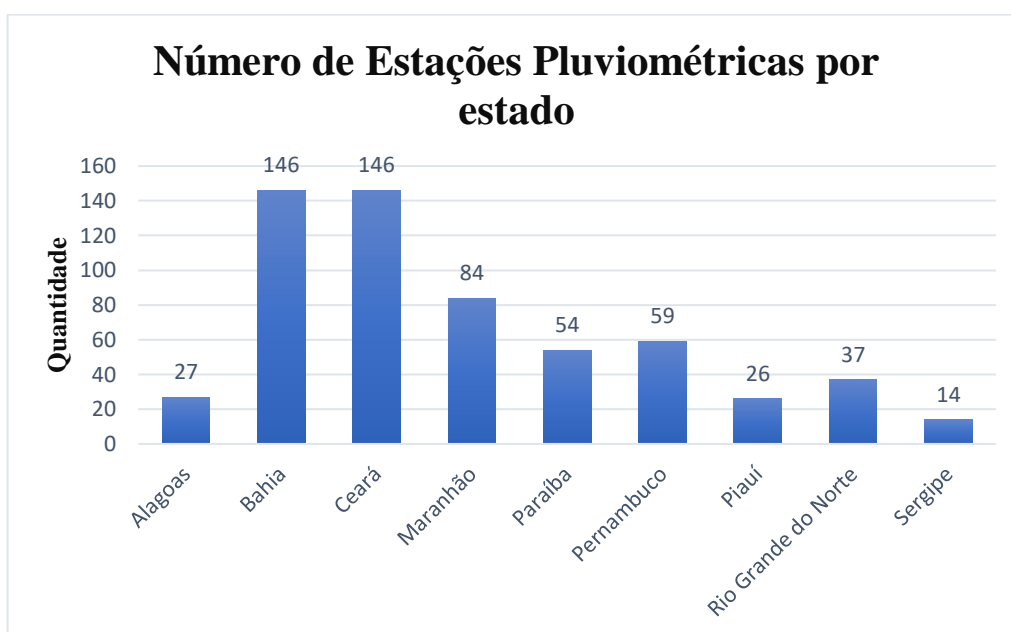
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Etapas 2 e 3: análise dos fatores regionalizados WSI-BR-NE

4.1.1 Resultado da categorização dos dados de pluviosidade e da agregação de dados pluviométricos por UHE

Após a categorização dos dados de pluviosidade, chegou-se a um resultado de apenas 565 estações pluviométricas utilizáveis. É possível visualizar a quantidade de estações pluviométricas por estado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Quantidade de estações pluviométricas após a categorização.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na Tabela 9, é possível verificar a distribuição das 129 UHEs que obtiveram dados de pluviosidade através das estações pluviométricas categorizadas nas quatro categorias de precipitação criadas. Especificamente, tem-se a quantidade de UHEs por categoria e a porcentagem que tal quantidade representa do total, respectivamente. As categorias 1 e 2, que são as de melhor representação, englobam aproximadamente 80% das UHEs em questão. Apesar de possuir uma porcentagem considerável, a categoria 4 é formada, em sua maioria, por UHEs muito pequenas e próximas ao oceano e, logo, os dados de precipitação obtidos conseguem representar de forma satisfatória a sua área.

Ressalta-se que por não possuírem estações pluviométricas dentro do seu território, as 17 UHEs sem dados de precipitação não foram categorizadas e, conseqüentemente, não fizeram parte da análise dos resultados apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Quantidade de UHEs em cada categoria de classificação de dados.

Categoria	Quantidade de UHEs	Porcentagem do Total
1	91	70,54%
2	10	7,75%
3	4	3,10%
4	24	18,61%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

É possível visualizar um resumo da distribuição geográfica das estações pluviométricas utilizadas na Tabela 10. Na referida tabela, estão presentes os nomes dos estados, o número de UHEs que cada estado contém e as UHEs com maior e menor número de estações pluviométricas por estado. No geral, 41 UHEs ficaram empatadas contendo apenas 1 estação em seu território e a UHE Metropolitana, localizada no estado do Ceará, foi a UHE que obteve o maior número de estações pluviométricas, com 30.

Tabela 10 - Resumo da agregação dos dados de pluviosidade em UHEs.

Estado	Nº de UHEs	UHE com mais estações	Quantidade de estações	UHE com menos estações	Quantidade de estações
Alagoas	16	Mundaú AL	5	8 estações	1
Bahia	25	Grande	17	7 estações	1
Ceará	12	Metropolitana	30	Serra da Ibiapaba	5
Maranhão	12	Mearim	27	3 estações	3
Paraíba	8	Paraíba PB	20	Jacú PB	1
Pernambuco	28	Capibaribe	16	11 estações	1
Piauí	13	Canindé	4	5 estações	1
Rio Grande do Norte	24	Ceará-Mirim	9	3 estações	1
Sergipe	8	Real SE	3	3 estações	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Destaca-se o desempenho obtido pelo estado do Ceará nessa etapa do estudo. O Ceará, empatado com a Bahia, possui 146 estações pluviométricas no seu território, o maior número na região Nordeste. Diferente do que foi visualizado na Bahia, as estações são bem distribuídas pelo seu território e, além disso, todas as UHEs do Ceará foram classificadas como pertencentes a categoria 1, fato que mostra a qualidade da rede de estações em termos de abrangência temporal dos dados.

Ademais, é possível visualizar no Apêndice C a categoria em relação aos dados de precipitação e a quantidade de estações pluviométricas presentes em seu território para cada

uma das 129 UHEs que obtiveram dados de precipitação através da agregação dos dados das estações pluviométricas. As 17 UHEs que não possuem UHEs foram sinalizadas como “sem estação” e “sem categoria”.

4.1.2 Valores de Desvio Padrão Mensal e Anual e Fator de Variação (FV)

Primeiramente, seguindo a metodologia apresentada para realização da interpolação IDW, os valores de desvio padrão mensal e anual para cada UHE faltante foram encontrados (Tabela 11).

Tabela 11 - Desvio padrão mensal e anual para UHEs sem dados de precipitação.

UHE	Desvio Padrão Anual	Desvio Padrão Mensal
Periá (MA)	0,500	1,400
Ilhas Maranhenses (MA)	0,675	1,400
15-3 (RN)	0,964	1,600
16-1 (RN)	0,565	1,100
16-2 (RN)	0,518	1,080
16-3 (RN)	0,270	0,860
16-4 (RN)	0,290	0,879
16-5 (RN)	0,478	1,060
16-6 (RN)	0,480	1,060
16-7 (RN)	0,603	0,920
16-8 (RN)	0,761	0,972
Catu (RN)	0,440	0,877
Guaju RN (RN)	0,760	0,972
Trairí PB (PB)	0,552	1,160
GI2 (PE)	0,908	0,786
GI6 (PE)	0,588	1,370
GI9 (PE)	0,547	1,440

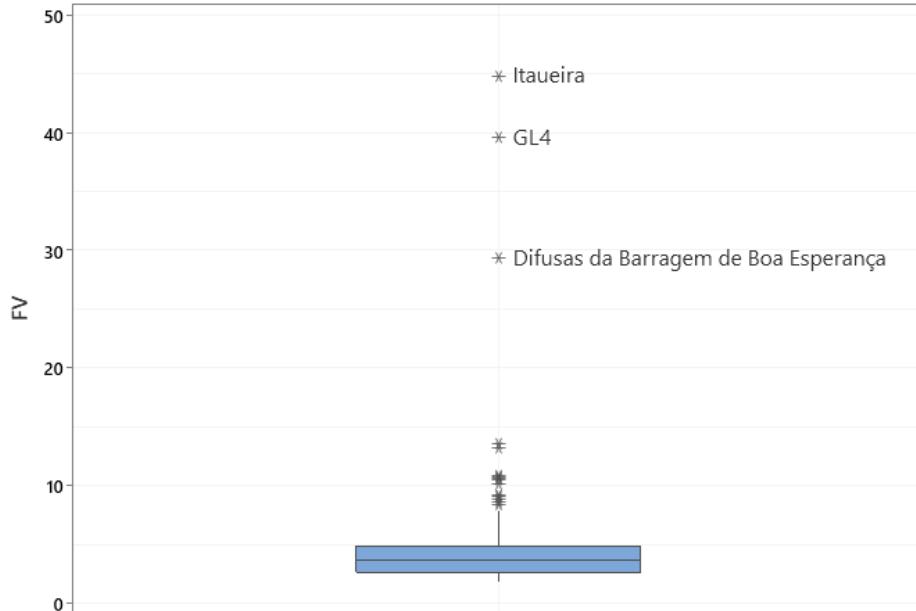
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Através da obtenção de valores únicos de desvio padrão mensal e anual dos dados de precipitação das 17 UHEs faltantes, foi possível completar a base de dados para calcular e obter valores de Fator de Variação (FV) para cada uma das 146 UHEs existentes no território nordestino.

O maior valor de FV encontrado (APÊNDICE A) foi o da UHE Itaueira-PI com um valor de 44,887 obtido através de um desvio padrão anual de 0,391 e um desvio padrão mensal de 3,784. O alto valor obtido para o desvio padrão mensal reflete a grande variação pluviométrica entre os meses na região da UHE de Itaueira-PI, diferente da situação apresentada

pelo valor do desvio padrão anual, que aponta que a precipitação varia pouco entre os anos. As UHEs Itaueira-PI, GL4-PE e Difusas da Barram de Boa Esperança-PI podem ser considerados *outliers* por conta do valor obtido para o seu FV (Gráfico 2).

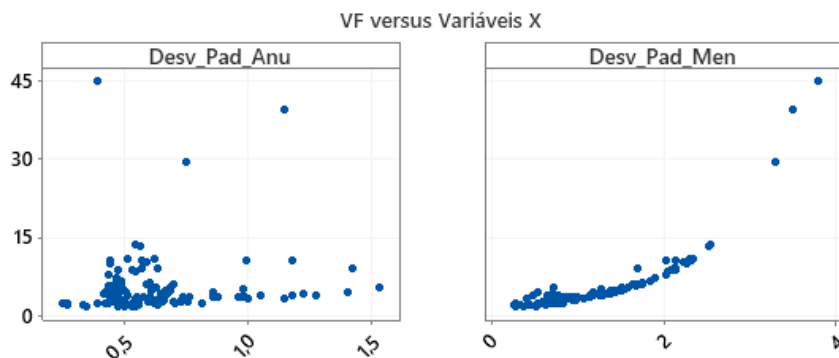
Gráfico 2 - Boxplot para identificação de outliers nos valores do Fator de Variação



Fonte: Elaborado pelo autor (2021) no *software* Minitab.

Todavia, o comportamento apresentado em relação a precipitação é comum em quase todo o território nordestino onde a pluviosidade se concentra na quadra chuvosa da região e o restante dos meses chove pouco ou não chove. Tal afirmação pode ser comprovada através da análise gráfica realizada no Gráfico 3 (gráficos dos dados do Fator de Variação, desvio padrão mensal e anual).

Gráfico 3 – Fator de Variação versus desvio padrão anual e desvio padrão mensal.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021) no *software* Minitab.

4.1.3 Valores de WSI-BR-NE Anual e Mensal

Através da estratégia de interpolação apresentada, foi possível calcular os WSI-BR-NE para as 17 UHEs faltantes. Dessa forma, obteve-se valores de WSI-BR-NE anuais e mensais para todas as 146 UHEs da região Nordeste (APÊNDICE A; Tabela 12).

Tabela 12 - Resumo dos WSI-BR-NE anuais e mensais das UHEs do Nordeste.

UHE	UF	WSI Anual	WSI 01	WSI 02	WSI 03	WSI 04	WSI 05	WSI 06	WSI 07	WSI 08	WSI 09	WSI 10	WSI 11	WSI 12
Camaragibe	AL	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,36	0,03	0,04	0,78	1,00	1,00	1,00	1,00
Capiá	AL	0,93	0,95	0,96	0,95	0,97	0,92	0,82	0,88	0,96	0,97	1,00	1,00	1,00
CELMM	AL	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Coruripe	AL	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,93	0,53	0,46	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ipanema	AL	0,11	1,00	0,25	0,06	0,16	0,04	0,04	0,04	0,23	0,99	1,00	1,00	1,00
Jacuípe-Una	AL	0,07	0,40	0,39	0,17	0,06	0,02	0,01	0,01	0,03	0,10	0,40	0,68	0,78
Litoral Norte	AL	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,39	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Moxotó	AL	0,26	0,82	0,10	0,11	0,05	0,12	0,60	0,64	0,93	0,93	0,93	0,92	0,79
Mundaú	AL	0,95	1,00	1,00	1,00	0,88	0,22	0,07	0,06	0,22	0,96	1,00	1,00	1,00
Paraíba	AL	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,13	0,03	0,03	0,63	1,00	1,00	1,00	1,00
Piauí	AL	0,99	0,94	0,92	0,86	0,68	0,41	0,35	0,62	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99
Pratagi	AL	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Riacho Grande	AL	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
São Miguel	AL	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Talhada	AL	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Traipu	AL	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Carinhanha	BA	0,05	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
Carnaíba de Dentro	BA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Corrente e Riacho do Ramalho	BA	0,04	0,01	0,02	0,02	0,04	0,15	0,18	0,19	0,27	0,20	0,09	0,02	0,01
De contas	BA	0,30	0,12	0,10	0,17	0,57	0,91	0,83	0,81	0,90	0,98	0,99	0,28	0,03
Dos Frades, Buranhém e Santo Antônio	BA	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98
Grande	BA	0,96	0,01	0,01	0,01	0,08	0,38	0,58	0,58	0,63	0,51	0,18	0,01	0,01
Itapicuru	BA	0,28	0,24	0,11	0,17	0,68	0,76	0,64	0,66	0,91	0,98	1,00	0,91	0,95
Jequintinhonha	BA	0,02	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03
Lago do Sobradinho	BA	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Leste	BA	0,05	0,06	0,04	0,04	0,08	0,24	0,31	0,29	0,57	0,84	0,47	0,05	0,04
Macururé e Curaçá	BA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Mucuri	BA	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,08	0,12	0,12	0,25	0,33	0,12	0,03	0,02
Paraguaçu	BA	0,91	1,00	0,04	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	0,99

Continua

Conclusão

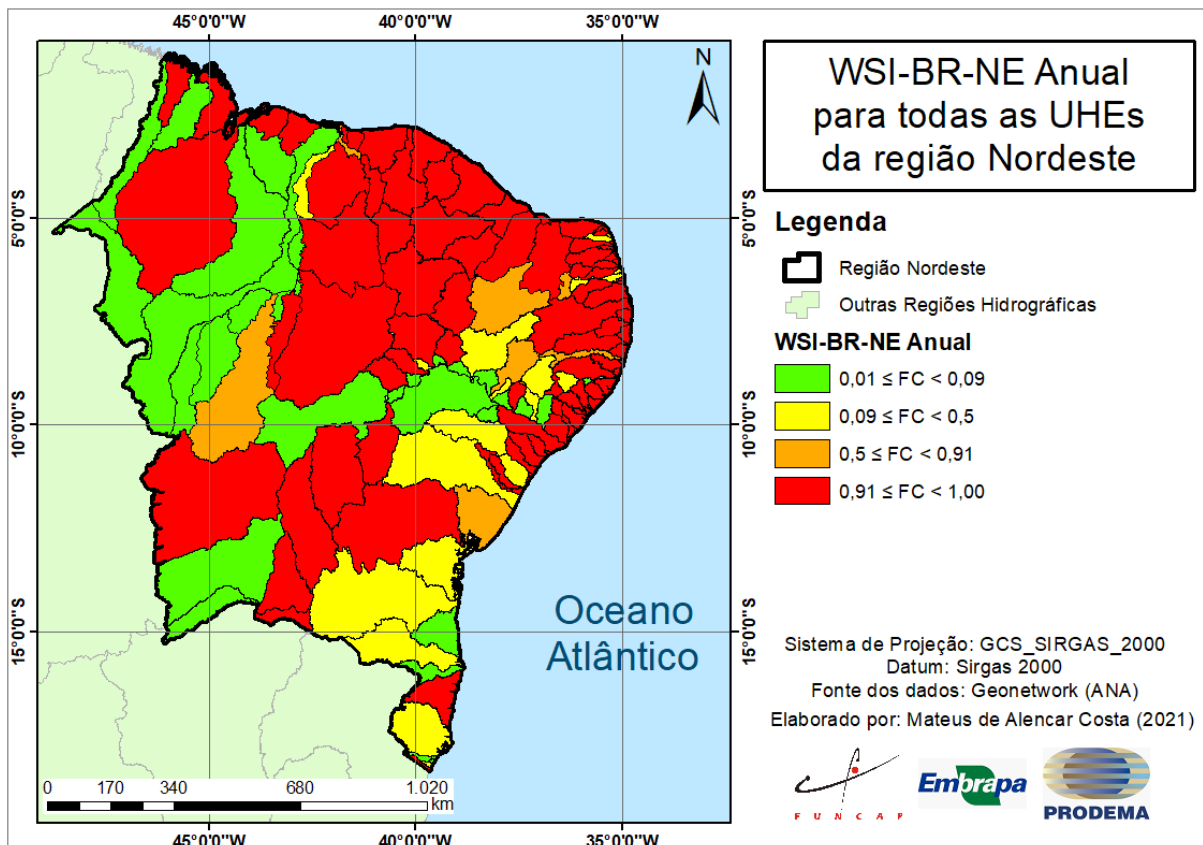
UHE	UF	WSI Anual	WSI 01	WSI 02	WSI 03	WSI 04	WSI 05	WSI 06	WSI 07	WSI 08	WSI 09	WSI 10	WSI 11	WSI 12
São Francisco SE	SE	0,98	0,97	0,96	0,92	0,91	0,92	0,91	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Sapucaia	SE	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Sergipe	SE	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	0,95	0,88	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
Vaza Barris SE	SE	0,41	0,88	0,66	0,25	0,27	0,13	0,18	0,11	0,58	0,92	0,99	1,00	0,96

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

4.1.3.1 Fatores WSI-BR-NE Anuais

Tomando como base os valores obtidos para WSI-BR-NE anual e classificados segundo Núñez *et al.* (2015), fica nítida a presença de escassez hídrica na região Nordeste do Brasil (Figura 16). Analisando os valores obtidos para os fatores WSI-BR-NE anuais, observou-se que 101 UHEs possuem valores acima de 0,5. Em outras palavras, 101 UHEs estão em situação de EHA ou EHMA.

Figura 15 - Valores finais de WSI anual para todas as UHEs da região Nordeste.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As regiões que possuem UHEs classificadas como menos escassas (EHB) em termos anuais estão localizadas próximas a grandes rios, como o São Francisco e o Parnaíba,

nos estados da Bahia e Maranhão/Piauí, respectivamente. Algumas explicações que podem ser levantadas para elucidar essa relação são a proximidade a esses grandes corpos hídricos, aumentando a disponibilidade hídrica dessas UHEs, e o fato de o clima desses estados ser diferenciado em relação ao restante do Nordeste.

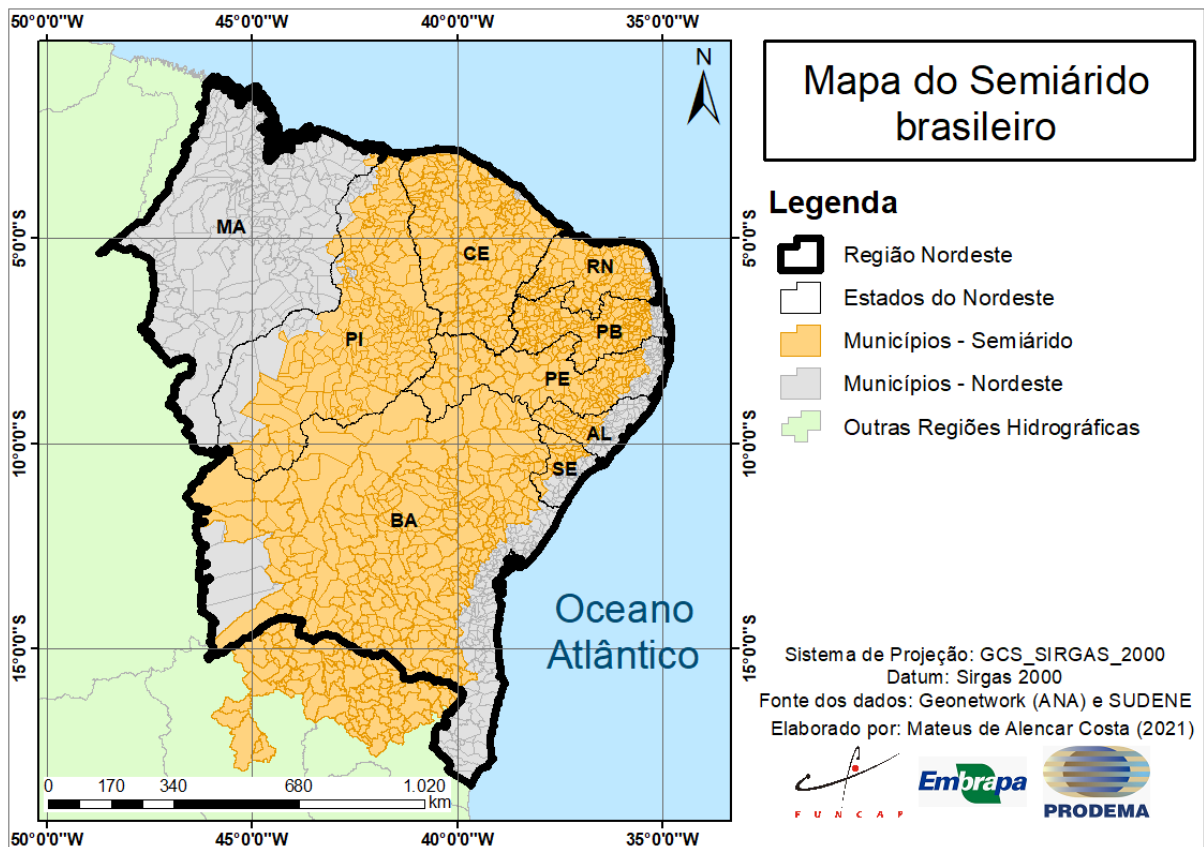
Como apontam Ferreira e Mello (2005), os fenômenos meteorológicos que causam precipitação na Bahia e no Maranhão não são iguais (em tipo de fenômeno e/ou intensidade) ao do restante dos estados nordestinos. Enquanto a Bahia recebe maior influência de frentes frias vindas do Sul, o Maranhão recebe forte influência dos Vórtices Ciclônicos em Alto Nível (VCAN) e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Dessa forma, grande parte do Maranhão e as regiões sul e costeira da Bahia possuem quadras chuvosas diferenciadas que geram índices pluviométricos mais elevados em relação ao restante do Nordeste, podendo chegar a quase 2000 mm no Maranhão e acima de 1100 mm na Bahia (CPRM, 2006).

Em relação às regiões que concentram o maior número de UHEs que pertencem as categorias de EHA e EHMA, tem-se como destaque o estado Ceará, que possui todas as suas UHEs classificadas como de Estresse Hídrico Muito Alto. Em seguida, pode-se citar os estados do Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe como regiões que possuem grande parte da sua área coberta por forte escassez hídrica.

Após a Resolução nº 115, de 23 de novembro de 2017, da SUDENE, o estado do Ceará possui a ter 175 municípios, dos 184 existentes, inseridos na região semiárida brasileira (Figura 17), o que corresponde a 95% do território cearense. Ainda, segundo a SUDENE (2021), para fazer parte da delimitação do semiárido, o município precisa atender três critérios: i) Precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; ii) Índice de Aridez de *Thornthwaite* igual ou inferior a 0,50; e iii) Percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano.

Confrontando o cenário do WSI-BR-NE com o da SUDENE (2021), é possível verificar que o estado do Maranhão possui apenas uma pequena parcela dentro do semiárido, atestando que possui características diferentes do restante do Nordeste que ocorrem por conta da influência exercida pelo clima da região Norte. Além disso, verifica-se que o litoral leste nordestino está fora do semiárido, fato que ocorre por possuir características climáticas distintas, que o fazem fazer parte da Zona da Mata do Nordeste, que possui clima Tropical Úmido.

Figura 16 - Região Semiárida do Brasil.

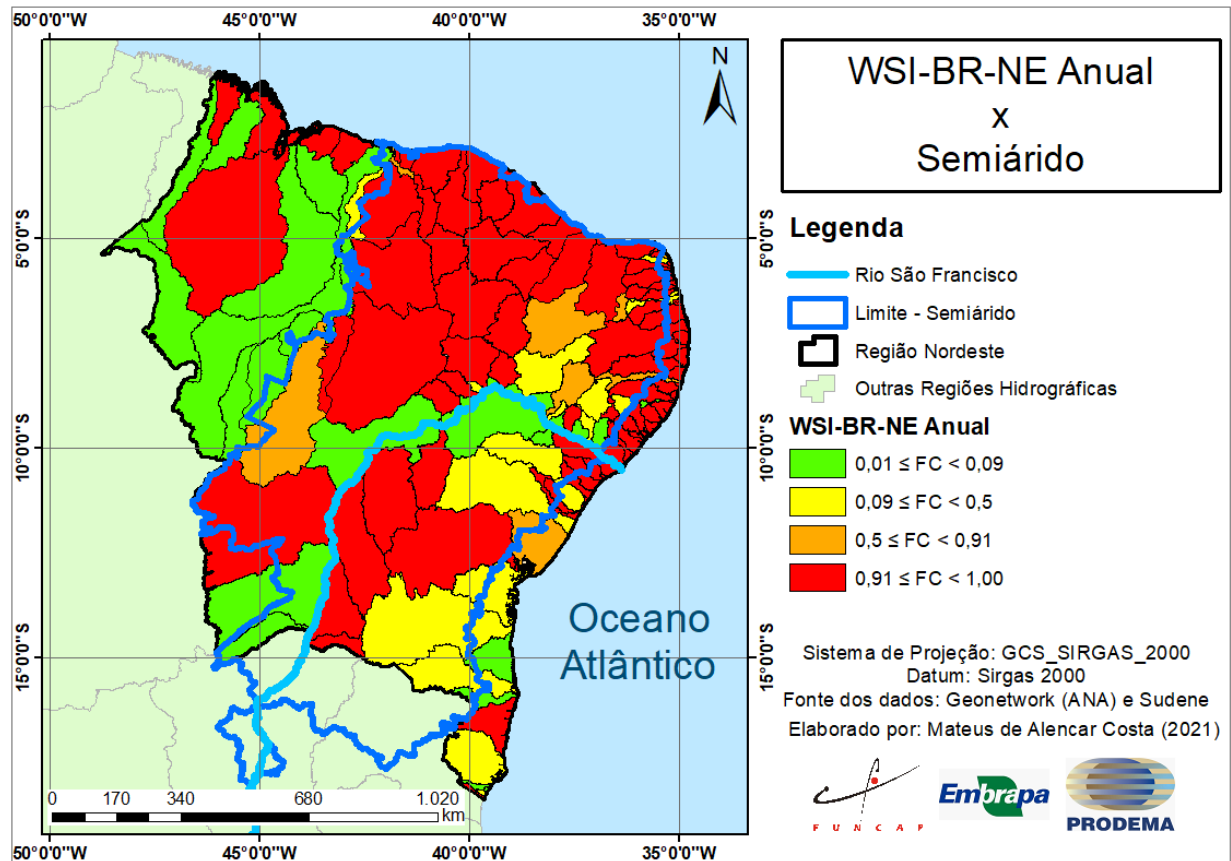


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Logo, os critérios utilizados pela SUDENE demonstram a situação de escassez hídrica vivenciada não só pelo estado do Ceará, mas por todo Nordeste que possui, dos seus 1.793 municípios, 1.171 dentro do semiárido (SUDENE, 2021). Dessa forma, o resultado dos fatores WSI-BR-NE anuais, apresentados na Figura 16, ganham força quando confrontados com os dados da SUDENE (Figura 18), que acabam atestando a veracidade do cenário obtido pelo uso do WSI-BR-NE e promovendo a existência de um contexto explicativo.

As únicas UHEs classificadas como EHB dentro da poligonal do semiárido são as que margeiam ou possuem algum trecho do rio São Francisco dentro do seu território, atestando a importância desse recurso hídrico para toda a região.

Figura 17 - Análise dos valores de WSI-BR-NE anual dentro do polígono do semiárido.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

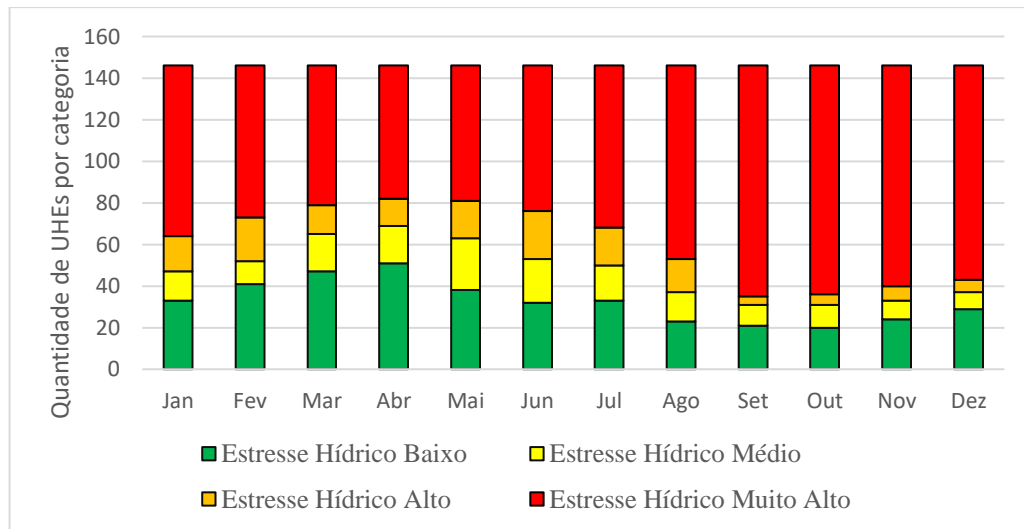
4.1.3.2 Fatores WSI-BR-NE Mensais

O Gráfico 4 mostra a quantidade de UHEs em cada categoria de escassez hídrica para todos os meses do ano, permitindo que seja realizada uma avaliação da variação do quantitativo presente em cada categoria por mês. Assim como nos fatores anuais, o fato de a região Nordeste estar contida majoritariamente no semiárido também afeta os fatores mensais.

De acordo com análise dos valores de WSI-BR-NE mensais obtidos, outubro é o mês no qual a escassez hídrica é mais intensa na região Nordeste. Nesse mês, 110 (75%) UHEs foram classificadas como EHMA, 5 (3%) UHEs como EHA, 11 (8%) como EHM e 20 (14%) como EHB (Gráfico 4).

Por outro lado, abril é o mês com menor escassez hídrica no território nordestino. Em abril, 64 (44%) UHEs foram classificadas como EHMA, 13 (9%) como EHA, 18 (12%) como EHM e 51 (35%) UHEs classificadas como EHB (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Quantidade de UHEs por categoria de escassez hídrica



Fonte: Elaborado pelo autor no *software* Minitab (2021).

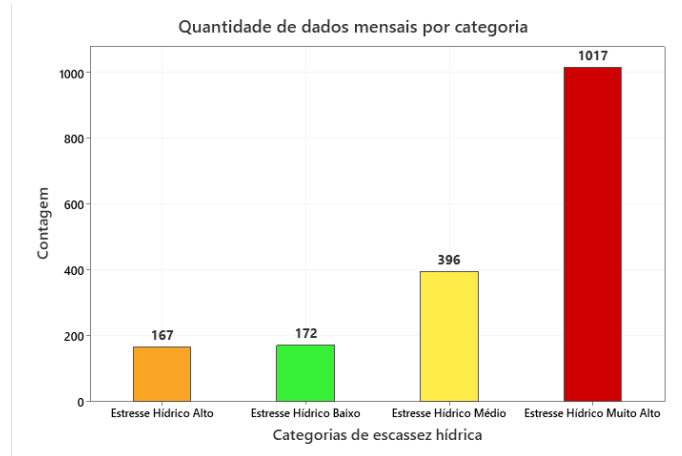
É possível verificar que mesmo sendo uma região historicamente reconhecida com forte escassez hídrica, alguns meses do ano possuem maior disponibilidade hídrica, gerando uma situação mais confortável. Os meses de fevereiro (41 UHEs), março (47 UHEs) e abril (51 UHEs) são os que concentram a maior quantidade de UHEs classificadas como de EHB pelo fato de concentrarem o período chuvoso da maior parte da região Nordeste. Tal resultado é similar ao obtido por Andrade *et al.* (2019), quando os autores regionalizaram as mesmas 146 UHEs da região Nordeste para o modelo AWARE. Todavia, Apesar de o período de fevereiro a abril possuir uma situação hídrica mais confortável, ainda é necessário atenção e cuidado em relação a utilização da água de modo geral por conta do panorama anual da região Nordeste.

Percebeu-se, ainda, que todos os estados do Nordeste possuem pelo menos uma UHE que obteve valor máximo de WSI-BR-NE mensal durante o ano inteiro. Na ordem baseada na quantidade de UHEs nessa situação, tem-se RN (17 UHEs), PE (14), BA (7), AL (3), PB (3), SE (3), CE (2), PI (2) e MA (1), totalizando 52 UHEs. Dessa forma, observou-se que a escassez hídrica não atinge os estados da região Nordeste (Figura 19) com a mesma intensidade e frequência. Por exemplo, os estados do CE, PB e RN passam metade do ano sob uma situação de EHMA, tendo todas as suas UHEs sido classificadas como EHMA durante julho a dezembro.

No Gráfico 5 é possível visualizar a distribuição dos 1752 valores (12 meses multiplicado pela quantidade de UHEs) de WSI-BR-NE mensal por categoria. Com 1017 valores, a categoria de escassez hídrica mensal que predomina na região Nordeste é a EHMA,

indicando a prevalência de escassez hídrica na região. Em seguida, obteve-se 369 valores para a categoria EHM, seguida por EHB (172) e EHA (167).

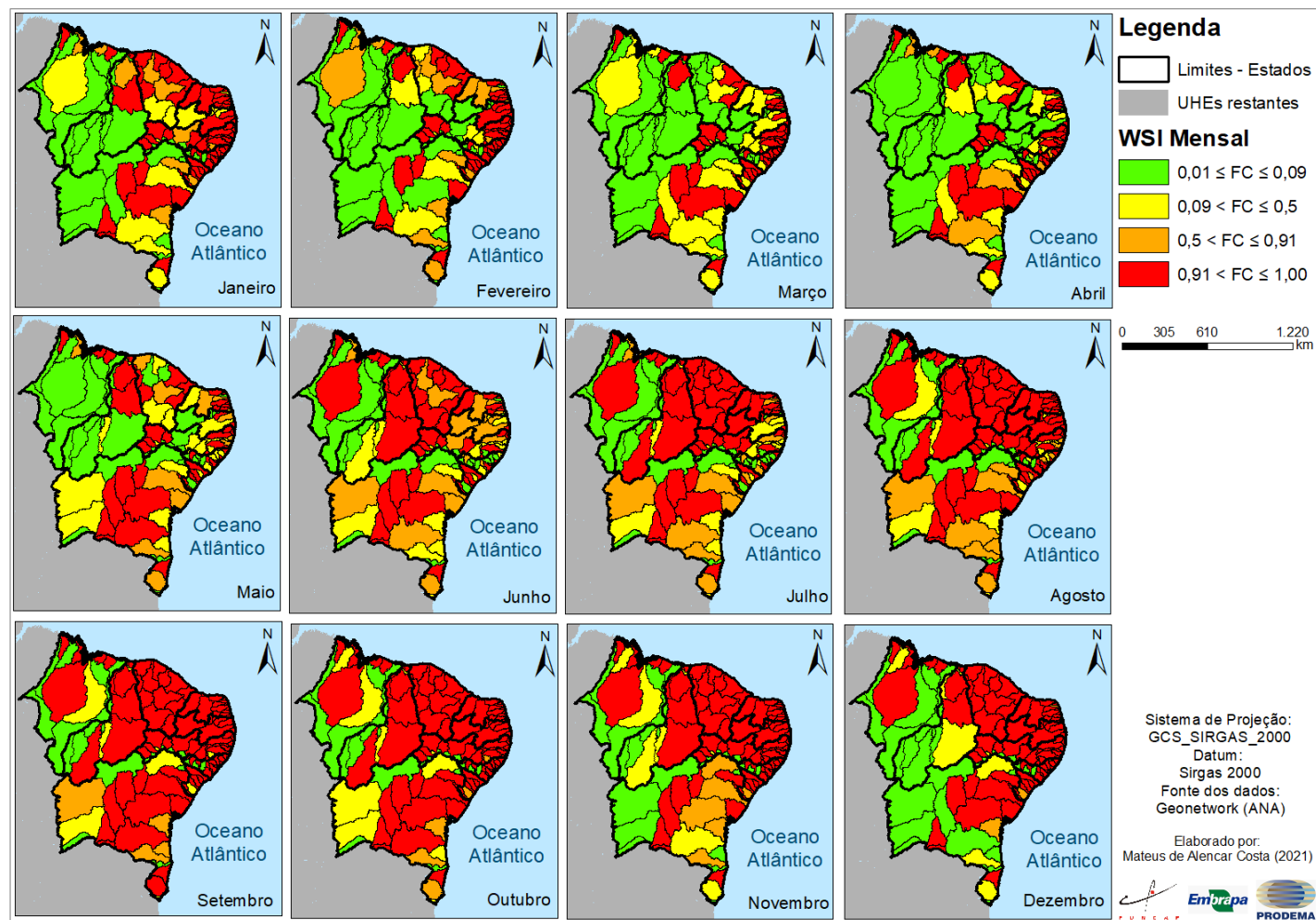
Gráfico 5 - Quantidade de dados mensais por categoria de escassez hídrica



Fonte: Elaborado pelo autor no *software* Minitab (2021).

Especificamente, a intensa escassez hídrica encontrada em algumas localidades do Nordeste pode ser explicada por alguns motivos além da situação climática de baixa disponibilidade e pluviosidade encontrada na maior parte da região, ambas já citadas anteriormente.

Figura 18 - WSI mensal para as UHEs da região Nordeste.

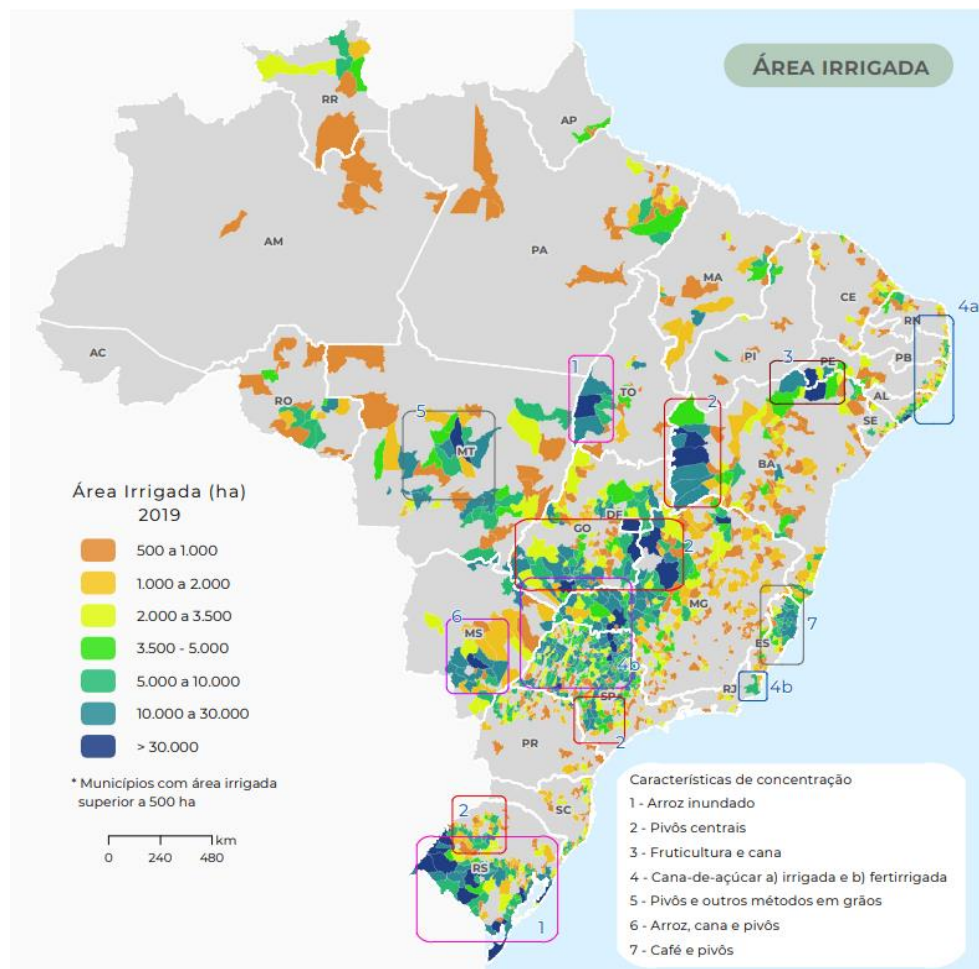


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Na divisa entre Ceará e Rio Grande do Norte, nas UHEs Baixo Jaguaribe-CE e Apodi-Mossoró-RN, encontram-se perímetros irrigados que requerem uma grande disponibilidade hídrica (Figura 20). Como exemplo, pode-se citar o fato de essas UHEs abrigarem: os maiores produtores e exportadores de melão e do setor de carcinicultura do Brasil; grande produção de melancia e mamão em Mossoró; e produção de mandioca no Baixo Jaguaribe (IBGE, 2021). O maior e mais conhecido perímetro de irrigação da região é o perímetro público Jaguaribe-Apodi, com operação iniciada em 1989 pelo DNOCS, que chega a utilizar cerca de 446 bilhões de litros de água por ano em uma área de, aproximadamente, 35 mil hectares (ANA, 2021c).

Além disso, as UHEs Baixo Jaguaribe e Apodi-Mossoró possuem cidades com setor turístico movimentado, cujo crescimento é fruto de grandes eventos (carnaval) e as praias da região que, conseqüentemente, aumentam a demanda hídrica no setor de abastecimento humano em determinadas épocas do ano, como aponta LIMA (2020).

Figura 19 - Área irrigada total: municípios com área irrigada superior a 500 hectares.

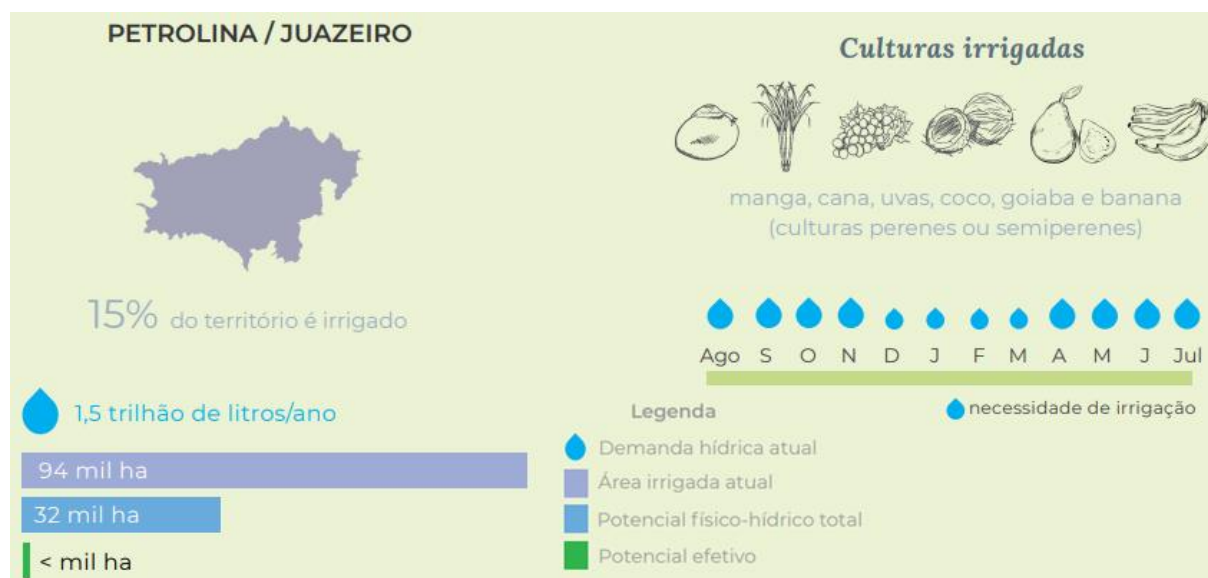


Fonte: ANA (2021c). Atlas Irrigação 2ªEd: Uso da Água na agricultura irrigada.

Outra localidade importante é a divisa entre Pernambuco e Bahia, especificamente nas cidades de Petrolina-PE e Juazeiro-BA (Figura 24). Essa região possui grandes perímetros irrigados como Bebedouro, Mandacaru, Maniçoba, Curaçá, Nilo Coelho, Tourão e Salitre, que auxiliam a região a ser uma das maiores produtoras do Nordeste e a mais desenvolvida na região do vale do rio São Francisco e, conseqüentemente, aumentam a demanda hídrica do setor de irrigação (ANA, 2021c).

O município de Petrolina-PE se destaca na produção de uva (346.500 Toneladas em 2019) e goiaba (94.500 toneladas em 2019) enquanto Juazeiro-BA destaca-se pela cana-de-açúcar (1.999.265 toneladas em 2019) (IBGE, 2021). Todavia, é pela produção de manga que os municípios são conhecidos, chegando a produzir juntos 548.353 toneladas em 2019, o equivalente a quase 40% da produção nacional de manga (IBGE, 2021). No total, essa região chega a utilizar cerca de 1,5 trilhão de litros de água por ano em uma área de aproximadamente 94 mil hectares (Figura 21) (ANA, 2021c).

Figura 20 – Caracterização da região agrícola de Petrolina/Juazeiro.



Fonte: ANA (2021c). Atlas Irrigação 2ªEd: Uso da Água na agricultura irrigada.

Por último, dentre vários outros exemplos, pode-se citar o sertão central da região Nordeste, próxima a coordenada geográfica 8°Sul 40°Oeste. Mesmo grande parte do Nordeste estando inserido no semiárido brasileiro, o sertão central possui características específicas que apontam uma escassez hídrica mais intensa do que no restante do Nordeste. Como exemplo, pode-se citar os índices de precipitação que possuem média entre 450 mm e 550mm, bem

menores do que a média de 800mm requerida para ser classificada como semiárida (ANA, 2013).

Em outras palavras, como explicitado no PNSH (ANA, 2019b), a agricultura e o abastecimento humano na região Nordeste causam uma grande pressão hídrica na região que, naturalmente, não possui grande disponibilidade hídrica (ANA, 2013). Todavia, existe um esforço nacional para permitir a continuidade dessas atividades no NE (CGEE, 2016).

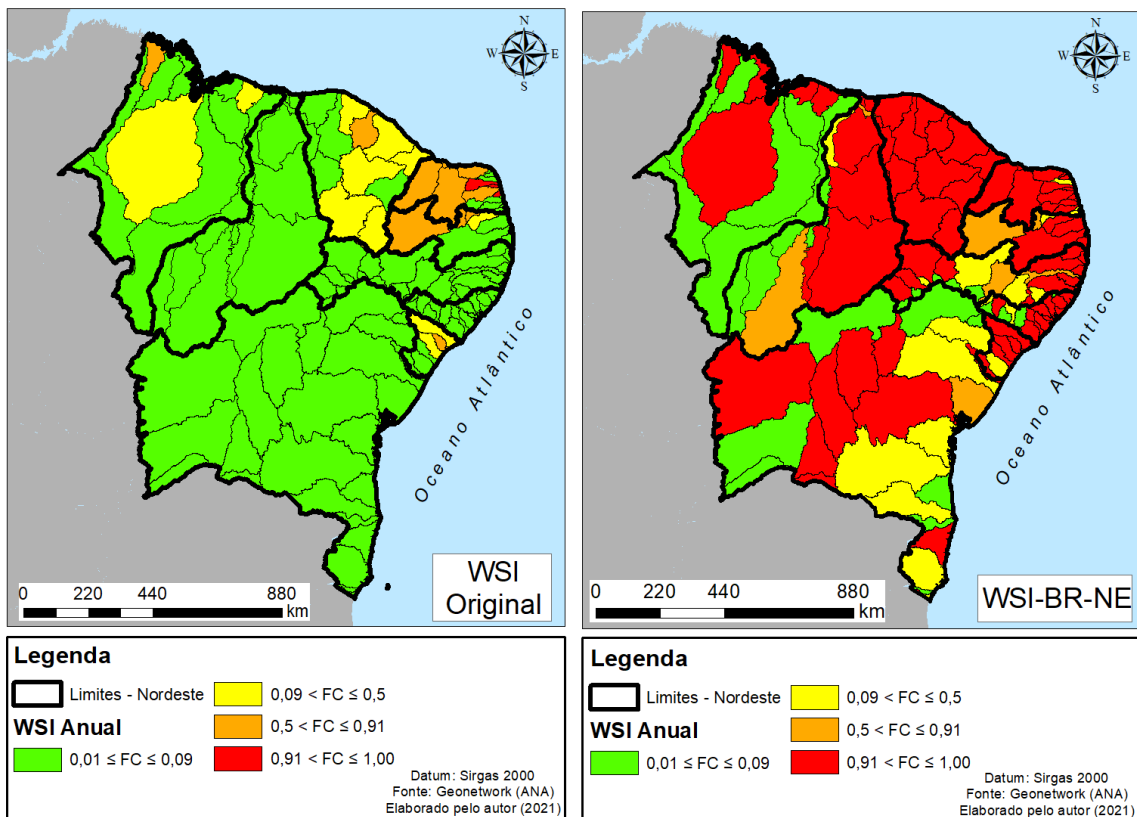
4.2 Etapa 4: comparações entre fatores

4.2.1 Comparação Qualitativa:

4.2.1.1 WSI anual x WSI-BR-NE anual

Na Figura 22 está a comparação entre o modelo WSI anual na sua forma original adaptada e o regionalizado (WSI-BR-NE). Observa-se que a regionalização acarreta maior número de bacias em situação EHMA anual.

Figura 21 - Comparação dos resultados dos métodos WSI original e WSI regionalizado



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Visualiza-se que a aplicação do modelo WSI Anual Original na região Nordeste sugere que essa região não sofre com problemas de escassez hídrica (Figura 22). No WSI, as

UHEs presentes no território nordestino são classificadas em maioria expressiva como de EHB, a qual possui 117 UHEs (80%), e apenas 6 UHEs (4 %) apontaram uma situação de EHMA. Além disso, no WSI anual original, todas as UHEs classificadas como de EHMA estão localizadas no Rio Grande do Norte e são: 16-3, 16-4, 16-5, Ceará-Mirim, Pirangi e Rio Doce, fato que conduz a uma interpretação de que o fenômeno de escassez hídrica é algo particular a esse estado.

Por outro lado, o mapa do WSI-BR-NE anual na Figura 22 mostra situação oposta a encontrada no modelo original, com diferença significativas nas categorias EHB e EHMA (Tabela 13). A utilização do WSI-BR-NE Anual resultou em uma classificação majoritária das UHEs nordestinas como de EHMA, a qual possui 91 UHEs (63%). Apenas 27 (19%) UHEs, cuja maioria está concentrada nas regiões hidrográficas do São Francisco e do Tocantins-Araguaia, foram classificadas como EHB.

Tabela 13 - WSI Anual x WSI-BR-NE Anual: bacias e UHEs por categoria.

WSI Original			WSI-BR-NE		
Categoria	Contagem	Porcentagem	Categoria	Contagem	Porcentagem
Estresse Hídrico Baixo	117	80	Estresse Hídrico Baixo	27	19
Estresse Hídrico Médio	12	8	Estresse Hídrico Médio	19	13
Estresse Hídrico Alto	11	8	Estresse Hídrico Alto	9	6
Estresse Hídrico Muito Alto	6	4	Estresse Hídrico Muito Alto	91	63
Total	146	100	Total	146	100

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Com a regionalização do modelo anual, 112 UHEs subiram de categoria de escassez hídrica enquanto as 34 UHEs restantes permaneceram na mesma categoria. Além disso, 128 UHEs obtiveram no WSI-BR-NE anual valores maiores do que no modelo WSI anual. A UHE “Dos Frades, Buranhém e Santo Antônio”, localizada na Bahia, destacou-se obtendo o maior aumento registrado, com valor de WSI-BR-NE anual 91 vezes maior do que no WSI, ou seja, um aumento de 9105%. Ademais, 17 UHEs obtiveram valores menores no WSI-BR-NE anual, dentre os quais destacou-se a UHE Traipu, em Alagoas, com uma redução de aproximadamente 50% no seu valor final.

Para aprofundar a comparação entre WSI e WSI-BR-NE anual, também foi realizada uma análise em termos de área territorial (km²) cujo resultado pode ser visualizado na Tabela 14. Utilizando o WSI Anual Original, o Nordeste teve quase 87% da sua área categorizada como de EHB e apenas 0,2% como de EHMA. Entretanto, com o uso do WSI-

BR-NE Anual, 26% da área do Nordeste foi categorizada como de EHB e 54% como de EHMA, ou seja, um aumento de área de cerca de 845 mil km² na categoria EHMA (Tabela 14).

Tabela 14 - WSI Anual x WSI-BR-NE Anual: área territorial.

WSI Original			WSI Regionalizado		
Categoria	Área (km ²)	Porcentagem	Categoria	Área (km ²)	Porcentagem
Estresse Hídrico Baixo	1.353.267,6	86,7	Estresse Hídrico Baixo	402.562,98	26
Estresse Hídrico Médio	120.917,8	7,7	Estresse Hídrico Médio	202.578,26	13
Estresse Hídrico Alto	82.782,7	5,3	Estresse Hídrico Alto	106.165,86	7
Estresse Hídrico Muito Alto	3.783,2	0,2	Estresse Hídrico Muito Alto	849.444,17	54
Total	1.560.751,27	100,00	Total	1.560.751,27	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Analisando artigos e relatórios de órgãos oficiais do governo, observa-se que a alta escassez encontrada com a regionalização do modelo WSI no Nordeste está de acordo com esses trabalhos. As Conjunturas de Recursos Hídricos no Brasil, lançadas anualmente, promovem a criação de um panorama que aponta um estresse hídrico intenso no Nordeste, comprovado através da análise do balanço hídrico quantitativo por RH (ANA, 2013).

O Plano Nacional de Segurança Hídrico (PNSH), lançado em 2019 pela ANA, também reconhece a presença de intenso estresse hídrico no Nordeste. Sua criação teve como intenção criar “um planejamento integrado e consistente de infraestrutura hídrica com natureza estratégica e relevância regional, até o horizonte de 2035, para redução dos impactos de secas e cheias” (ANA, 2019b). O Programa de Segurança Hídrica (PSH), um dos vários inseridos no PNSH, prevê destinação de verba para as intervenções recomendadas pelo PNSH e cerca de 58% desse montante é direcionado apenas para a região Nordeste, com destaque para o semiárido, o que corresponde a R\$ 15,7 bilhões de reais.

O cenário do WSI original também é contrário ao cenário de intensa escassez encontrado por Andrade *et al.*, (2018) para o NE, quando os autores regionalizaram o modelo AWARE.

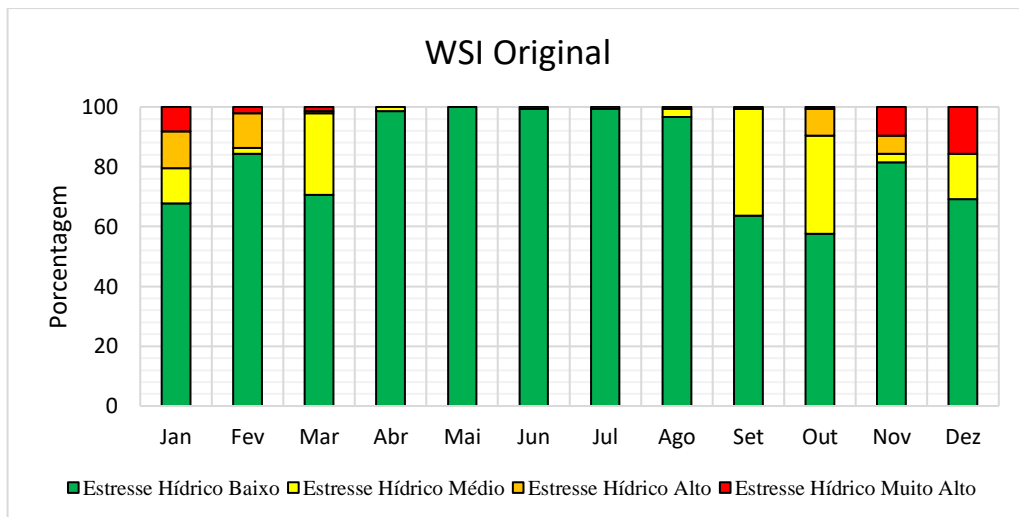
4.2.1.2 WSI mensal x WSI-BR-NE mensal

Em relação ao WSI-BR-NE mensal, de acordo com as porcentagens calculadas e apresentadas nos Gráfico 6 e 87, a maior diferença na categoria de EHB foi encontrada no mês de agosto. A aplicação do WSI mensal (Gráfico 6) resultou em uma classificação de 141 UHEs

(96,58%) para essa categoria enquanto ao utilizar o modelo WSI-BR-NE mensal (Gráfico 7), esse valor chegou apenas a 23 UHEs (15,75%).

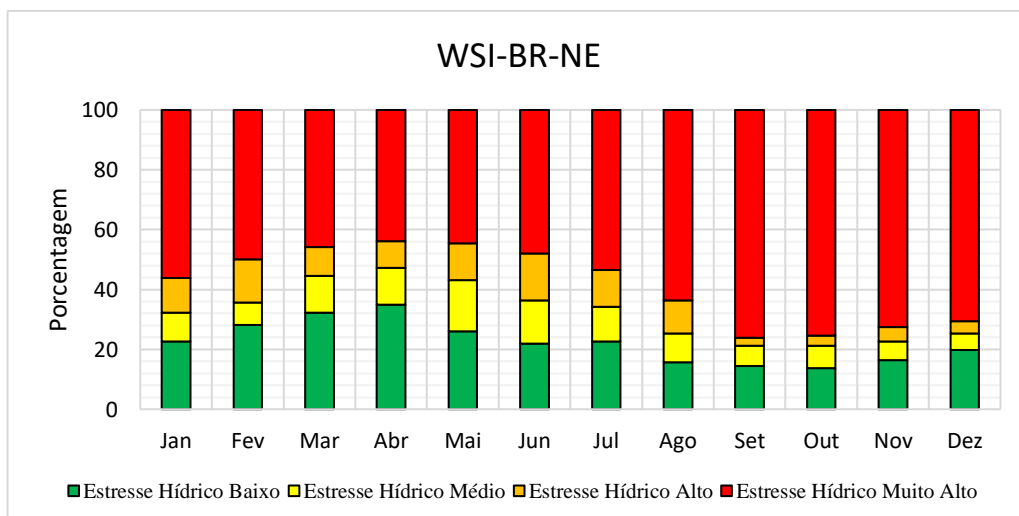
Em relação a categoria de EHMA, a maior diferença apresentada foi no mês de setembro, no qual foi constatado uma diferença de 73,09 pontos percentuais. Através do uso do WSI mensal, apenas 2,94% (2) das UHEs foram classificadas como EHMA, todavia, essa porcentagem aumenta para 76,03% quando o WSI-BR-NE mensal é aplicado (APÊNDICE D).

Gráfico 6 - Distribuição das UHEs por categoria de escassez hídrica (WSI Mensal).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Gráfico 7 - Distribuição UHEs por categoria de escassez hídrica (WSI-BR-NE).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

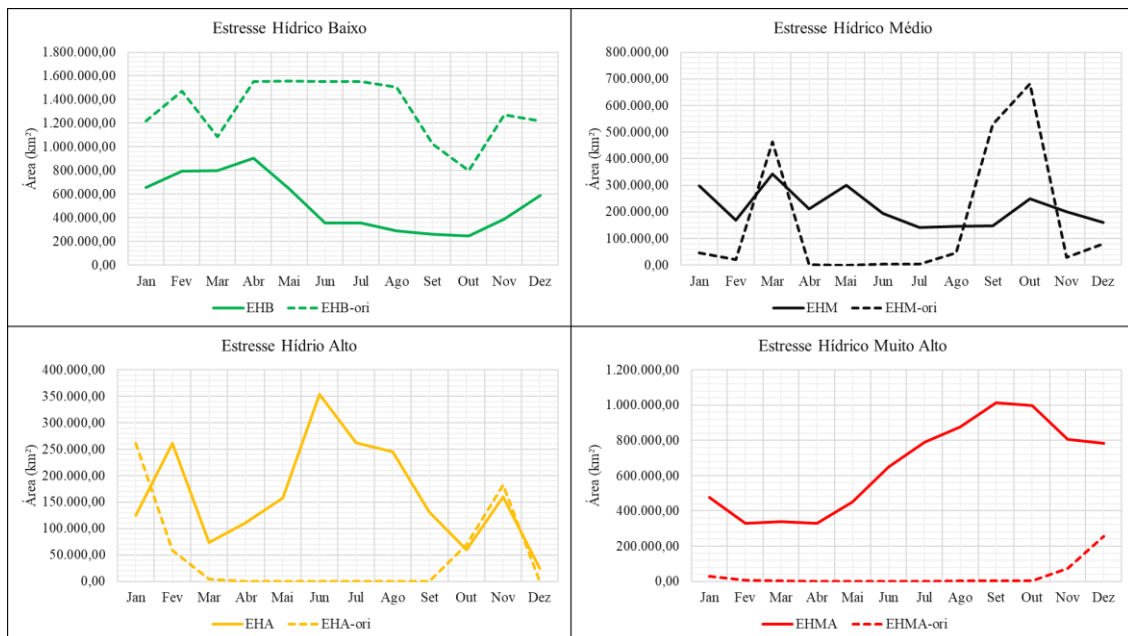
Ademais, destacam-se os seguintes pontos em relação aos valores de WSI mensal:

i) todas as UHEs são classificadas como EHB no mês de maio; ii) os meses de abril, maio, junho e julho não possuem valores de WSI acima de 0,5; iii) apenas 1 UHE foi classificada

como EHMA nos meses de agosto, setembro e outubro; e iv) o mês com pior cenário de escassez hídrica no modelo original foi dezembro, com apenas 16% (23 UHEs) das suas UHEs na categoria EHMA.

Na análise realizada em termos de área territorial que cada categoria abrange por mês nos modelos WSI mensal e WSI-BR-NE mensal, obteve-se como resultado o Gráfico 8. De acordo com os valores de área calculados, os meses de maio e junho possuem a maior cobertura territorial da categoria de EHB no modelo WSI Original Mensal com 1.557.702,52 Km², ou seja, cerca de 99,7% de toda a área da região Nordeste. Todavia, quando o modelo WSI-BR-NE Mensal é aplicado, a maior área coberta por tal categoria é de apenas 904.236,50 Km² (aproximadamente 58% do território nordestino) no mês de abril. Ademais, a maior diferença encontrada entre os dois modelos nessa categoria é no mês de agosto, no qual o modelo original possui uma área de 1.216.713,29 Km² categorizada como EHB a mais do que o modelo regionalizado.

Gráfico 8 - WSI mensal x WSI-BR-NE mensal: área (m²) por categoria de escassez hídrica



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Avaliando os dados obtidos para a categoria EHMA mensal no modelo original, obteve-se que o mês com maior cobertura foi o de dezembro com 256.588,63 Km², aproximadamente 16,5% da área da região Nordeste. Já com a aplicação do WSI-BR-NE mensal, chegou-se a uma área máxima da categoria EHMA de 1.015.773,91 Km² de cobertura no mês de setembro, ou seja, aproximadamente 65% do território Nordestino. A maior diferença

encontrada para essa categoria também foi no mês de setembro, com uma área de 1.011.833,07 Km².

Os períodos determinados como de maior (setembro, outubro e novembro) e menor (fevereiro, março e abril) intensidade de escassez hídrica nesse trabalho são os mesmos identificados por alguns mecanismos do governo, como o Monitor de secas. Esse mecanismo foi idealizado em 2012, no auge da segunda seca mais longa já ocorrida no Nordeste (LIMA; MAGALHÃES, 2018) e foi implementado em julho de 2014 com a intenção de monitorar os episódios de seca na região Nordeste, e futuramente em todo o Brasil, com o intuito de melhorar a previsão e o alerta precoce de secas (ANA, 2021a).

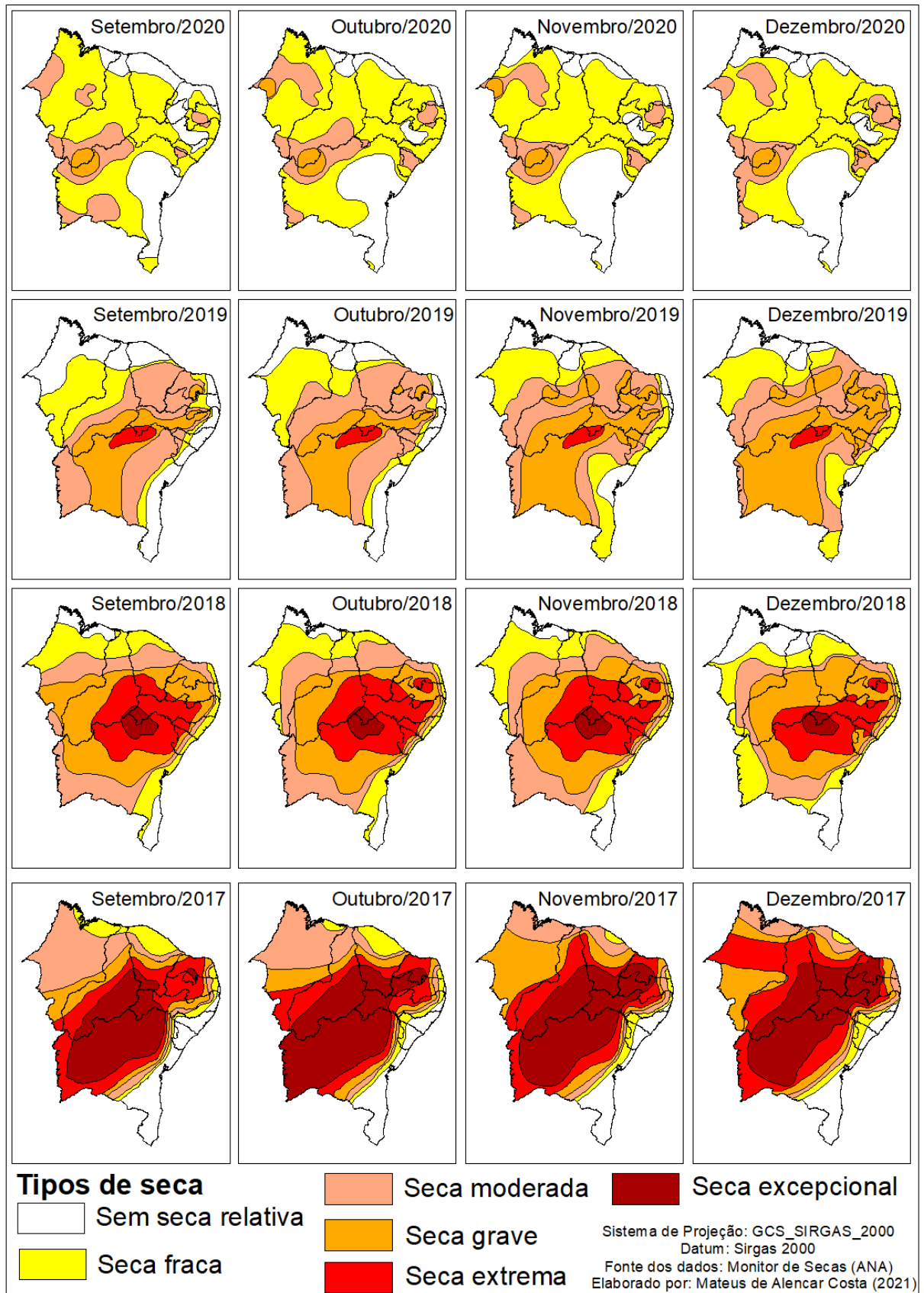
Segundo análise mensal realizada pelo Monitor de Secas, o mês de setembro dá início ao período mais seco no ano, que chega ao ápice em novembro ou dezembro, a depender da quadra chuvosa do ano em questão. No ano de 2017, como pode ser visualizado na Figura 23, o ápice da escassez hídrica foi no mês dezembro, todavia, o ano de 2017 fez parte de um período atípico, no qual a região Nordeste enfrentou uma intensa e prolongada seca de 2012 a 2017.

Dos anos de 2018 a 2020, o ápice do período mais seco ocorreu em novembro, assim como sinalizado pelos fatores WSI-BR-NE mensais. No período citado, o mês de dezembro já dá início a um período de regressão da escassez que se concretiza em janeiro, quando começa a quadra chuvosa na maior parte do território nordestino.

Ao analisar o mês de fevereiro de 2018 e dezembro de 2017, principalmente, observa-se a importância da quadra chuvosa para a região nordestina. Com bons índices pluviométricos, o ano de 2018 marcou o fim da seca prolongada de 2012 a 2017. O cenário na maioria do Nordeste era de Seca excepcional ao final de 2017 e passou a ser de Seca Moderada/Seca Grave (Figura 24).

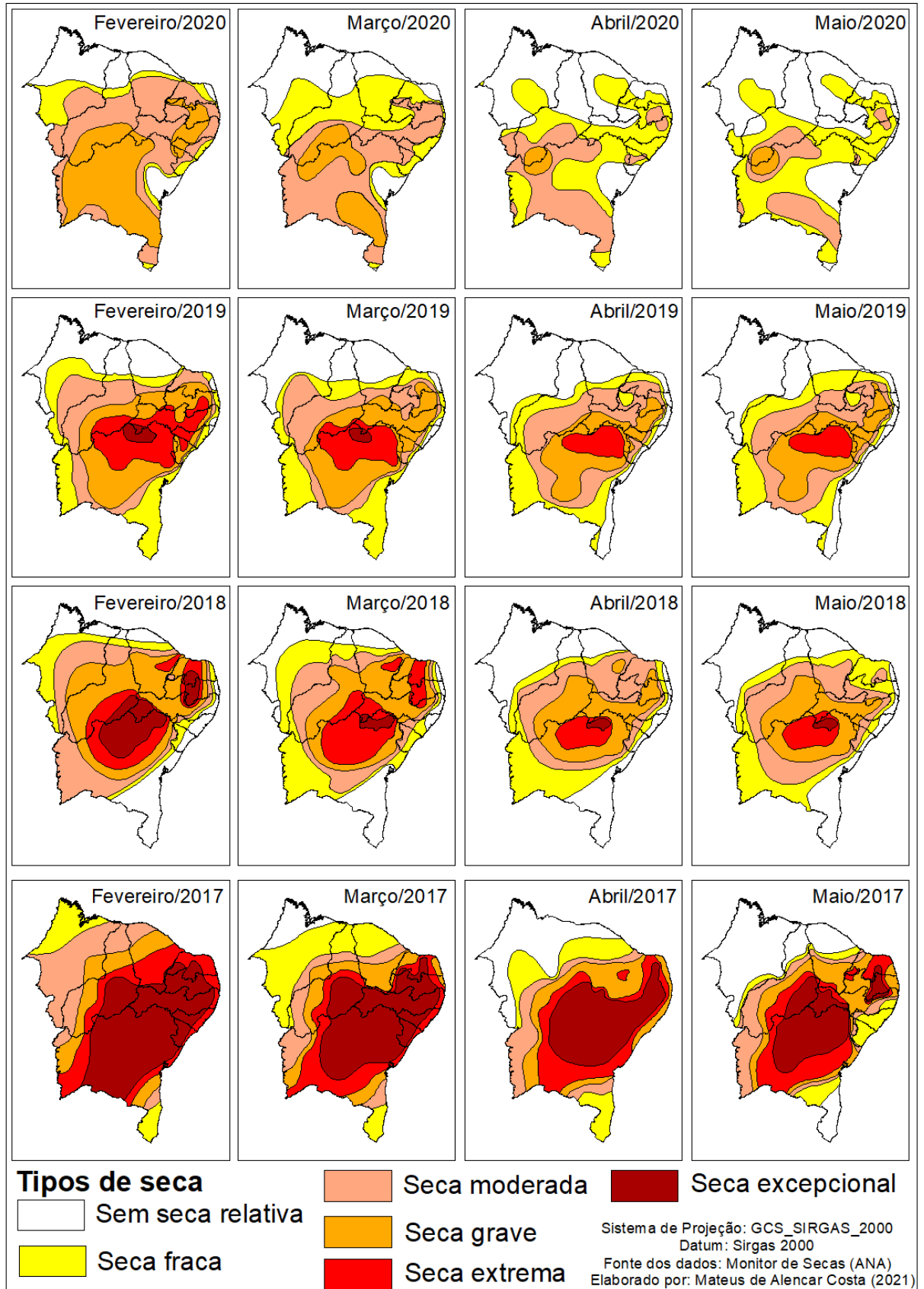
Dessa forma, o Monitor de Secas aponta que o período de seca menos intensa no Nordeste é similar ao apresentar pelos fatores WSI-BR-NE mensais. Enquanto o WSI-BR-NE mensal aponta os meses de fevereiro, março e abril como os menos escassos, o Monitor de Secas aponta os meses de março, abril e maio.

Figura 22 - Estudo da seca no Nordeste nos meses mais escassos: 2017 a 2020.



Fonte: Adaptado do Monitor de Secas do Brasil (ANA, 2021a).

Figura 23 - Estudo da seca no Nordeste nos meses menos escassos: 2017 a 2020.



Fonte: Adaptado do Monitor de Secas do Brasil (ANA, 2021a).

4.2.2 Comparação Quantitativa:

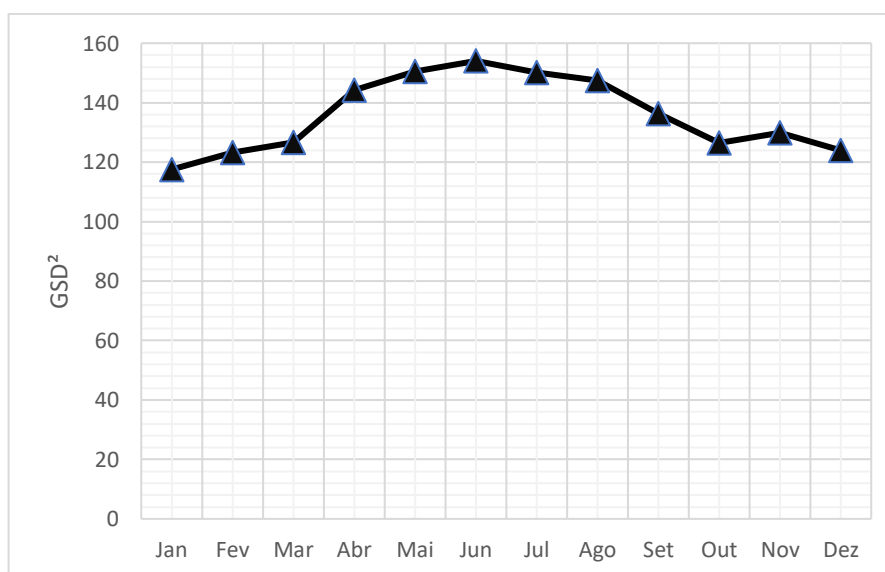
4.2.2.1 WSI x WSI-BR-NE anual e mensal

Na comparação realizada entre WSI anual e WSI-BR-NE anual, obteve-se um GSD² de 122,10. Esse valor equivale a quase o dobro do valor encontrado na comparação entre os modelos AWARE (Boulay *et al.*, 2018) e WSI Boulay, que foram considerados os modelos mais distantes entre si, com GSD² de 63,25. Além disso, considerando o resultado de GSD² de 88,96 obtido por Andrade *et al.* (2018) ao comparar AWARE e AWARE-BR, aponta-se que a regionalização proporciona diferenças maiores entre WSI e WSI-BR-NE do que entre AWARE e AWARE-BR-NE.

A comparação entre WSI e WSI-BR-NE mensal também apontou grande divergência nos resultados. O menor valor de GSD² calculado foi de 117,53, obtido na comparação dos valores do mês de janeiro, enquanto o maior (154,04), em junho.

O período no qual é possível encontrar os maiores valores de GSD² é no da transição da quadra chuvosa para o período de seca no Nordeste brasileiro. Os meses de maio, junho e julho são os que apresentam os maiores valores de GSD² (Gráfico 9) e tal variação indica que os modelos diferem mais entre si no período em que os valores de WSI e WSI-BR-NE mudam de forma mais brusca.

Gráfico 9 - Valores de GSD² por mês na comparação WSI versus WSI-BR-NE



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A notável e expressiva diferença entre valores WSI e WSI-BR-NE anuais e mensais pode ser explicada através da análise de um conjunto de fatores, como: a utilização de base de

dados modelizada do WaterGAP (WSI original) para a definição dos valores de disponibilidade, demanda e precipitação que são necessários para a realização dos cálculos.

Além disso, esse trabalho e o WaterGAP utilizam períodos distintos para o cálculo de disponibilidade, demanda e precipitação. O WaterGAP adota a série histórica de 1961 a 1990 na elaboração dos seus dados de precipitação, dessa forma, foi o período utilizado por Pfister *et al.* (2009) para o cálculo de WSI anual e mensal. Já nesse trabalho, foi utilizada a série histórica de 1991 a 2020 para os dados de precipitação.

A diferença entre os períodos no cálculo da escassez pelo modelo original e pelo regionalizado acarreta um descompasso nos resultados obtidos. Isso ocorre, por exemplo, pelo fato de os anos de tal diferença entre as duas séries históricas terem sido palco de algumas mudanças ambientais (como mudanças climáticas), mudança na eficiência de uso de água e até mesmo modificação no padrão de consumo de água, fatores que são levados em consideração nos dados de disponibilidade e demanda hídrica (NÚÑEZ *et al.*, 2015). Segundo dados do PNSH, de 1990 a 2020, houve um aumento de aproximadamente 104% no volume de retirada de água somente no Brasil. (ANA, 2019b).

Um processo de regionalização similar ao proposto pelo presente estudo foi realizado na Espanha, no qual Núñez *et al.* (2015) encontraram diferenças significativas entre os valores de WSI original e o regionalizado. O processo de regionalização foi realizado em nível de sub-bacias e, segundo os dados obtidos, os valores de WSI original criaram um cenário superdimensionando, apontando intensa escassez hídrica onde a situação hídrica era média ou boa. Segundo esses autores, um processo de regionalização desenvolvido com informações nacionais e com limites mais específicos (no caso, sub-bacias) consegue resgatar as características únicas presentes nos locais de estudo. Dessa forma, a regionalização não apontara somente cenários mais escassos, e sim cenários mais realistas.

4.2.2.2 WSI-BR-NE x AWARE-BR-NE

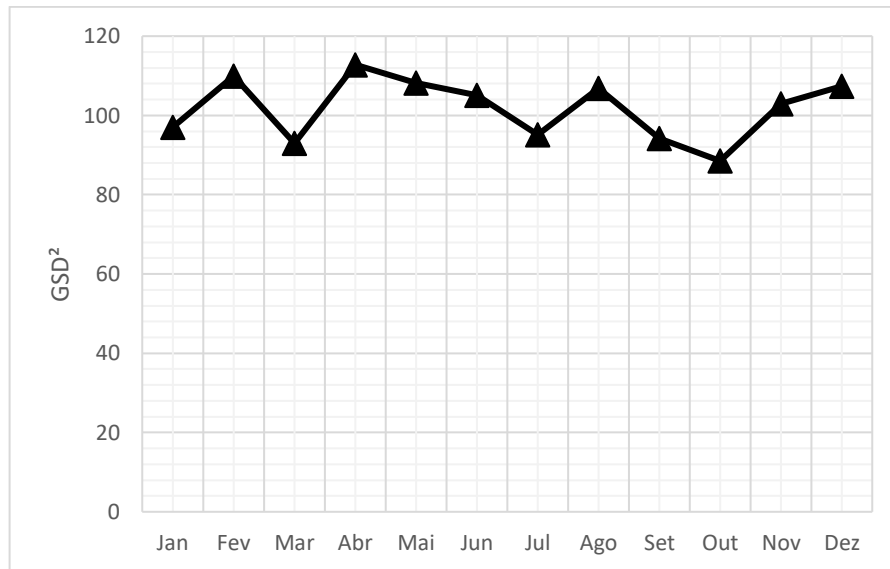
Na comparação entre os fatores anuais de WSI-BR-NE e AWARE-BR-NE, obteve-se um GSD² igual a 45,8. Comparando com os valores obtidos por Boulay *et al.* (2018) e com o resultado obtido na comparação entre WSI e WSI-BR-NE, o valor de 45,8 só é menor que a comparação entre AWARE e WSI Boulay (GSD² = 63,25) e entre WSI e WSI-BR-NE (GSD² = 122,10).

Em análise direcionada para comparação entre os fatores mensais de WSI-BR-NE e AWARE-BR, observou-se que os modelos mensais não mantêm a proximidade obtida nos

seus modelos anuais. O valor mínimo encontrado foi em outubro ($GSD^2 = 88,53$) e o valor máximo em abril ($GSD^2 = 112,79$) (Gráfico 10).

Como identificado, outubro é o mês mais escasso e abril é o menos escasso no WSI-BR-NE. Dessa forma, observou-se que os fatores de WSI-BR-NE e AWARE-BR possuem maior discrepância no período no qual a escassez é mais amena.

Gráfico 10 - Valores de GSD^2 por mês na comparação WSI-BR-NE x AWARE-BR-NE.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

5 CONCLUSÃO

No presente trabalho, foram gerados fatores WSI-BR-NE anuais e mensais para todas as 146 UHEs contidas no território nordestino. Baseado nos valores de WSI-BR-NE anuais, concluiu-se que o estado do Ceará é o estado mais escasso do Nordeste, com todas as suas 12 UHEs classificadas como EHMA. Em relação ao estado menos escasso, obteve-se o estado do Maranhão, que teve 58% das suas UHEs classificadas como EHB, além de não possuir nenhuma UHE classificada como EHA e EHMA.

Analisando os valores de WSI-BR-NE mensais, observou-se que os meses mais escassos foram outubro, novembro e dezembro enquanto os meses de fevereiro, março e abril foram os menos escassos. Além disso, os estados do Ceará e Rio Grande do Norte se destacaram como os mais escassos em termos mensais, chegando a passar seis meses com todas as UHEs classificadas como EHMA. Em relação aos estados menos escassos, despontaram os estados do Maranhão e Bahia, que possuem climas e períodos de chuva diferenciados em relação ao restante do Nordeste.

Na comparação entre WSI e WSI-BR-NE anuais, identificou-se discrepância considerável entre o modelo original e o regionalizado. Analisando esses fatores, foi possível constatar grande alteração de categoria de escassez hídrica, na qual 112 UHEs subiram de categoria. Além disso, 128 UHEs obtiveram fatores anuais maiores no WSI-BR-NE do que no WSI. O maior aumento, de 9105%, ocorreu na UHE Dos Frades, Buranhém e Santo Antônio (BA). Dentre as 17 UHEs que obtiveram valores menores no WSI-BR-NE, destacou-se a UHE Traipu (AL), com uma redução de aproximadamente 50% no seu valor final.

Os fatores WSI e WSI-BR-NE mensais também apresentaram cenários distintos. Apesar de ambos sinalizarem os mesmos períodos para os meses mais escassos e menos escassos, o WSI mensal apontou que os meses de abril, maio, junho e julho não possuem valores acima de 0,5 e, pelo menos, 98% das UHEs foram classificadas como EHB. Todavia, no WSI-BR-NE mensais, esses meses possuem, no máximo, 35% das UHEs classificadas como EHB. O mês de setembro foi o mês que apresentou a maior diferença em relação a categoria EHMA, com cerca de 76,03% mais UHEs no WSI-BR-NE. Em relação a categoria EHB, os fatores WSI mensais apresentaram 80,53 pontos percentuais a mais do que o WSI-BR-NE no mês de agosto.

A comparação quantitativa entre os fatores anuais e mensais de WSI-BR-NE e WSI resultaram em GSD^2 de 112, na comparação dos fatores anuais, e GSD^2 de 154 no mês de junho, como valor máximo nos fatores mensais. Já na comparação quantitativa entre WSI-BR-NE

anual e AWARE-BR-NE anual, obteve-se GSD² de 45,8. Em relação a comparação entre fatores mensais, o valor máximo obtido foi de 112 no mês de abril, logo, a aproximação obtida entre os fatores anuais não se repetiu para os fatores mensais. Todavia, a diferença nos valores de GSD² da comparação entre WSI *versus* WSI-BR-NE e WSI-BR-NE *versus* AWARE-BR-NE diminuiu. Na análise anual, houve queda de 66,2 no valor de GSD² e de 42 na análise mensal. Tal diminuição ocorreu pelo fato de ambos os modelos regionalizados utilizarem a mesma base de dados hidrológicos nacionais

Em resumo, observou-se que os resultados obtidos pelos WSI-BR-NE anuais mensais, que apontam intensa escassez hídrica na maior parte da região Nordeste do Brasil, encontram amparo técnico em artigos anteriores (Andrade *et al.*, 2019), em relatórios de órgãos do governo (ANA), no Monitor de Secas e em planos nacionais, como é o caso do PNSH. Todos esses documentos apontam a existência de seca na região Nordeste e suas variações ao longo do ano, além de apontarem medidas que podem ser tomadas para minimizar as questões geradas pela saúde hídrica da região.

Todavia, os fatores de WSI-BR-NE mensais e anuais não foram capazes de detectar a boa saúde hídrica de parte do estado do Piauí (RH Parnaíba), já que o a Conjuntura realizada pela ANA aponta que a maior parte do estado possui uma saúde hídrica excelente/confortável, enquanto o WSI-BR-NE anual identificou a região como muito crítica. Ademais, os fatores regionalizados também superdimensionaram a escassez hídrica a região sul da porção nordestina da RH São Francisco.

Aparentemente, as UHEs, em alguns casos, podem ser limites geográficos muito grandes para identificarem a variação rápida de disponibilidade e demanda de algumas regiões. Dessa forma, regiões que possuem uma boa saúde hídrica acabam sendo comprometidas por estarem inseridas em uma mesma UHE que uma região com grande demanda, fato bastante usual ao longo do rio São Francisco, região com grandes polos de irrigação.

Apesar das diferenças encontradas, a regionalização realizada utilizando os dados de entrada citados, mostrou-se eficaz na geração de fatores (WSI-BR-NE) anuais e mensais mais sensíveis às regiões que sofrem com escassez hídrica na região Nordeste do que os do modelo WSI. Dessa forma, a regionalização gerou resultados importantes, proporcionando fatores mais adequados à realidade da região, gerando informações mais consistentes que podem ser úteis para utilização em políticas públicas, pesquisa e tomada de decisão, além de reduzir incertezas em estudos específicos de escassez hídrica no Nordeste brasileiro.

REFERÊNCIAS

- ALCAMO, Joseph. *et al.* Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. **Hydrological Sciences Journal**, [s. l.] v. 48, n. 3, p. 317-337, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1623/hysj.48.3.317.45290>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1623/hysj.48.3.317.45290>. Acesso em: 20 nov. 2020.
- ANA (Agência Nacional de Águas). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília, DF, 2013. Disponível em: http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2013_rel.pdf Acesso em: 7 fev. 2021.
- ANA (Agência Nacional de Águas). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília, DF, 2019. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_informe_anual_2019-versao_web-0212-1.pdf. Acesso em: 10 nov. 2020.
- ANA (Agência Nacional de Águas). Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Estudo Técnico. **Caderno de Recursos Hídricos**. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2020.
- ANA (Agência Nacional de Águas). **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília, DF, 2019a. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_manual_de_usos_consuntivos_da_agua_no_brasil.pdf. Acesso em: 21 nov. 2020.
- ANA (Agência Nacional de Águas). **Monitor de Secas**. Brasília, DF, 2021a. Disponível em: <http://monitordesecas.ana.gov.br/mapa?mes=1&ano=2021>. Acesso em: 5 mar. 2021.
- ANA (Agência Nacional de Águas). **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Brasília, DF, 2019b. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2021.
- ANA (Agência Nacional de Águas). **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília, DF, 2021b. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos>. Acesso em: 5 mar. 2021.
- ANA (Agência Nacional de Águas). **Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada**. Brasília, DF, 2021c. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/1b19cbb4-10fa-4be4-96db-b3dcd8975db0>. Acesso em: 9 mar. 2021.
- ANDRADE, Edilene Pereira. *et al.* Water scarcity in Brazil: part 1—regionalization of the AWARE model characterization factors. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [s. l.], 04 jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01643-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11367-019-01643-5>. Acesso em: 20 nov. 2020.
- ANDRADE, Edilene Pereira. **Regionalização para o semiárido brasileiro de método de Avaliação de Ciclo de Vida para escassez hídrica**. Orientadora: Ana Bárbara de Araújo Nunes. Coorientadora: Maria Cléa Brito de Figueirêdo. 2018. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil – Saneamento Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/30217>. Acesso em: 24 nov. 2020.

ASA (Articulação do Semiárido Brasileiro). **Rio São Francisco: sua importância cultura, econômica e social estão sob ameaça.** Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br/26-noticias/ultimas-noticias/9065-rio-sao-francisco-sua-importancia-cultural-economica-e-social-estao-sob-ameaca>. Acesso em: 25 fev. 2021.

QOBILOV, Rustam. A plantação de algodão que fez Mar de Aral virar deserto. **BBC**, Uzbequistão, 26 fev. 2015. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/02/150226_mar_aral_gch_lab. Acesso em: 5 mar. 2021.

BLOOMERS, Paul J.; FORSYTH, Robert A. **Elementary Statistical Methods in Psychology and Education**. 2. ed. 1977. *E-book*.

BONTON, A. *et al.* Comparative life cycle assessment of water treatment plants. **Desalination**, [s. l.], v. 284, p. 42–54, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.08.035>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916411007375>. Acesso em: 14 out. 2020.

BOULAY, Anne-Marrie. *et al.* The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [s. l.], v. 23, p. 368-378, fev. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-017-1333-8#citeas>. Acesso em: 28 nov. 2020.

CASTRO, Ana Lúcia de Almeida. *et al.* Applicability and relevance of water scarcity models at local management scales: review of models and recommendations for Brazil. **Environmental Impact Assessment Review**, [s. l.], v. 72, p. 126-136, set. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.05.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195925517303530>. Acesso em: 20 nov. 2020.

CGEE (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos). **Secas no Brasil: Política e gestão proativas.** Brasília, DF, 2016. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/seca_brasil-web.pdf. Acesso em: 2 mar. 2021.

COSTA, Mateus. *et al.* Regionalização de fatores de caracterização do índice de estresse hídrico (WSI) para o nordeste brasileiro. *IN: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO DO CICLO DE VIDA*, 7, 2020, Gramado. **Anais [...]**. Gramado: UFRGS (Online), 2021. p. 627-632. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/gcv2020/anais-do-evento/>. Acesso em: 5 mar. 2021.

CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). **Levantamento da geodiversidade: Projeto Atlas pluviométrico do Brasil.** Brasília, DF, 2006. Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/publique//Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>. Acesso em: 5 mar. 2021.

DA SILVA, A.K.P.; SAMPAIO, A.P.C.; BARROS V.S.; SALES, M.C.L.; MOTA, F.S.B.; Figueirêdo M.C.B. Pegadas hídrica e de carbono de produtos agrícolas: estudo da água de coco *in natura*. **Gaia Scientia**, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 94-111, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2020v14n2.46339>. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/gaia/article/view/46339>

IBICT (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia). **Desenvolvimento sustentável e avaliação do ciclo de vida**. Brasília: Ibict: CNI, 2014. Disponível em: <https://acv.ibict.br/documentos/publicacoes/283-desenvolvimento-sustentavel-e-avaliacao-do-ciclo-de-vida/>. Acesso em: 23 nov. 2020.

IBICT (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia). **Diálogos setoriais: Brasil e União Europeia. Desafios e soluções para o fortalecimento da ACV no Brasil**. Brasília, 2015. Disponível em: <https://acv.ibict.br/documentos/publicacoes/54-dialogos-setoriais-brasil-e-uniao-europeia-desafios-e-solucoes-para-o-fortalecimento-da-acv-no-brasil/>. Acesso em: 23 nov. 2020.

IBICT (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia). **Introdução à metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida – ACV**. 2016. Disponível em: https://acv.ibict.br/wp-content/uploads/2016/03/Ibict_Curso-IntroACV_Apostila_dez15-1.pdf. Acesso em: 24 nov. 2020

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Produção Agrícola Municipal**, 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 10 mar. 2021.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). **Notas Técnicas**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/notasTecnicas#>. Acesso em: 20 nov. 2020.

IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). **Avaliação de Políticas Públicas no Brasil: uma análise do semiárido**. Brasília, DF, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9506>. Acesso em: 25 nov. 2020.

IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). **Indicador 6.4.1**: Alteração da eficiência no uso da água ao longo do tempo. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/objetivo6/indicador641>. Acesso em: 29 fev. 2021.

IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). **Indicador 6.4.2**: Nível de stress hídrico: proporção das retiradas de água doce em relação ao total dos recursos de água doce disponíveis. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/objetivo6/indicador642>. Acesso em: 29 fev. 2021.

IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods6.html>. Acesso em: 29 fev. 2021.

ISO (International Organization for Standardization). **ISO 14040: environmental management - Life cycle assessment – Principles and framework**. Genebra: ISO: 2009a. Acesso em: 23 nov. 2020.

ISO (International Organization for Standardization). **ISO 14044: environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines**. Genebra: ISO: 2009b. Acesso em: 23 nov. 2020.

ISO (International Organization for Standardization). **ISO 14046: Environmental management – Water footprint – Principles, requirements and guidelines**. Genebra: ISO: 2014. Acesso em: 23 nov. 2020.

FERREIRA, Antonio.; MELLO, Namir. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 15- 28, dez. 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25215>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25215>. Acesso em: 5 mar. 2021.

FRISCHKNECHT, Rolf. *et al.* Regionalization in LCA: current status in concepts, software and databases—69th LCA forum, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 13 September, 2018. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [s. l.], v. 24, p. 364-369, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1559-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-018-1559-0#citeas>. Acesso em: 01 dez. 2020.

GRUÈRE, Guillaume; ASHLEY, Colette; CADILHON, Jean-Joseph. Reforming water policies in agriculture: Lessons from past reforms. **OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers**, Paris, França, v. 113, 5 set. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1787/1826beee-en>. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/reforming-water-policies-in-agriculture_1826beee-en. Acesso em: 19 nov. 2020.

GUINÉE, Jeroen B. Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [s. l.], v. 7, n. 311, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02978897>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02978897#citeas>. Acesso em 5 jan. 2021.

HOEKSTRA, Arjen Y.; WIEDMANN, Thomas O. Humanity’s unsustainable environmental footprint. **Science**, [s. l.], v. 344, n. 6188, p. 1114-1117, 6 jun. 2014. DOI: 10.1126/science.1248365. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/344/6188/1114>. Acesso em: 20 nov. 2020.

JAEGER, Richard M. Some Exploratory Indices for Selection of a Test Equating Method. **Journal of Educational Measurement**, [s. l.], v. 18, n. 1, p 23-38, 1981. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/1434815>. Acesso em 01 dez. 2020.

JÁCOME, Igor. Mais de 95% do melão exportado pelo Brasil é produzido no RN. **G1**, Rio Grande do Norte, 18 set. 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/mais-de-96-do-melao-exportado-pelo-brasil-e-produzido-no-rn.ghtml>. Acesso em: 5 mar. 2021.

JARDIM, Carlos. A “crise hídrica” no Sudeste do Brasil: aspectos climáticos e repercussões ambientais. **Revista Tamoios**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 67-83, 2015. DOI: <https://doi.org/10.12957/tamoios.2015.16517>. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/tamoios/article/view/16517>. Acesso em: 11 mar. 2021.

KOLEN, Michael J.; BRENNAN, Robert L. **Test Equating, Scaling, and Linking**. 2. ed. 2014. *E-book*. ISBN 978-1-4939-0316-0: Disponível em: <https://www.springer.com/gp/book/9781493903160#reviews>. Acesso em: 15 nov. 2020.

KOLEN, Michael J; WHITNEY, Douglas R. Equating the Tests of General Educational Development. **Journal of Educational Measurement**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 279-293, 1982. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1435001>. Acesso em: 02 dez. 2020.

KOUNINA, A. *et al.* Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 707-721, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0519-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-012-0519-3>. Acesso em: 20 nov. 2020

KUMMU, M. *et al.* The world’s road to water scarcity: shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability. **Nature**, [s. l.], v. Sci Rep 6, 9 dez. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep38495>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep38495#citeas>. Acesso em: 20 nov. 2020.

LOPES, Thaís Andrade de Sampaio. **Avaliação do Ciclo de Vida de uma ETE composta por reator UASB seguido de wetlands construídos**. Orientador: Luciano Matos Queiroz. Coorientador: Asher Kiperstok. 2014. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014. Disponível em: https://maasa.ufba.br/sites/maasa.ufba.br/files/24_avaliacao_do_ciclo_de_vida_de_uma_ete_composta_por_reator_uasb_seguidos_de_wetlands_construidos_dissertacao_thais_lopes.pdf. Acesso em: 20 nov. 2020.

LIMA, Alyne. **Impacto do turismo e renda no acesso ao abastecimento de água: caso de Juazeiro do Norte - CE**. Orientador: Carlos de Oliveira Galvão. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, 2020. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/14335>. Acesso em 5 mar. 2020.

LIMA, José.; MAGALHÃES, Antonio. Secas no Nordeste: registros históricos das catástrofes econômicas e humanas do século 16 ao século 21. **Parcerias Estratégicas**, v. 24, n. 49, p. 191-212, 2018. Disponível em: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/896. Acesso em: 2 mar. 2021.

MITIDIERO JÚNIOR, Marco Antônio; BARBOSA, Humberto Junior Neves; DE SÁ, Thiago Héric. Quem produz comida para os brasileiros? 10 anos do censo agropecuário 2006. **Pegada – A Revista da Geografia do Trabalho**, [s. l.], v. 18, n. 3, 2017. DOI: <https://doi.org/10.33026/peg.v18i3.5540>. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/pegada/article/view/5540>. Acesso em: 20 nov. 2020.

MUTEL, Chris. *et al.* Overview and recommendations for regionalized life cycle impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [s. l.], v. 24, p. 856-865, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1539-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11367-018-1539-4#citeas>. Acesso em: 29 nov. 2020.

NÚÑEZ, Montserrat. *et al.* Spatial and temporal specific characterisation factors for water use impact assessment in Spain. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [s. l.], v. 20, p. 128-138, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0803-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-014-0803-5#citeas>. Acesso em: 02 dez. 2020.

ONU. World Water Assessment Programme. **World Water Development Report: Leave No One Behind**. Genebra, Suíça, 19 mar. 2019. Disponível em: <https://en.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2019#launch>. Acesso em: 23. nov. 2020.

PFISTER, Stephan; BAYER, Peter. Monthly water stress: spatially and temporally explicit consumptive water footprint of global crop production. **Journal Clean Production**, [s. l.], v. 73, p. 52-62, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.031>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613007956>. Acesso em: 20 nov. 2020.

PFISTER, Stephan; KOEHLER, Annette. HELLWEG, Stefanie. Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 43, n. 11, p. 4098-4104, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1021/es802423e>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es802423e>. Acesso em: 20 nov. 2020.

PFISTER, Stephan; OBERSCHELP, Christopher. SONDEREGGER, Thomas. Regionalized LCA in practice: the need for a universal shapefile to match LCI and LCIA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [s. l.], v. 25, p. 1867-1871, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01816-7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11367-020-01816-7#citeas>. Acesso em: 03 dez. 2020.

PRITCHARD, Hamish. D. Asia's shrinking glaciers protect large populations from drought stress. **Nature**, [s. l.], v. 569, p. 649-654, maio 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1240-1>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1240-1>. Acesso em: 22 nov. 2020.

SAMPAIO, A.P.C.; SILVA, A.K.P.; BARROS, V.S.; AMORIM, J.R.A.; MIRANDA, F.R.; FIGUEIRÊDO M.C.B. Pegada hídrica da água de coco verde nas principais regiões produtoras do Nordeste. **Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida**, [s. l.], v. 1, n.2, p. 128-141, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18225/lalca.v1iEspec.4469>. Disponível em: <http://lalca.acv.ibict.br/lalca/article/view/4469>

SANTANA, Adrielli.; SANTOS, Gesmar. Impactos da seca de 2012-2017 na região semiárida do Nordeste: notas sobre a abordagem de dados quantitativos e conclusões qualitativas. **Repositório do Conhecimento do IPEA**, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10392>. Acesso em: 10 mar. 2021

SORIANO, Érico. *et al.* Crise hídrica em São Paulo sob o ponto de vista dos desastres. **Ambiente & Sociedade**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 21-42, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc150120r1v1912016>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1414-753X2016000100003&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 11 mar. 2021

SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste). **Delimitação do Semiárido**. Recife, PE, 2021. Disponível em: <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 10 mar. 2021.

VALO ECONÔMICO. **GLOBO**. Campanha na Europa defende a cobrança de nova taxa sobre carnes, 2020. Disponível em: <https://valor.globo.com/agronegocios/noticia/2020/02/11/campanha-na-europa-defende-a-cobranca-de-nova-taxa-sobre-carnes.ghtml>. Acesso em: 23 nov. 2020.

WULCA (2018) **The AWARE method**: available WAter REmaning. Disponível em: <http://www.wulca-waterlca.org/aware.html>. Acesso em: 22 nov. 2020.

ZHU, Weimo. Test Equating: What, Why, How? **Research Quarterly for Exercise and Sport**, [s. l.], v. 69, n.1, p.11-23, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1080/02701367.1998.10607662>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02701367.1998.10607662>. Acesso em: 01 dez. 2020.

APÊNDICE A - CÁLCULO DO WSI-BR-NE MENSAL E ANUAL PARA AS UHES DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL.

UHE	UF	DesvPad Anual	DesvPad Mensal	VF	DesvPad Geométrico	WTA Ano	WTA* Ano	WSI Anual	WSI 01	WSI 02	WSI 03	WSI 04	WSI 05	WSI 06	WSI 07	WSI 08	WSI 09	WSI 10	WSI 11	WSI 12
Camargibe	AL	1,27	0,48	3,90	3,57	0,36	1,39	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,36	0,03	0,04	0,78	1,00	1,00	1,00	1,00
Capiá	AL	0,96	0,81	3,52	2,62	0,32	1,12	0,93	0,95	0,96	0,95	0,97	0,92	0,82	0,88	0,96	0,97	1,00	1,00	1,00
CELMM	AL	0,59	0,75	2,61	1,81	1,15	3,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Coruripe	AL	0,50	0,75	2,47	1,65	0,84	2,09	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,93	0,53	0,46	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ipanema AL	AL	0,75	0,59	2,60	2,12	0,15	0,39	0,11	1,00	0,25	0,06	0,16	0,04	0,04	0,04	0,23	0,99	1,00	1,00	1,00
Jacuípe-Una	AL	0,42	0,71	2,28	1,52	0,14	0,31	0,07	0,40	0,39	0,17	0,06	0,02	0,01	0,01	0,03	0,10	0,40	0,68	0,78
Litoral Norte AL	AL	1,53	0,72	5,45	4,64	0,81	4,41	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,39	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Moxotó AL	AL	0,65	0,74	2,68	1,91	0,21	0,56	0,26	0,82	0,10	0,11	0,05	0,12	0,60	0,64	0,93	0,93	0,93	0,92	0,79
Mundaú AL	AL	0,46	0,75	2,41	1,59	0,49	1,18	0,95	1,00	1,00	1,00	0,88	0,22	0,07	0,06	0,22	0,96	1,00	1,00	1,00
Paraíba AL	AL	0,62	0,77	2,69	1,86	0,66	1,77	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,13	0,03	0,03	0,63	1,00	1,00	1,00	1,00
Piauí AL	AL	0,27	0,79	2,30	1,31	0,62	1,43	0,99	0,94	0,92	0,86	0,68	0,41	0,35	0,62	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99
Pratagi	AL	1,23	0,70	4,11	3,41	1,22	5,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Riacho Grande	AL	0,55	0,58	2,22	1,73	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
São Miguel	AL	1,05	0,78	3,71	2,87	1,23	4,55	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Talhada	AL	0,34	0,52	1,87	1,41	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Traipu	AL	0,44	0,68	2,25	1,55	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Carinhanha	BA	0,44	2,33	10,71	1,56	0,03	0,27	0,05	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
Carnaíba de Dentro	BA	0,54	2,55	13,52	1,72	1,27	17,21	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Corrente e Riacho do Ramalho	BA	0,53	0,53	2,11	1,70	0,10	0,21	0,04	0,01	0,02	0,02	0,04	0,15	0,18	0,19	0,27	0,20	0,09	0,02	0,01
De contas	BA	0,62	0,56	2,30	1,86	0,25	0,58	0,30	0,12	0,10	0,17	0,57	0,91	0,83	0,81	0,90	0,98	0,99	0,28	0,03

Continua

Continuação

UHE	UF	DesvPad Anual	DesvPad Mensal	VF	DesvPad Geométrico	WTA Ano	WTA* Ano	WSI Anual	WSI 01	WSI 02	WSI 03	WSI 04	WSI 05	WSI 06	WSI 07	WSI 08	WSI 09	WSI 10	WSI 11	WSI 12
Verde Grande	BA	0,57	2,29	10,60	1,77	1,09	11,55	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Acaraú	CE	0,55	2,05	8,34	1,72	0,19	1,57	1,00	0,87	0,67	0,03	0,01	0,02	0,58	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Alto Jaguaribe	CE	0,44	1,51	4,83	1,56	0,48	2,30	1,00	0,12	0,08	0,08	0,04	0,32	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Baixo Jaguaribe	CE	0,49	1,84	6,73	1,63	1,23	8,26	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Banabuiu	CE	0,46	1,75	6,12	1,58	0,47	2,86	1,00	0,74	0,62	0,22	0,34	0,69	0,84	0,95	0,98	0,99	0,99	0,99	0,97
Coreaú	CE	0,51	2,33	10,89	1,67	0,63	6,89	1,00	1,00	0,37	0,04	0,02	0,68	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Curu	CE	0,64	2,12	9,15	1,89	0,49	4,45	1,00	1,00	0,97	0,25	0,02	0,08	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Litoral	CE	0,59	2,24	10,11	1,80	0,63	6,35	1,00	1,00	1,00	0,08	0,03	0,23	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Médio Jaguaribe	CE	0,48	1,69	5,79	1,62	0,36	2,09	1,00	0,14	0,78	0,10	0,04	0,03	0,97	0,99	0,99	0,99	1,00	0,99	1,00
Metropolitana	CE	0,62	1,59	5,51	1,87	1,16	6,36	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Salgado	CE	0,49	1,56	5,12	1,64	0,27	1,37	0,98	0,36	0,06	0,02	0,02	0,10	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Serra da Ibiapaba	CE	0,60	1,76	6,42	1,82	0,86	5,49	1,00	1,00	0,72	0,08	0,06	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Sertões de Crateús	CE	0,47	1,91	7,12	1,60	0,53	3,77	1,00	0,99	0,48	0,04	0,11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Gurupi MA	MA	0,46	1,51	4,83	1,58	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ilhas Maranhenses	MA	0,68	1,40	4,73	1,96	0,96	4,55	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Itapecuru	MA	0,45	1,34	4,09	1,57	0,04	0,15	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,05	0,10	0,14	0,14	0,10	0,05
Litoral Ocidental	MA	0,69	1,40	4,77	1,99	0,35	1,66	1,00	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,85	0,88	0,93	0,95	0,97	0,97	0,94
Maracaçume	MA	0,44	1,29	3,91	1,55	0,02	0,06	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,12	0,44	0,70	0,12
Mearim	MA	0,51	1,25	3,86	1,67	0,10	0,39	0,11	0,12	0,03	0,02	0,02	0,02	0,08	0,59	0,97	1,00	1,00	0,99	0,84
Munim	MA	0,42	1,39	4,26	1,52	0,01	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03
Parnaíba	MA	0,42	1,45	4,50	1,52	0,05	0,22	0,04	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
Periá	MA	0,50	1,40	4,42	1,65	0,52	2,30	1,00	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Preguiças	MA	0,51	1,40	4,41	1,66	0,59	2,60	1,00	0,97	0,97	0,97	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Tocantins MA	MA	0,43	1,37	4,20	1,54	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Continuação

UHE	UF	DesvPad Anual	DesvPad Mensal	VF	DesvPad Geométrico	WTA Ano	WTA* Ano	WSI Anual	WSI 01	WSI 02	WSI 03	WSI 04	WSI 05	WSI 06	WSI 07	WSI 08	WSI 09	WSI 10	WSI 11	WSI 12
Turiaçu	MA	0,67	1,23	4,05	1,95	0,02	0,06	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,07	0,18	0,30	0,12
Curimataú PB	PB	0,44	0,98	2,93	1,55	0,47	1,37	0,99	0,29	1,00	0,15	0,23	0,95	0,90	0,61	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Guaju PB	PB	0,76	0,97	3,45	2,15	1,22	4,19	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Jacú PB	PB	0,55	1,16	3,62	1,74	0,19	0,70	0,47	0,33	0,06	0,03	0,02	0,04	0,13	0,08	0,49	0,99	1,00	1,00	1,00
Litoral Norte PB	PB	0,86	0,95	3,59	2,36	0,48	1,73	1,00	1,00	1,00	0,99	0,41	0,78	0,18	0,09	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
Litoral Sul	PB	0,63	0,85	2,88	1,87	1,22	3,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Paraíba PB	PB	0,88	0,89	3,49	2,41	0,35	1,21	0,96	1,00	1,00	0,45	0,09	0,39	0,86	0,47	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Piranhas	PB	0,47	1,37	4,27	1,60	0,19	0,80	0,62	0,33	0,06	0,02	0,02	0,02	0,76	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98
Trairi PB	PB	0,55	1,16	3,61	1,74	1,14	4,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Brígida	PE	0,61	1,42	4,69	1,84	1,03	4,85	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Capibaribe	PE	0,65	0,73	2,66	1,92	0,70	1,87	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,61	0,76	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Garças	PE	0,65	1,14	3,73	1,92	0,86	3,22	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
GI1	PE	1,18	0,65	3,85	3,26	0,81	3,13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
GI2	PE	0,91	0,79	3,32	2,48	0,50	1,67	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
GI3	PE	0,57	1,15	3,60	1,78	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
GI4	PE	0,67	1,38	4,66	1,96	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
GI5	PE	0,46	1,26	3,84	1,59	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
GI6	PE	0,59	1,37	4,44	1,80	1,21	5,39	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
GI7	PE	0,70	1,65	5,99	2,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
GI8	PE	0,45	1,49	4,74	1,57	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
GI9	PE	0,55	1,44	4,67	1,73	1,25	5,83	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
GL1	PE	0,66	0,82	2,87	1,93	1,26	3,60	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
GL2	PE	0,42	0,77	2,41	1,52	0,59	1,42	0,99	1,00	1,00	1,00	0,94	0,80	0,34	0,30	0,79	0,99	1,00	1,00	1,00
GL3	PE	0,63	0,65	2,47	1,88	1,02	2,51	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
GL4	PE	1,15	3,50	39,62	3,14	0,74	29,38	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Continuação

UHE	UF	DesvPad Anual	DesvPad Mensal	VF	DesvPad Geométrico	WTA Ano	WTA* Ano	WSI Anual	WSI 01	WSI 02	WSI 03	WSI 04	WSI 05	WSI 06	WSI 07	WSI 08	WSI 09	WSI 10	WSI 11	WSI 12
GL5	PE	0,53	0,66	2,33	1,70	1,51	3,53	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
GL6	PE	0,49	0,81	2,59	1,64	1,20	3,12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Goiana	PE	0,98	0,83	3,62	2,67	1,27	4,59	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ipanema PE	PE	0,73	0,65	2,66	2,08	0,25	0,67	0,43	1,00	0,17	0,29	0,10	0,09	0,31	0,19	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00
Ipojuca	PE	0,64	0,75	2,68	1,89	0,37	1,00	0,86	1,00	0,99	1,00	0,89	0,40	0,13	0,17	0,39	0,96	1,00	1,00	1,00
Moxotó PE	PE	0,65	0,74	2,68	1,91	0,29	0,78	0,61	0,98	0,23	0,21	0,08	0,31	0,91	0,92	0,99	1,00	1,00	0,99	0,97
Mundaú PE	PE	0,75	0,84	3,09	2,13	0,22	0,67	0,43	0,82	0,76	0,20	0,10	0,13	0,07	0,05	0,11	0,23	0,91	1,00	1,00
Pajeú	PE	0,64	1,19	3,86	1,91	0,14	0,53	0,23	0,90	0,02	0,02	0,02	0,05	0,83	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98
Pontal	PE	0,66	1,41	4,74	1,94	1,21	5,71	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Sirinhaém	PE	0,44	0,71	2,29	1,55	0,54	1,24	0,97	1,00	1,00	1,00	0,97	0,57	0,15	0,14	0,63	0,98	1,00	1,00	1,00
Terra Nova	PE	0,44	1,39	4,30	1,55	1,16	4,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Una	PE	0,74	0,72	2,81	2,10	1,02	2,86	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Canindé	PI	0,47	2,13	8,88	1,61	0,15	1,31	0,98	0,04	0,02	0,02	0,02	0,08	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,24
Difusas da Barragem de Boa Esperança	PI	0,75	3,30	29,40	2,11	0,00	0,08	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Difusas do Alto Parnaíba	PI	0,43	2,03	7,96	1,54	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Difusas do Baixo Parnaíba	PI	0,46	1,36	4,21	1,58	0,15	0,62	0,35	0,04	0,02	0,02	0,02	0,07	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,23
Difusas do Litoral (ANOR)	PI	0,99	2,13	10,51	2,69	0,63	6,62	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Difusas do Litoral (PB)	PI	1,18	2,03	10,46	3,24	1,03	10,82	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Difusas do Médio Parnaíba	PI	0,48	1,51	4,88	1,61	0,03	0,13	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Continuação

UHE	UF	DesvPad Anual	DesvPad Mensal	VF	DesvPad Geométrico	WTA Ano	WTA* Ano	WSI Anual	WSI 01	WSI 02	WSI 03	WSI 04	WSI 05	WSI 06	WSI 07	WSI 08	WSI 09	WSI 10	WSI 11	WSI 12
Gurguéia	PI	0,62	2,30	10,81	1,86	0,10	1,03	0,88	0,02	0,01	0,01	0,02	0,05	0,36	0,93	1,00	1,00	0,99	0,18	0,04
Itaueira	PI	0,39	3,78	44,89	1,48	0,18	8,01	1,00	0,04	0,04	0,04	0,06	0,13	0,16	0,23	0,31	0,32	0,21	0,10	0,06
Longá	PI	0,42	1,38	4,23	1,52	0,75	3,18	1,00	0,86	0,97	0,96	0,95	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Piranji	PI	0,44	1,70	5,78	1,55	0,18	1,02	0,88	0,06	0,05	0,05	0,07	0,12	0,20	0,28	0,35	0,42	0,41	0,22	0,10
Poti	PI	0,44	1,48	4,69	1,55	0,48	2,25	1,00	0,99	0,16	0,07	0,24	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Uruçuí-Preto	PI	0,98	1,28	5,01	2,66	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
15_3	RN	0,96	1,60	6,48	2,62	0,71	4,58	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
15_4	RN	1,42	1,69	9,14	4,15	0,47	4,28	1,00	1,00	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
16_1	RN	0,57	1,10	3,44	1,76	1,25	4,29	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
16_2	RN	0,52	1,08	3,31	1,68	1,04	3,46	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
16_3	RN	0,27	0,86	2,46	1,31	1,13	2,79	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
16_4	RN	0,29	0,88	2,52	1,34	1,25	3,15	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
16_5	RN	0,48	1,06	3,20	1,61	1,25	4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
16_6	RN	0,48	1,06	3,20	1,62	1,23	3,93	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
16_7	RN	0,60	0,92	3,00	1,83	1,25	3,76	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
16_8	RN	0,76	0,97	3,44	2,14	0,93	3,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Apodí-Mossoró	RN	0,60	1,65	5,80	1,83	0,58	3,35	1,00	1,00	0,88	0,42	0,08	0,16	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Boqueirão	RN	0,60	1,16	3,68	1,82	1,08	3,96	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Catu	RN	0,44	0,88	2,67	1,55	1,13	3,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ceará-Mirim	RN	0,86	1,18	4,32	2,36	0,32	1,38	0,99	0,99	0,86	0,84	0,18	0,56	0,63	0,78	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Curimataú RN	RN	0,39	0,78	2,39	1,47	0,29	0,69	0,46	0,64	0,80	0,07	0,03	0,09	0,05	0,04	0,63	1,00	1,00	1,00	1,00
Guaju RN	RN	0,76	0,97	3,43	2,14	1,21	4,16	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Jacu RN	RN	0,55	0,94	2,98	1,74	0,82	2,46	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,95	0,65	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Maxaranguape	RN	0,65	1,27	4,16	1,91	1,16	4,82	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Pirangi	RN	0,48	1,07	3,23	1,62	1,24	3,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Conclusão

UHE	UF	DesvPad Anual	DesvPad Mensal	VF	DesvPad Geométrico	WTA Ano	WTA* Ano	WSI Anual	WSI 01	WSI 02	WSI 03	WSI 04	WSI 05	WSI 06	WSI 07	WSI 08	WSI 09	WSI 10	WSI 11	WSI 12
Piranhas Açú	RN	0,59	1,68	5,95	1,80	0,43	2,57	1,00	0,92	0,85	0,41	0,47	0,80	0,88	0,94	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98
Potengi	RN	0,64	0,99	3,26	1,90	1,21	3,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Punaú	RN	0,54	1,07	3,31	1,72	1,11	3,69	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Rio Doce	RN	0,24	0,84	2,39	1,28	1,23	2,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Trairi RN	RN	0,74	0,99	3,45	2,09	0,95	3,26	1,00	1,00	1,00	1,00	0,91	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Caueira/Abais	SE	0,44	0,65	2,19	1,55	1,03	2,25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Japaratinga	SE	0,62	0,71	2,56	1,85	0,49	1,25	0,97	1,00	1,00	1,00	0,98	0,41	0,22	0,19	0,75	0,99	1,00	1,00	1,00
Piauí SE	SE	0,27	0,64	2,00	1,31	0,29	0,58	0,29	0,91	0,80	0,57	0,16	0,05	0,07	0,07	0,14	0,37	0,68	0,75	0,86
Real SE	SE	1,40	0,55	4,49	4,06	0,69	3,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
São Francisco SE	SE	0,70	0,69	2,66	2,01	0,49	1,30	0,98	0,97	0,96	0,92	0,91	0,92	0,91	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Sapucaia	SE	0,72	0,73	2,79	2,06	1,07	2,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Sergipe	SE	0,33	0,66	2,09	1,39	0,80	1,66	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	0,95	0,88	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
Vaza Barris SE	SE	0,49	0,63	2,21	1,62	0,30	0,66	0,41	0,88	0,66	0,25	0,27	0,13	0,18	0,11	0,58	0,92	0,99	1,00	0,96

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

**APÊNDICE B - ESTRATÉGIA DE CÁLCULO ADOTADA PARA A AGREGAÇÃO DE DADOS DE CHUVA DAS ESTAÇÕES
PLUVIOMÉTRICAS EM UHE. EXEMPLO: PARTE DA UHE DE ITAPICURU.**

Estação	Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Soma	LN Anual Total
Açude Sohém	1991	119,60	128,60	73,60	53,60	120,00	238,40	92,80	122,80	17,10	0,00	359,60	164,00	1490,10	7,31
	1992	361,80	632,40	70,20	38,80	2,00	93,60	143,00	21,00	25,20	34,80	88,80	34,50	1546,10	7,34
	1993	79,80	0,00	8,60	11,40	36,20	61,00	50,80	82,80	7,40	89,40	43,00	1,20	471,60	6,16
	1994	78,60	69,40	161,20	27,40	60,80	29,80	97,20	20,80	1,40	0,00	32,20	2,80	581,60	6,37
	1995	140,20	38,00	51,20	94,00	74,00	22,60	130,40	27,00	12,20	0,20	127,20	176,40	893,40	6,80
	1996	40,10	4,00	12,30	86,30	115,20	167,00	42,40	62,40	43,00	3,00	167,00	70,00	812,70	6,70
	1997	84,60	165,60	282,80	82,80	170,20	57,40	91,60	26,80	0,00	71,20	101,60	50,60	1185,20	7,08
	1998	207,40	114,40	10,00	55,40	30,40	100,00	54,40	73,80	12,00	2,40	204,40	92,20	956,80	6,86
	1999	202,00	46,00	142,60	22,60	34,80	36,60	108,60	167,40	68,60	50,60	84,40	335,80	1300,00	7,17
	2000	221,40	136,80	254,20	210,40	165,00	101,60	57,20	70,20	67,20	22,00	234,80	132,00	1672,80	7,42
	2001	52,60	26,40	199,20	23,20	90,60	230,80	65,00	93,20	69,00	49,80	2,60	191,20	1093,60	7,00
	2002	336,80	242,60	22,20	16,40	58,40	119,80	46,20	34,00	39,60	0,00	17,60	158,20	1091,80	7,00
	2003	102,60	76,20	158,80	10,00	249,60	97,20	176,20	29,40	48,80	4,20	241,00	0,40	1194,40	7,09
	2004	480,40	209,40	25,00	11,40	76,20	44,80	32,20	42,00	24,40	3,40	204,80	0,00	1154,00	7,05
	2005	134,60	235,20	225,00	163,20	201,40	218,40	79,20	42,00	3,80	1,00	203,40	53,20	1560,40	7,35
	2006	2,20	95,60	263,20	203,40	223,20	171,40	57,00	63,20	79,20	67,40	105,20	30,60	1361,60	7,22
	2007	5,10	204,60	45,40	32,90	37,70	50,20	55,00	14,70	17,00	0,90	22,30	51,40	537,20	6,29
	2008	0,20	154,10	121,80	133,20	46,10	63,60	61,10	14,90	9,60	6,10	4,40	101,00	716,10	6,57
	2009	86,10	57,30	51,90	178,60		98,50	24,00	26,90	12,20	142,60	1,30	36,50	715,90	6,57
	2010	81,20	78,10	128,50	93,30	28,80	73,10	99,40	42,40	25,00	70,30	0,00	110,70	830,80	6,72
2011	43,80	62,10	99,60	110,60	86,60	24,70	20,50	22,20	11,30	35,50	38,50	9,00	564,40	6,34	
2012	3,60	91,10	2,90	1,30	24,70	15,80	26,70	39,30	10,80	3,00	44,50	13,60	277,30	5,63	
2013	81,80	0,50	1,00	196,40	58,50	35,40	81,00	37,50	15,80	31,80	17,50	163,80	721,00	6,58	

Continua

Continuação

Estação	Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Soma	LN Anual Total
Açude Sohém	2014	7,90	40,50	23,40	93,30	45,40	40,70	91,60	27,70	23,00	41,70	119,10	138,30	692,60	6,54
	2015	11,20	95,50	5,40	83,70	105,70	73,20	40,70	23,80	8,60	6,60	13,10	15,50	483,00	6,18
	2016	509,20	55,90	33,20	9,80	42,50	44,50	31,60	20,80	7,30	25,70	31,90	10,50	822,90	6,71
	2017	0,00	5,00	89,40	32,50	32,30	52,80	61,00	13,90	77,20	9,40	19,50	33,50	426,50	6,06
	2018	35,30	55,30	120,80	30,10	41,60	39,40	5,10	15,40	0,90	29,90	10,90	157,80	542,50	6,30
	2019	11,90	41,30	90,60	50,40	10,30	62,70	63,80	34,90	19,10	50,70	8,10	82,20	526,00	6,27
Usina Altamira	1992									0,00	0,00	94,00	135,60	229,60	5,44
	1993	11,60	6,40	56,00	91,40	119,20	220,00	160,80	389,80	59,60	207,00	67,60	68,60	1458,00	7,28
	1994	27,00	106,00	30,00	256,20	278,20	553,00	432,80	118,00	157,80	113,00	20,00	27,00	2119,00	7,66
	1995	25,60	88,20	60,80	438,20	329,40	305,60	347,80	145,00	137,20	10,60	248,60	35,80	2172,80	7,68
	1996	11,20	21,20	14,80	445,80	192,40	432,00	108,40	182,60	230,60	46,20	285,20	143,40	2113,80	7,66
	1997	83,20	512,60	421,20	324,20	713,20	209,00	263,40	105,00	7,00	15,20	0,00	28,20	2682,20	7,89
	1998	52,40	38,80	116,20	239,20	260,60	512,40	359,60	192,80	104,40	52,20	11,20	30,40	1970,20	7,59
	1999	28,00	221,20	10,00	120,80	668,80	302,60	231,80	575,80	153,80	363,00	193,40	242,20	3111,40	8,04
	2000	105,60	333,80	102,00	435,40	228,40	438,40	98,60	365,20	457,60	58,20	144,60	196,20	2964,00	7,99
	2001	102,80	35,40	214,00	305,60	172,60	700,80	268,60	418,60	346,80	297,20	108,00	24,00	2994,40	8,00
	2002	686,00	100,60	99,40	156,40	448,40	347,60	319,40	167,00	148,40	26,00	144,80	72,40	2716,40	7,91
	2003	47,60	211,40	177,20	57,00	566,00	238,00	484,20	190,80	165,80	97,00	367,60	36,00	2638,60	7,88
	2004	379,40	75,50	56,30	97,20		171,00	112,40	122,50	48,60	22,70	22,80	0,00	1108,40	7,01
	2005	102,20	340,80	126,20	533,20	382,00	223,80	254,60	99,80	56,00	33,00	69,80	75,00	2296,40	7,74
	2006	45,20	75,40	206,40	279,80	78,20	602,60	222,60	146,80	344,80	75,80	127,80	0,00	2205,40	7,70
2007	65,20	156,20	146,00	99,80	130,00	186,00	93,80	76,30	85,80	23,60	12,60	21,20	1096,50	7,00	
2008	3,40	172,00	232,20	232,30	248,20	183,90	227,50	59,90	27,30	20,90	5,50	13,10	1426,20	7,26	
2009	12,00	30,60	5,10	97,30			123,20	95,30	116,80	27,00	52,50	0,00	1,60	561,40	6,33
2010	32,30	21,90	134,30	183,90	157,30	157,40	334,10	120,90	68,70	81,70	2,50	9,30	1304,30	7,17	

Conclusão

Estação	Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Soma	LN Anual Total
Usina Altamira	2011	83,70	73,40	102,20	211,40	117,30	71,20	91,40	73,20	13,50	26,10	37,90	0,00	901,30	6,80
	2012	24,90	49,50	12,80	9,00	55,00	32,10	45,70	113,10	35,60	18,60	26,60	15,20	438,10	6,08
	2013	6,70	20,90	7,20	188,80	237,10	68,30	126,90	86,30	0,00	31,00	35,80	65,50	874,50	6,77
	2014	0,00	25,50	48,90	62,80	6,90	82,30	133,50	17,70	56,30	47,30	120,00	10,00	611,20	6,42
	2015	35,10	59,00	79,70	168,40	394,10	216,10	190,40	83,00	36,20	63,00	0,70	9,70	1335,40	7,20
	2016	230,70	47,70	58,50	162,80	186,80	170,10	121,60	203,40	166,40	22,80	1,70	23,80	1396,30	7,24
	2017	32,50	20,50	63,10	129,20	171,10	199,80	263,60	147,30	256,20	53,30	68,40	81,70	1486,70	7,30
	2018	23,60	30,00	123,50	174,60	231,80	242,10	57,90	25,10	10,40	41,90	23,00	112,90	1096,80	7,00
	2019	24,60	40,30	138,40	85,80	228,70	110,90	199,60	66,50	67,70	50,80	61,20		1074,50	6,98
														Desv Pad Anual	0,63
Soma	36994,70	29384,90	35042,60	30075,40	30270,70	31557,30	25474,00	18375,90	13365,00	13157,7	29097,00	27222,60			
LN	10,52	10,29	10,46	10,31	10,32	10,36	10,15	9,82	9,50	9,48	10,28	10,21		Desv Pad Mensal	0,35

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

**APÊNDICE C – AS CATEGORIAS E A QUANTIDADE DE ESTAÇÕES
PLUVIOMÉTRICAS EM CADA UHE.**

UHE	UF	Categoria de dados	Qtd de Estações
Camaragibe	AL	3	2
Capiá	AL	3	1
CELMM	AL	1	1
Coruripe	AL	1	1
Ipanema AL	AL	1	1
Jacuípe-Una	AL	1	1
Litoral Norte AL	AL	3	2
Moxotó AL	AL	1	1
Mundaú AL	AL	1	5
Paraíba AL	AL	1	2
Piauí AL	AL	1	2
Pratagi	AL	1	1
Riacho Grande	AL	1	1
São Miguel	AL	4	2
Talhada	AL	1	2
Traipu	AL	1	2
Carinhanha	BA	1	3
Carnaíba de Dentro	BA	1	1
Corrente e Riacho do Ramalho	BA	1	12
De contas	BA	1	6
Dos Frades, Buranhém e Santo Antônio	BA	1	1
Grande	BA	1	17
Itapicuru	BA	1	12
Jequintinhonha	BA	1	2
Lago do Sobradinho	BA	2	13
Leste	BA	1	8
Macururé e Curaçá	BA	1	2
Mucuri	BA	4	1
Paraguaçu	BA	1	13
Paramirim e Santo Onofre	BA	1	4
Pardo BA	BA	1	6
Peruípe, Itanhaém e Jucuruçu	BA	1	11

Continua

Continuação

UHE	UF	Categoria de dados	Qtd de Estações
Real BA	BA	1	1
Recôncavo Norte	BA	1	8
Recôncavo Sul	BA	1	10
Riacho do Tará	BA	2	1
Riacho Doce	BA	2	1
Salitre	BA	1	2
Vaza Barris BA	BA	2	6
Verde e Jacaré	BA	1	4
Verde Grande	BA	1	1
Acaraú	CE	1	16
Alto Jaguaribe	CE	1	17
Baixo Jaguaribe	CE	1	7
Banabuiu	CE	1	12
Coreaú	CE	1	8
Curu	CE	1	11
Litoral	CE	1	7
Médio Jaguaribe	CE	1	10
Metropolitana	CE	1	30
Salgado	CE	1	16
Serra da Ibiapaba	CE	1	5
Sertões de Crateús	CE	1	7
Gurupi MA	MA	1	1
Ilhas Maranhenses	MA	Sem Categoria	Sem Estação
Itapecuru	MA	1	20
Litoral Ocidental	MA	1	5
Maracaçume	MA	1	2
Mearim	MA	1	27
Munim	MA	1	6
Parnaíba	MA	1	17
Periá	MA	Sem Categoria	Sem Estação
Preguiças	MA	1	1
Tocantins MA	MA	1	1
Turiaçu	MA	1	4
Curimataú PB	PB	1	6
Guaju PB	PB	1	2
Jacú PB	PB	2	1
Litoral Norte PB	PB	1	5
Litoral Sul	PB	1	4
Paraíba PB	PB	1	20
Piranhas	PB	1	4

Continuação

UHE	UF	Categoria de dados	Qtd de Estações
Trairi PB	PB	Sem Categoria	Sem Estação
Brígida	PE	1	4
Capibaribe	PE	1	16
Garças	PE	1	1
GI1	PE	4	1
GI2	PE	Sem Categoria	Sem Estação
GI3	PE	4	3
GI4	PE	1	2
GI5	PE	4	1
GI6	PE	Sem Categoria	Sem Estação
GI7	PE	4	1
GI8	PE	4	2
GI9	PE	Sem Categoria	Sem Estação
GL1	PE	4	1
GL2	PE	1	2
GL3	PE	4	2
GL4	PE	4	2
GL5	PE	4	2
GL6	PE	4	1
Goiana	PE	1	1
Ipanema PE	PE	1	2
Ipojuca	PE	1	3
Moxotó PE	PE	1	1
Mundaú PE	PE	4	2
Pajeú	PE	1	4
Pontal	PE	1	1
Sirinhaém	PE	1	1
Terra Nova	PE	4	2
Una	PE	1	1
Canindé	PI	1	4
Difusas da Barragem de Boa Esperança	PI	2	3
Difusas do Alto Parnaíba	PI	1	1
Difusas do Baixo Parnaíba	PI	1	2
Difusas do Litoral (ANOR)	PI	3	1
Difusas do Litoral (PB)	PI	2	1

UHE	UF	Categoria de dados	Qtd de Estações
Difusas do Médio Parnaíba	PI	1	2
Gurguéia	PI	1	3
Itaueira	PI	2	2
Longá	PI	1	3
Piranji	PI	2	1
Poti	PI	1	2
Uruçuí-Preto	PI	4	1
15_3	RN	Sem Categoria	Sem Estação
15_4	RN	4	2
16_1	RN	Sem Categoria	Sem Estação
16_2	RN	Sem Categoria	Sem Estação
16_3	RN	Sem Categoria	Sem Estação
16_4	RN	Sem Categoria	Sem Estação
16_5	RN	Sem Categoria	Sem Estação
16_6	RN	Sem Categoria	Sem Estação
16_7	RN	Sem Categoria	Sem Estação
16_8	RN	Sem Categoria	Sem Estação
Apodí-Mossoró	RN	1	5
Boqueirão	RN	4	2
Catu	RN	Sem Categoria	Sem Estação
Ceará-Mirim	RN	4	9
Curimataú RN	RN	1	2
Guaju RN	RN	Sem Categoria	Sem Estação
Jacu RN	RN	1	3
Maxaranguape	RN	2	2
Pirangi	RN	4	1
Piranhas Açú	RN	1	5
Potengi	RN	1	1
Punaú	RN	4	2
Rio Doce	RN	4	1
Trairi RN	RN	1	2
Caueira/Abais	SE	4	2
Japarutuba	SE	1	2
Piauí SE	SE	1	2
Real SE	SE	4	3
São Francisco SE	SE	1	1
Sapucaia	SE	4	1
Sergipe	SE	1	2
Vaza Barris SE	SE	1	1

Conclusão

APÊNDICE D - DADOS UTILIZADOS PARA REALIZAR A COMPARAÇÃO DOS VALORES DE WSI ORIGINAL MENSAL E WSI-BR-NE MENSAL

Categoria	WSI Original		WSI Regionalizado		Categoria	WSI Original		WSI Regionalizado	
	Janeiro	Porcentagem	Janeiro	Porcentagem		Julho	Porcentagem	Julho	Porcentagem
Estresse Hídrico Baixo	99	67,81	33	22,6	Estresse Hídrico Baixo	145	99,32	33	22,6
Estresse Hídrico Médio	17	11,64	14	9,59	Estresse Hídrico Médio	1	0,68	17	11,64
Estresse Hídrico alto	18	12,33	17	11,64	Estresse Hídrico alto	0	0,00	18	12,33
Estresse Hídrico Muito alto	12	8,22	82	56,16	Estresse Hídrico Muito alto	0	0,00	78	53,42
Total	146	100,00	146	100	Total	146	100,00	146	100
Categoria	WSI Original		WSI Regionalizado		Categoria	WSI Original		WSI Regionalizado	
	Fevereiro	Porcentagem	Fevereiro	Porcentagem		Agosto	Porcentagem	Agosto	Porcentagem
Estresse Hídrico Baixo	123	84,25	41	28,08	Estresse Hídrico Baixo	141	96,58	23	15,75
Estresse Hídrico Médio	3	2,05	11	7,53	Estresse Hídrico Médio	4	2,74	14	9,59
Estresse Hídrico alto	17	11,64	21	14,38	Estresse Hídrico alto	0	0,00	16	10,96
Estresse Hídrico Muito alto	3	2,05	73	50	Estresse Hídrico Muito alto	1	0,68	93	63,7
Total	146	100,00	146	100	Total	146	100,00	146	100
Categoria	WSI Original		WSI Regionalizado		Categoria	WSI Original		WSI Regionalizado	
	Março	Porcentagem	Março	Porcentagem		Setembro	Porcentagem	Setembro	Porcentagem
Estresse Hídrico Baixo	103	70,55	47	32,19	Estresse Hídrico Baixo	93	63,70	21	14,38
Estresse Hídrico Médio	40	27,40	18	12,33	Estresse Hídrico Médio	52	35,62	10	6,85
Estresse Hídrico alto	1	0,68	14	9,59	Estresse Hídrico alto	0	0,00	4	2,74
Estresse Hídrico Muito alto	2	1,37	67	45,89	Estresse Hídrico Muito alto	1	0,68	111	76,03
Total	146	100,00	146	100	Total	146	100,00	146	100

Continua

Conclusão

Categoria	WSI Original		WSI Regionalizado		Categoria	WSI Original		WSI Regionalizado	
	Abril	Porcentagem	Abril	Porcentagem		Outubro	Porcentagem	Outubro	Porcentagem
Estresse Hídrico Baixo	144	98,63	51	34,93	Estresse Hídrico Baixo	84	57,33	20	13,7
Categoria	WSI Original		WSI Regionalizado		Categoria	WSI Original		WSI Regionalizado	
	Abril	Porcentagem	Abril	Porcentagem		Outubro	Porcentagem	Outubro	Porcentagem
Estresse Hídrico Médio	2	1,37	18	12,33	Estresse Hídrico Médio	48	32,88	11	7,53
Estresse Hídrico alto	0	0,00	13	8,9	Estresse Hídrico alto	13	8,90	5	3,42
Estresse Hídrico Muito alto	0	0,00	64	43,84	Estresse Hídrico Muito alto	1	0,68	110	75,34
Total	146	100,00	146	100	Total	146	100,00	146	100
Categoria	WSI Original		WSI Regionalizado		Categoria	WSI Original		WSI Regionalizado	
	Maio	Porcentagem	Maio	Porcentagem		Novembro	Porcentagem	Novembro	Porcentagem
Estresse Hídrico Baixo	146	100,00	38	26,03	Estresse Hídrico Baixo	119	81,51	24	16,44
Estresse Hídrico Médio	0	0,00	25	17,12	Estresse Hídrico Médio	4	2,74	9	6,16
Estresse Hídrico alto	0	0,00	18	12,33	Estresse Hídrico alto	9	6,16	7	4,79
Estresse Hídrico Muito alto	0	0,00	65	44,52	Estresse Hídrico Muito alto	14	9,59	106	72,6
Total	146	100,00	146	100	Total	146	100,00	146	100
Categoria	WSI Original		WSI Regionalizado		Categoria	WSI Original		WSI Regionalizado	
	Junho	Porcentagem	Junho	Porcentagem		Dezembro	Porcentagem	Dezembro	Porcentagem
Estresse Hídrico Baixo	145	99,32	32	21,92	Estresse Hídrico Baixo	101	69,18	29	19,86
Estresse Hídrico Médio	1	0,68	21	14,38	Estresse Hídrico Médio	22	15,07	8	5,48
Estresse Hídrico alto	0	0,00	23	15,75	Estresse Hídrico alto	0	0,00	6	4,11
Estresse Hídrico Muito alto	0	0,00	70	47,95	Estresse Hídrico Muito alto	23	15,75	103	70,55
Total	146	100,00	146	100	Total	68	100,00	146	100

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).