



UFES

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

RODSON DE ANDRADE ALLOCCA

CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE

**VITÓRIA – ES
2023**

RODSON DE ANDRADE ALLOCCA

CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo, como exigência parcial para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Edson Soares Fialho.

VITÓRIA – ES
2023

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

D278c de Andrade Allocca, Rodson, 1985-
Classificação climática da bacia hidrográfica do Rio Doce /
Rodson de Andrade Allocca. - 2023.
177 f. : il.

Orientador: Edson Soares Fialho.
Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do
Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais.

1. Bacia hidrográfica do Rio Doce. 2. Classificação
climática. 3. Unidades climáticas. I. Soares Fialho, Edson. II.
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências
Humanas e Naturais. III. Título.

CDU: 91



Secretaria Integrada de Pós-Graduação
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

ATA DE DEFESA DE TESE DO CURSO DE DOUTORADO EM GEOGRAFIA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DO CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO - ATA Nº 44 - 18/08/2023.

Em sessão pública ocorrida no dia dezoito de agosto de dois mil e vinte três, através de webconferência, conforme Portaria Normativa nº 08 da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação/UFES de 01 de julho de 2021, procedeu-se a avaliação da tese do aluno **Rodson de Andrade Allocca**. Às 14h, o Prof. Dr. Edson Soares Fialho (UFES), Orientador e Presidente da Comissão Examinadora de Defesa de tese, deu início aos trabalhos, convidando a compor à mesa os seguintes Professores(as) Doutores(as): Eberval Marchioro (UFES) - examinador interno; Giuliano Tostes Novais (UEG), Emerson Galvani (USP) e Fabio de Oliveira Sanches (UFJF) – examinadores externos. A seguir, o presidente solicitou ao doutorando que fizesse uma explanação de seu trabalho intitulado “**CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE**”. Terminada a apresentação, o presidente passou a palavra aos examinadores, que procederam à arguição do candidato. Ao final, a Comissão, em sessão reservada, deliberou pela **APROVAÇÃO** da referida tese nos termos do Regimento Interno do Programa de Pós- Graduação em Geografia e alertou que o aprovado somente terá direito ao título de Doutor após entrega da versão final de sua Tese, em meio digital, à Secretaria do Programa. Encerrada a sessão, eu, Prof. Dr. Edson Soares Fialho, presidente da Comissão Examinadora, lavrei a presente ata que vai assinada digitalmente por mim e pelos demais componentes da Comissão.

Prof. Dr. Edson Soares Fialho (UFES)
Orientador e Presidente da Banca

Documento assinado digitalmente
 **EDSON SOARES FIALHO**
Data: 27/08/2023 14:00:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Eberval Marchioro (UFES)
Examinador Interno

Documento assinado digitalmente
 **EBERVAL MARCHIORO**
Data: 27/08/2023 18:10:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Giuliano Tostes Novais (UEG)
Examinador Externo

Documento assinado digitalmente
 **EMERSON GALVANI**
Data: 18/08/2023 19:24:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Emerson Galvani (USP)
Examinador Externo

Prof. Dr. Fabio de Oliveira Sanches (UFJF)
Examinador Externo

Documento assinado digitalmente
 **FABIO DE OLIVEIRA SANCHES**
Data: 19/08/2023 12:53:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por

GISELE GIRARDI - SIAPE 2286315

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geografia

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGG/CCHN

Em 05/09/2023 às 13:11

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:

<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/788725?tipoArquivo=O>

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus que em Sua infinita bondade e misericórdia me sustentou para que eu pudesse chegar a esse momento. Ele sabe o quanto sonhei com isso.

Aos meus pais, Milton e Ivanilde, pois além de todo apoio, carinho e paciência, me deram o que não puderam ter, uma formação. Os dois, embora tenham cursado apenas algumas séries dos anos iniciais do ensino fundamental, possibilitaram que eu tivesse a oportunidade de prosseguir com meus estudos. Nós sabemos que não foi fácil. Amo muito vocês!

À minha esposa, amiga e companheira Mayara que desde o início sempre me incentivou e deu todo o suporte necessário para que eu pudesse estudar. Sei que você tem carregado um fardo pesado nos últimos anos, mas obrigado por acreditar que seria possível realizar esse sonho. Sem você, nada disso seria uma realidade. Eu te amo!

Aos meus filhos, Alice e Lucas, que mesmo sem entender minha ausência me alegravam com sorrisos, amor e muito carinho. Saibam que vocês são o meu combustível, minha força e a razão para prosseguir. Vocês são minha vida!

Aos meus irmãos Rosely, Rafael, Rosaní, Ronaldo e Rinaldo, pois cada um de vocês são uma importante referência para o que hoje me tornei. Sei que sempre oraram por mim e sei que vibram a cada vitória minha. Amo vocês!

Ao meu orientador Dr. Edson Soares Fialho, por acreditar em mim e ter confiado no meu trabalho. Obrigado por todo ensinamento, suporte e amizade. Agradeço por ter me dado a oportunidade de buscar essa conquista!

Ao professor Giuliano por ter me acompanhado e ajudado nos últimos anos. Obrigado por ter se tornado um parceiro de pesquisa, sempre acreditando e incentivando o meu trabalho. Esse trabalho é nosso!

Ao meu irmão Wemerson que desde a graduação sempre me ajudou na caminhada, nos momentos difíceis, nas tomadas de decisão e no desenvolvimento da pesquisa. Minha gratidão a você é eterna! Quem disse que para ser irmão, precisa ser de sangue? “Tamo junto” sempre!!

Ao Rafael, parceiro que conheci nessa caminhada do doutorado e que agora é um amigo. Obrigado pelo apoio camarada. “Tamo junto” burguês!

Aos professores e demais funcionários do PPGG-UFES pela dedicação ao programa e por contribuir para a realização do sonho de muitos estudantes. Agradeço também ao BIOCLIMA-UFV pelo suporte.

Por fim, agradeço a todos que estiveram ao meu lado e se fizeram presentes de alguma forma, me apoiando nessa caminhada.

Muito obrigado!

RESUMO:

O conhecimento das condições ambientais é um elemento de grande importância para a fixação e o desenvolvimento das sociedades. Nesse sentido, dentre as abordagens relativas às dinâmicas naturais, o entendimento das características climáticas é uma forma de melhor direcionar e estabelecer as relações da interface sociedade – natureza. As propostas de classificação climática elaboradas para o território brasileiro, por seu generalismo, muitas vezes não fornecem informações detalhadas em relação a áreas geográficas menores. Por essa razão e pela influência direta do clima na saúde, no bem-estar e, até mesmo, no desenvolvimento de diversas atividades econômicas das sociedades humanas, é necessária uma sistematização de classificação da dinâmica dos elementos climáticos que possa fornecer maiores subsídios ao planejamento e a gestão das ações antrópicas numa escala de maior detalhamento. O objetivo desse trabalho é elaborar a classificação climática da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e a escolha da área de estudos está justificada por sua importância nacional no âmbito da utilização dos recursos hídricos para o atendimento das demandas populacionais em seus diferentes usos, abrangendo várias cidades tanto no estado de Minas Gerais, como no estado do Espírito Santo. Essa classificação está baseada no método de Classificação Climática de Novais (2019), adaptando o uso do *software* de modelagem ambiental Dinamica EGO como ferramenta intermediária no processamento e na espacialização dos dados. Para a delimitação das unidades climáticas foram utilizados dados de reanálise do algoritmo *Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas* (CHELSA), elaborado por Karger *et al.* (2017). O uso dos dados de reanálise é um recurso técnico que permite obter as informações das características climáticas de áreas desprovidas de estações oficiais, otimizando o fornecimento de dados sobre território nacional. O método adotado se encontra em construção, pois algumas áreas do território brasileiro ainda não foram classificadas em todos os níveis hierárquicos. Como hipótese de pesquisa temos a perspectiva de que é possível gerar um refinamento da classificação climática na área de estudos, pois o sistema de classificação de Novais (2019) é estruturado em hierarquias, permitindo, seguindo critérios definidos, uma variação nos níveis escalares, possibilitando que áreas menores possam ser classificadas com maior nível de detalhes. Nesse sistema, a classificação pode ser dividida em Zonas Climáticas, Climas Zonais, Domínios Climáticos, Subdomínios Climáticos, Tipos Climáticos, Subtipos Climáticos, Mesoclimas e Topoclimas. O estabelecimento das unidades climáticas de acordo com Novais (2019) possui como critérios a temperatura média do mês mais frio (TMMM), a quantidade de meses secos, a influência e atuação de sistemas atmosféricos no regime pluviométrico e a passagem de frentes frias possibilitando a ocorrência de geadas. Com a aplicação do método,

cuja a escolha relaciona-se ao seu grande potencial de abordagem, foi possível a delimitação de 76 Subtipos climáticos ao nível da bacia, além de representar um avanço na análise do clima nas escalas geográficas inferiores, pois estabeleceu 6 Mesoclimas e 5 Topoclimas no município de Ponte Nova, MG. As informações geradas através da classificação, por contemplar diferentes níveis de abordagem escalar, podem, portanto, ser utilizadas nas tomadas de decisões relativas ao planejamento e a gestão ambiental da área, além de ser uma contribuição na construção e na aplicação do método para todo o Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Classificação climática, Bacia Hidrográfica do Rio Doce, Topoclima, Planejamento Ambiental, Unidades Climáticas.

ABSTRACT:

Knowledge of environmental conditions is an element of great importance for the establishment and development of societies. In this sense, among the approaches related to natural dynamics, the understanding of climatic characteristics is a way to better direct and establish the relationship between society and nature. Proposals for climate classification prepared for the Brazilian territory, due to their generalism, often do not provide detailed information in relation to smaller geographic areas. For this reason and the direct influence of climate on health, well-being and even on the development of various economic activities in human societies, a systematization of classification of the dynamics of climate elements is necessary that can provide greater subsidies for planning and the management of anthropic actions on a more detailed scale. The objective of this work is to elaborate the climatic classification of the Rio Doce Hydrographic Basin and the choice of the study area is justified by its national importance in the context of the use of water resources to meet the population demands in its different uses, covering several cities both in the state of Minas Gerais, as in the state of Espírito Santo. This classification is based on the Novais Climate Classification method (2019), adapting the use of the Dinamica EGO environmental modeling software as an intermediate tool in the processing and spatialization of data. For the delimitation of climatic units, reanalysis data from the Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas (CHELSA) algorithm, prepared by Karger *et al.* (2017), were used. The use of reanalysis data is a technical resource that allows obtaining information on the climatic characteristics of areas without official stations, optimizing the provision of data on the national territory. The adopted method is still under construction, as some areas of the Brazilian territory have not yet been classified at all hierarchical levels. As a research hypothesis, we have the perspective that it is possible to refine the climate classification in the study area, since the Novais (2019) classification system is structured in hierarchies, allowing, following defined criteria, a variation in scalar levels, allowing smaller areas can be classified in greater detail. In this system, the classification can be divided into Climatic Zones, Zonal Climates, Climatic Domains, Climatic Subdomains, Climatic Types, Climatic Subtypes, Mesoclimates and Topoclimates. The establishment of climate units according to Novais (2019) has as criteria the average temperature of the coldest month (ATCM), the number of dry months, the influence and performance of atmospheric systems on the rainfall regime and the passage of cold fronts allowing the occurrence of frosts. With the application of the method, the choice of which is related to its great approach potential, it was possible to delimit 76 climatic subtypes at the basin level, in addition to representing an advance in climate analysis at lower geographic

scales, as it established 6 Mesoclimates and 5 Topoclimates in the municipality of Ponte Nova, MG. The information generated through the classification, as it contemplates different levels of scalar approach, can, therefore, be used in decision-making regarding the planning and environmental management of the area, in addition to being a contribution to the construction and application of the method for the entire Brazil.

KEYWORDS: Climatic classification, Rio Doce Hydrographic Basin, Topoclimate, Environmental Planning, Climatic Units.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escalas de análise geográfica do clima	24
Figura 2 - Diagrama ombrotérmico de Bagnouls e Gaussen	41
Figura 3 - Classificação climática de Bernardes (1951)	50
Figura 4 - Classificação climática do Brasil de Rizzini e Pinto (1964)	51
Figura 5 - Classificação Climática do Brasil proposta por Andrade (1972)	52
Figura 6 - Classificação climática do Brasil proposta por Nimer (1972)	53
Figura 7 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD)	54
Figura 8 - Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Doce	56
Figura 9 - Mapa geomorfológico da bacia do Rio Doce	57
Figura 10 - Espacialização das Unidades Geomorfológicas da Bacia do Rio Doce	62
Figura 11 - Unidades Geomorfológicas da Bacia do Rio Doce	64
Figura 12 - Mapa de Clima da Bacia do Rio Doce	66
Figura 13 - Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) no dia 13 de janeiro de 2013 ...	71
Figura 14 - Incidência solar no planeta	77
Figura 15 - Zonas Climáticas	78
Figura 16 - Distribuição dos climas zonais no globo	80
Figura 17 - Tipos climáticos brasileiros, obtidos a partir da localização dos Domínios e Subdomínios climáticos.	84
Figura 18 – Fluxograma síntese da aplicação do método de classificação climática	89
Figura 19 - Precipitação média (1979 – 2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (1º Trimestre)	91
Figura 20 - Precipitação média (1979 – 2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (2º Trimestre)	92
Figura 21 - Precipitação média (1979 – 2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (3º Trimestre)	94
Figura 22 - Precipitação média (1979 – 2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (4º Trimestre)	95
Figura 23 - Precipitação média anual (1979 – 2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Doce	97
Figura 24 - Temperatura média (1979 – 2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (1º Trimestre)	99
Figura 25 - Temperatura média (1979 – 2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (2º Trimestre)	101

Figura 26 - Temperatura média (1979 – 2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (3º Trimestre)	103
Figura 27 - Temperatura média (1979 – 2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (4º Trimestre)	105
Figura 28 - Média anual (1979 – 2013) de temperatura do ar na Bacia Hidrográfica do Rio Doce	106
Figura 29 - Enquadramento da BHRD nas Zonas Climáticas	107
Figura 30 - Climas Zonais da Bacia Hidrográfica do Rio Doce	109
Figura 31 - Domínios Climáticos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce	111
Figura 32 - Espacialização dos Subdomínios na Bacia Hidrográfica do Rio Doce	112
Figura 33 - Domínios e Subdomínios Climáticos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce	113
Figura 34 - Classificação Climática da Bacia Hidrográfica do Rio Doce	117
Figura 35 - Exemplo de codificação dos Subtipos Climáticos	118
Figura 36 - Classificação Climática do Alto Rio Doce	121
Figura 37 - Classificação Climática do Médio Rio Doce	124
Figura 38 - Classificação Climática do Baixo Rio Doce	129
Figura 39 - Localização do município de Ponte Nova, Minas Gerais	133
Figura 40 - Hipsometria do município de Ponte Nova e delimitação de sua área urbana	134
Figura 41 - Fluxograma das etapas do procedimento de delimitação dos Mesoclimas	135
Figura 42 - Mesoclimas do município de Ponte Nova, Minas Gerais	136
Figura 43 - Localização dos pontos da análise Topoclimática	140
Figura 44 - Localização dos pontos de análise topoclimática nas feições do relevo local	140
Figura 45 - Caracterização da localização dos pontos de coleta de dados para análise topoclimática	141
Figura 46 - Comparação dos dados de temperatura média mensal entre os termo-higrômetros e os dados extraídos do CHELSA	142
Figura 47 - Correlação linear e coeficiente de determinação (R^2) da comparação entre os dados do CHELSA e dos equipamentos Hobo	143
Figura 48 - Mapa de radiação solar da área urbana de Ponte Nova	145
Figura 49 - Extrato do balanço hídrico no Topoclima A	146
Figura 50 - Extrato do balanço hídrico no Topoclima B	147
Figura 51 - Extrato do balanço hídrico no Topoclima C	148
Figura 52 - Extrato de balanço hídrico no Topoclima D	149
Figura 53 - Extrato do balanço hídrico no Topoclima E	150

Figura 54 – Comparação entre a classificação de Köppen e o mapa de Classificação Climática da BHRD (dos Domínios aos Subdomínios Climáticos segundo a Classificação Climática de Novais).....	154
Figura 55 - Comparação entre a classificação de Köppen e o mapa de Classificação Climática da BHRD (dos Domínios aos Subtipos Climáticos segundo a Classificação Climática de Novais).....	155
Figura 56 – Recorte da Classificação Climática de Köppen para a BHRD com base em Alvares et al. (2013)	156
Figura 57 - Comparação entre o recorte da classificação para BHRD com base em Alvares <i>et al.</i> (2013) e o mapa de Classificação Climática da BHRD (dos Domínios aos Subdomínios Climáticos segundo a Classificação Climática de Novais).....	157
Figura 58 - Comparação entre o recorte da classificação para BHRD com base em Alvares <i>et al.</i> (2013) e o mapa de Classificação Climática da BHRD (dos Domínios aos Subtipos Climáticos segundo a Classificação Climática de Novais).....	158
Figura 59 – Recorte da Classificação Climática da BHRD com base no mapa de Climas do Brasil do IBGE (2002).....	159
Figura 60 – Comparação entre o recorte da classificação climática da BHRD do Mapa de Climas do Brasil e o mapa de Classificação Climática da BHRD (dos Domínios aos Subdomínios Climáticos segundo a Classificação Climática de Novais).....	161
Figura 61 - Classificação de Strahler para o Brasil, com destaque para a área aproximada da BHRD.....	162
Figura 62 – Comparação da classificação de Strahler para o Brasil e o mapa dos Climas Zonais da BHRD.....	163
Figura 63 – Comparação entre a classificação de Strahler para o Brasil e o mapa dos Domínios Climáticos da BHRD	164

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Organização das escalas espacial e temporal do clima.....	24
Quadro 2 - Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima	25
Quadro 3 - Níveis interativos propostos por Ribeiro (1993)	26
Quadro 4 - Ordens de grandezas para o fenômeno climático estabelecidas por Ribeiro (1993)	27
Quadro 5 - Classificação genética dos climas proposta por Flohn (1950).....	31
Quadro 6 - Classificação genética do clima proposta por Strahler (1969)	32
Quadro 7 - Grupos e subgrupos climáticos propostos na classificação de Köppen.....	34
Quadro 8 - Terminologia usada na classificação de Bagnouls e Gaussen	41
Quadro 9 - Classificação climática de Morize (1922)	47
Quadro 10 - Classificação climática de Delgado de Carvalho (1917).....	48
Quadro 11 - Síntese da classificação climática de Afrânio Peixoto (1942).....	49
Quadro 12 - Delimitação de seções ao longo da extensão do Rio Doce.....	55
Quadro 13 - Caracterização das grandes unidades geomorfológicas da Bacia do Rio Doce...	58
Quadro 14 - Taxonomia de relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Doce.....	62
Quadro 15 - Condições de tempo provocadas por invasão de massas de ar	68
Quadro 16 - Massas de ar que atuam na Bacia do Rio Doce	68
Quadro 17 - Principais Atividades Econômicas da Bacia do Rio Doce por Estados.....	75
Quadro 18 - Limites Latitudinais das Zonas Climáticas	79
Quadro 19 - Critérios para definição dos Climas Zonais	79
Quadro 20 - Critérios para a definição e delimitação dos Domínios Climáticos para o Brasil	81
Quadro 21 - Tipos Climáticos Brasileiros.....	83
Quadro 22 - Relação de Subtipos Climáticos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce.....	118

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação entre a altitude e a precipitação	150
Gráfico 2 - Relação entre a altitude e a ETP	151
Gráfico 3 - Relação entre a altitude e a temperatura do ar.....	152

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipo de umidade climática e índice de umidade da classificação climática de Thorntwaite	37
Tabela 2 - Eficiência térmica e sua concentração no verão da classificação climática de Thorntwaite	38
Tabela 3 - Adequação sazonal de umidade da classificação climática de Thorntwaite.....	39
Tabela 4 - Classificação climática proposta por Bagnouls e Gausson.....	42
Tabela 5 - Tipos climáticos, seus intervalos e simbologia, conforme Nimer e Brandão (1985)	45
Tabela 6 - Subtipos climáticos, seus intervalos e simbologia, conforme Nimer e Brandão (1985)	46
Tabela 7 - Caracterização dos Subtipos Climáticos do Alto Rio Doce	121
Tabela 8 - Caracterização dos Subtipos Climáticos do Médio Rio Doce	125
Tabela 9 - Caracterização dos Subtipos Climáticos do Baixo Rio Doce	129
Tabela 10 - Características dos Mesoclimas do município de Ponte Nova	136
Tabela 11 - Caracterização dos Topoclimas	145

Sumário

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO	1
1. INTRODUÇÃO	18
2. REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1 CLIMA E PAISAGEM	21
2.2 ESCALAS DO CLIMA	23
2.3 CLASSIFICAÇÕES CLIMÁTICAS	28
2.3.1 CLASSIFICAÇÃO DE FLOHN	31
2.3.2 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE STRAHLER	31
2.3.3 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN	32
2.3.4 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE THORNTHWAITE	36
2.3.5 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE BAGNOULS E GAUSSEN	39
2.3.6 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE NIMER	44
2.4 BREVE HISTÓRICO DE CLASSIFICAÇÕES CLIMÁTICAS APLICADAS AO TERRITÓRIO BRASILEIRO	46
3. APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	54
3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE	55
3.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE	64
3.3 PRINCIPAIS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS QUE ATUAM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE.....	67
3.4 OCUPAÇÃO INICIAL, ATIVIDADES ECONÔMICAS E ASPECTOS DEMOGRÁFICOS ATUAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE	73
4. METODOLOGIA	76
4.1 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE NOVAIS.....	76
4.1.1 ZONAS CLIMÁTICAS	77
4.1.2 CLIMA ZONAL	79

4.1.3	DOMÍNIOS CLIMÁTICOS	80
4.1.4	SUBDOMÍNIOS CLIMÁTICOS.....	81
4.1.5	TIPOS CLIMÁTICOS	82
4.1.6	SUBTIPOS CLIMÁTICOS	84
4.1.7	MESOCLIMAS E TOPOCLIMAS.....	85
4.2	PROCEDIMENTOS PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE NOVAIS (2019).....	85
4.2.1	AQUISIÇÃO DE DADOS ESPACIAIS	85
4.2.2	AQUISIÇÃO DE DADOS CLIMÁTICOS	86
4.2.3	DELIMITAÇÃO DAS UNIDADES CLIMÁTICAS	87
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	90
5.1	ESPACIALIZAÇÃO E ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO NA BHRD.....	90
5.2	ESPACIALIZAÇÃO E ANÁLISE DA TEMPERATURA NA BHRD.....	98
5.3	CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DA BHRD	107
	<i>Zona Climática</i>	107
	<i>Climas Zonais</i>	108
	<i>Domínios Climáticos</i>	109
	<i>Subdomínios Climáticos</i>	111
	<i>Tipos e Subtipos Climáticos</i>	115
	<i>Mesoclimas e Topoclimas</i>	132
5.4	COMPARAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE COM OUTRAS CLASSIFICAÇÕES EXISTENTES	153
5.5	APONTAMENTOS SOBRE O USO DA CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO	164
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	167
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	170

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das condições ambientais é um elemento de grande importância para a fixação e o desenvolvimento das sociedades. Nesse sentido, dentre as abordagens relativas às dinâmicas naturais, o entendimento das características climáticas é uma forma de melhor direcionar e estabelecer as relações da interface sociedade – natureza.

No processo de produção e transformação do espaço geográfico sempre há uma busca por meios de entendimento dos processos inerentes a esse contexto. As marcas revelam-se na paisagem que, por sua vez, refletem as consequências socioambientais da interação em curso.

Ao longo da história de desenvolvimento da ciência geográfica, muitas foram as contribuições de geógrafos na sistematização e nas análises dos fenômenos que repercutem na configuração do espaço geográfico.

A ideia de sistematização, muito presente no olhar geográfico, busca ampliar a percepção dos elementos humanos e naturais, suas correlações e cenários resultantes. Tornou-se imprescindível o entendimento dos processos que influenciam diretamente nossas vidas.

A partir do momento em que o homem tomou consciência da interdependência das condições climáticas e daquelas resultantes de sua deliberada intervenção no meio natural como necessidade para o desenvolvimento social, ele passou a produzir e registrar o conhecimento sobre os componentes da natureza (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 11).

Para Trewartha (1937) o clima pode ser entendido como a condição média ou normal do comportamento dos elementos climáticos durante um longo período. Por sua relevância como condicionante ambiental, exerce muita influência na vida humana, seja no desenvolvimento das atividades cotidianas ou na busca por condições ambientais favoráveis para fixação em determinada localidade. Sua compreensão pode ser relacionada ao próprio movimento de organização humana na constituição social.

Desvendar a dinâmica dos fenômenos naturais, dentre eles, o comportamento da atmosfera, foi necessário para que os grupos sociais superassem a condição de meros sujeitos às intempéries naturais e atingissem não somente a compreensão do funcionamento de alguns fenômenos, mas também a condição de utilizadores e de manipuladores dos mesmos em diferentes escalas (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 11).

A partir desse entendimento, o clima ganha certa centralidade e podemos afirmar que a sistematização do comportamento dos elementos climáticos através do uso das classificações climáticas passou a ser algo fundamental na atualidade.

Nos dias atuais, graças aos novos métodos, técnicas e tecnologias de observação e estudo do clima, não há limites para o desenvolvimento das análises que produzem informações de grande relevância sobre a temática. Contudo, Peel *et al.* (2007) apontam para uma certa inércia no desenvolvimento de novas classificações climáticas, sendo a classificação de Köppen a mais utilizada mundialmente.

Segundo Beck *et al.* (2005), as classificações climáticas globais foram originalmente construídas para designar os climas locais existentes e determinar a distribuição espacial dos diferentes tipos de clima com base em dados climáticos em um período de referência. Desse modo, as classificações climáticas são ferramentas para identificação das características climáticas espaciais médias.

Classificar os diferentes climas da Terra, segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), representa a conversão dos dados meteorológicos e climáticos disponíveis em medidas estatísticas, possibilitando avaliar o clima em relação a outras variáveis espaciais. Os autores ressaltam ainda que é uma tarefa “geograficamente útil, pois, mesmo refletindo uma certa redução, conduz a uma compreensão da realidade espacial [...] a uma dada compartimentação do espaço” (MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 114).

O presente estudo tem como objetivo geral classificar o clima da bacia hidrográfica do Rio Doce a partir do método de Classificação Climática de Novais (2019), delimitando com maior detalhamento as diferentes unidades climáticas.

A escolha da área de estudos baseia-se em sua importância nacional no âmbito da utilização dos recursos hídricos para o atendimento das demandas populacionais em seus diferentes usos, abarcando várias cidades tanto no estado de Minas Gerais, como no estado do Espírito Santo.

O método de Classificação Climática de Novais (2019) utiliza, para a delimitação das unidades climáticas, dados climáticos obtidos em estações fixas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) e dados de reanálise do algoritmo *Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas* (CHELSA), elaborado por Karger *et al.* (2017). O uso dos dados de reanálise é um recurso técnico que permite estimar as informações das características climáticas de áreas desprovidas de estações oficiais, otimizando o fornecimento de dados sobre território nacional.

O método adotado encontra-se em construção e, nesse sentido, esse trabalho incorpora a utilização do *software* de modelagem ambiental Dinamica EGO em determinadas etapas de processamento e espacialização dos dados, contribuindo para a aquisição de informações com maior nível de precisão. Para Fitz (2008), a utilização de novas ferramentas e de qualificação técnica são fundamentais para o alcance de bons resultados nas pesquisas. O trabalho ainda é uma contribuição para uma maior abrangência da Classificação Climática de Novais (2019) no território nacional em diferentes níveis escalares.

Como hipótese de pesquisa temos a perspectiva de que é possível gerar um maior refinamento da classificação climática na área de estudos, pois o sistema de classificação de Novais (2019) é estruturado em hierarquias, permitindo, seguindo critérios definidos, uma variação nos níveis escalares, possibilitando que áreas menores possam ser classificadas com maior nível de detalhamento. Nesse sistema, a classificação pode ser dividida em Zonas Climáticas, Climas Zonais, Domínios Climáticos, Subdomínios Climáticos, Tipos Climáticos, Subtipos Climáticos, Mesoclimas e Topoclimas.

A possibilidade de um maior detalhamento na classificação climática de áreas geográficas menores justifica a escolha do método e a ruptura com a perspectiva generalista presente em outras classificações climáticas aplicadas no território brasileiro é a justificativa para o desenvolvimento do presente trabalho.

Visam-se como objetivos específicos da pesquisa: (1) caracterizar e analisar o regime de precipitação média na Bacia Hidrográfica do Rio Doce para o período de 1979 a 2013; (2) caracterizar e analisar os valores térmicos médios na Bacia Hidrográfica do Rio Doce para o período de 1979 a 2013; (3) classificar o clima até o último nível hierárquico no município de Ponte Nova, que está inserido na área da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, demonstrando a capacidade de detalhamento do método; (4) comparar a Classificação Climática de Novais (2019) aplicada à Bacia Hidrográfica do Rio Doce com outras classificações climáticas; (5) contribuir com a classificação climática do território brasileiro, que foi iniciada e vem sendo desenvolvida através da Classificação Climática de Novais (2019).

Esta tese, organizada em seis capítulos, apresenta a classificação climática da Bacia Hidrográfica do Rio Doce a partir da aplicação do método de Novais (2019). A revisão de literatura e a apresentação da área de estudo correspondem, consecutivamente, ao segundo e ao terceiro capítulo. O quarto capítulo apresenta a metodologia, o quinto capítulo os resultados e discussões e o capítulo seis traz as considerações finais com base nos resultados.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CLIMA E PAISAGEM

A ciência geográfica representa uma possibilidade de compreensão do mundo. A amplitude de sua abordagem, permite sua constituição como uma ferramenta de interpretação e explicação de dinâmicas e processos que compõem os aspectos de formação do espaço geográfico, refletindo-se nas paisagens. A esse respeito, Conti (2014) indica que,

[...] a geografia tem por objeto próprio a compreensão dos processos interativos entre natureza e sociedade, produzindo, como resultado, um sistema de relações e de arranjos espaciais que se expressam por unidades paisagísticas identificáveis em todas as escalas de grandeza. Faz uma interpretação dinâmica da realidade e se fundamenta sobre três princípios: os da localização, descrição e comparação (CONTI, 2014, p. 240).

Assim como ressaltado pelo autor, é objetivo da Geografia a compreensão dos processos relativos à interface natureza – sociedade. Contudo, existem princípios fundamentais para que essa compreensão se efetive. Troll (1950) concebe a paisagem como resultante das interações entre o homem e o meio, em um processo de articulação entre elementos que a constituem.

A paisagem é a materialização das relações entre o homem e a natureza em uma determinada espacialidade. É o “resultado da combinação dinâmica, portanto, instável de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente, uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em contínua evolução” (BERTRAND, 2007, p. 7).

Para Moresco (2007), a delimitação de cada unidade da paisagem deve partir do reconhecimento das relações existentes entre os elementos de maneira que se perceba qual dentre eles é o mais significativo para a dinâmica daquele ambiente.

No escopo da ciência, o estabelecimento de categorias contribui para um melhor desenvolvimento das análises na apreensão dos fenômenos sob uma perspectiva de abordagem sistêmica. Dentre as categorias, a paisagem emerge com grande potencialidade na interpretação da realidade, “expressando a organização do espaço e seu aspecto multifacetado” (CONTI, 2014, p. 240).

Na paisagem estão expressas, ainda que de formas não evidentes ou muito sutis a um olhar desprezioso, os processos constitutivos daquela fração do espaço geográfico e é no desenrolar dos estudos dos processos e elementos formadores daquele fragmento paisagístico que podemos, com base na articulação das análises, contemplar de forma mais abrangente o todo geográfico. Seria, portanto, reforçando a perspectiva de Conti, um cenário de aplicação

dos princípios de localização, descrição e, sobretudo, comparação, na busca contínua do entendimento da realidade.

Os estudos geográficos que analisam a paisagem remontam às bases da ciência geográfica e o tema está presente, desde Humboldt, nas reflexões dos geógrafos (CONTI, 2014). Desde o princípio da ciência geográfica, a influência do meio natural e do clima sobre os povos representa um dos mais antigos paradigmas (JESUS, 2008).

O clima, assim como a paisagem, é resultante da interação de diferentes processos, dentre os quais estão inseridos aqueles deflagrados pelas ações antrópicas. Nos estudos climáticos, a paisagem ganha certa centralidade, pois o

[...] clima, abstrato enquanto categoria, não pode ser expresso em imagem, mas aparece subjacente em qualquer paisagem da superfície terrestre, desempenhando papel relevante por meio da atuação de seus elementos tais como temperatura, umidade, ventos, etc. em diversas escalas de grandeza. Há uma forte sintonia entre clima e paisagem (CONTI, 2014, p. 241).

Para Burgos e Vidal (1951), as classificações climáticas tem como objetivo a caracterização de regiões climáticas em termo dos elementos principais, como a temperatura e a precipitação, considerados decisivos na determinação da paisagem da superfície terrestre. A interrelação entre clima e paisagem é, portanto, uma abordagem bastante utilizada nos sistemas de classificações, que buscam de certa forma, ordenar e espacializar a variabilidade dos tipos de climas no espaço geográfico. Para tal feito, há a necessidade de que as análises sejam comparativas, e, dessa forma, possam ser percebidos os limites de cada unidade climática que foi classificada.

Nesse sentido, dois movimentos são possíveis. O primeiro, consiste em tomar a paisagem como ponto de partida, buscando perceber as características climáticas locais e como essas características condicionam a configuração da paisagem. Nesse exercício analítico, não devemos deixar de abordar escalas geográficas superiores, pois existe uma forte correlação entre o local, o regional e o global. O segundo, teria seu início nas análises de processos que ocorrem em escalas geográficas superiores, como, por exemplo, a circulação geral da atmosfera e a formação das zonas climáticas da Terra, buscando compreender a influência dos fatores climáticos macro escalares nas escalas meso e micro climáticas de forma hierarquizada, percebendo como essas relações contribuem para a constituição da paisagem.

Como resultante, é possível estabelecer, comparativamente, a espacialização das diferentes unidades climáticas e, conseqüentemente, perceber as diferentes paisagens presentes no espaço geográfico. Clima e paisagem, portanto, articulam-se numa relação de causa e efeito,

fornecendo elementos preciosos para uma leitura geográfica da realidade. Nesse sentido, é preciso estar sempre atento ao fato de que a variação das análises escalares, permite ao pesquisador um maior detalhamento na leitura e interpretação dos processos e fenômenos geográficos.

2.2 ESCALAS DO CLIMA

Uma proposta de classificação climática busca identificar limites entre áreas que apresentam distinção/semelhanças no comportamento dos elementos do clima. Cada proposta, organiza-se em um sistema com critérios pré-definidos a partir dos quais os dados podem ser quantificados e analisados a fim de gerarem informações sobre a existência de diferentes unidades do clima e suas respectivas abrangências na superfície terrestre.

Classificar o clima envolve a observação dos elementos e fatores climáticos nas dimensões espacial e temporal e, para tanto, faz-se necessário um enquadramento das análises em apropriadas escalas de abordagem. Segundo Jesus (2008, p. 176), “cada estudo deve ser colocado dentro de sua perspectiva correta, isto é, no seu campo de pertinência, no nível de sua dimensão de análise”.

A utilização de escalas aplica-se no estudo de qualquer fenômeno geográfico e é ela quem possibilita a delimitação da dimensão do objeto que se quer investigar. Na abordagem geográfica do clima as escalas espaciais (macroclima, mesoclima e microclima) ganham maior destaque e a noção de escala implica em uma ordem hierárquica das grandezas climáticas (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). Portanto,

[...] existem diferentes propostas de hierarquia climática que conseguem apresentar semelhanças nas escalas superiores, porém muitas diferenças nas escalas inferiores. Até porque, nessas escalas, as dinâmicas humanas (social, econômica e política), produzem uma gama de configurações de fatores que não são estáticos, mas inter-relacionados com a dinâmica da sociedade, essa materializada no território e presente na paisagem, que é transformada de maneira intensa segundo os interesses vigentes (FIALHO *et al.*, 2023, p. 13).

“O real significado de escala inclui, necessariamente, uma relação indissociável entre a dimensão espacial e o fenômeno climático analisado” (JESUS, 2008, p. 176). No Quadro 1 podemos verificar a organização das escalas espacial e temporal do clima.

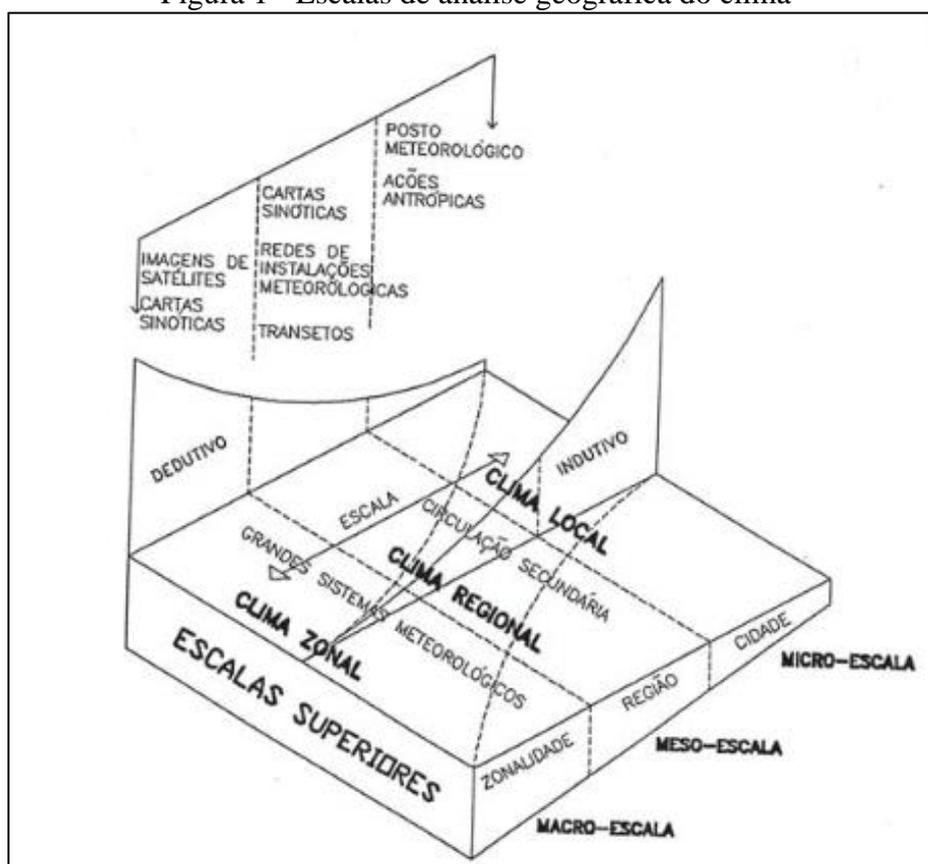
Quadro 1 - Organização das escalas espacial e temporal do clima

ORDEM DE GRANDEZA	SUBDIVISÕES	ESCALA HORIZONTAL	ESCALA VERTICAL	TEMPORALIDADE DAS VARIAÇÕES MAIS REPRESENTATIVAS	EXEMPLIFICAÇÃO ESPACIAL
Macroclima	Clima zonal Clima regional	> 2000 km	3 a 12 km	Algumas semanas a vários decênios	O globo, um hemisfério, oceano, continente, mares etc.
Mesoclima	Clima regional Clima local Topoclima	2000 km a 10 km	12 km a 100 m	Várias horas a alguns dias	Região natural, montanha, região metropolitana, cidade etc.
Microclima		10 km a alguns m	Abaixo de 100 m	De minutos ao dia	Bosque, uma rua, uma edificação/casa etc.

Fonte: Mendonça e Danni-Oliveira (2007).

Na Figura 1 estão representadas as escalas geográficas do clima e suas respectivas dimensões espaciais.

Figura 1 - Escalas de análise geográfica do clima



Fonte: Faissol (1978), adaptado por Jesus (1995).

Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro em sua proposição sistêmica, destaca a importância de o estabelecimento de categorias escalares para as análises do clima. Revela que nas ciências como a Geomorfologia e a Climatologia existem problemas taxonômicos que devem ser solucionados. Contudo, orienta que a preocupação taxonômica não deve estabelecer limites absolutos entre as diferentes unidades morfoclimáticas – demonstrando seu entendimento sobre a relação entre as unidades espaciais do clima e as unidades geomorfológicas – e, nesse sentido, diz que:

Em termos sistêmicos a necessidade é *relativa*, ou *relacional* (Harvey, 1972), uma vez que a preocupação é obter respostas para perguntas do tipo:

- O que está contido dentro de que?
- Quais são os elementos que compõem o conjunto?
- Em que níveis escalares os elementos podem ser posicionados?

Por esse motivo é que o tratamento dessa questão [...] merece uma atenção especial (MONTEIRO; MENDONÇA, 2015, p. 27).

Com o intuito de exemplificar, podemos observar no Quadro 2 o entendimento de Monteiro sobre as categorias taxonômicas da organização geográfica do clima.

Quadro 2 - Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima

Unidades de superfície	Escala cartográfica de tratamento	Espaços climáticos	Estratégias de abordagem		
			Meios de observação	Fatores de organização	Técnicas de análise
Milhões de km	1: 45.000.000 1: 10.000.000	Zonal	Satélites Nefanálises	Latitude Centros de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
Milhões de km	1: 5.000.000 1: 2.000.000	Regional	Cartas sinóticas Sondagens aerológicas	Sistemas meteorológicos (Circulação secundária)	Redes transectos
Centenas de km	1: 1.000.000 1: 500.000	Sub-Regional (fácies)	Rede meteorológica de superfície	Fatores geográficos	Mapeamento sistemático
Dezenas de km	1: 250.000 1: 100.000	Local	Posto meteorológico Rede complementar	Integração geológica Ação antrópica	Análise espacial
Centenas de km	1: 50.000	Mesoclima	Registros móveis (Episódicos)	Urbanismo	Especiais
Dezenas de metros	1: 10.000 1: 5.000	Topoclima	(Detalhe)	Arquitetura	
Metros	1: 2.000	Microclima	Baterias de instrumentos especiais	Habitação	

Fonte: Adaptado. Monteiro e Mendonça (2015, p. 29).

De acordo com Ribeiro (1993) os estudos dos fenômenos atmosféricos orientam-se no sentido da compreensão de sua dimensão têmporo-espacial, sendo o clima regido pela interação entre esses fenômenos, que ao se fundirem possibilitam que sejam verificadas sua extensão e sua duração. Ainda de acordo com o autor, para a abstração racional dessas interações, é fundamental que seja estabelecido um referencial escalar.

Sobre o estabelecimento de categorias taxonômicas, Ribeiro (1993, p. 288) orienta que:

- Antes de propor um sistema taxonômico para o fenômeno climático torna-se necessário apresentar os critérios orientadores desse sistema, como disposto a seguir:
- a) São consideradas escalas superiores aquelas mais próximas do nível planetário e escalas inferiores aquelas mais próximas dos indivíduos habitantes da superfície da Terra;
 - b) As combinações de processos físicos interativos numa escala superior resultam em modificações sucessivas no comportamento da atmosfera nas escalas inferiores;
 - c) As combinações particulares de processos físicos nas escalas inferiores possuem limitada repercussão nas escalas superiores;
 - d) O grau de dependências da radiação extraterrestre na definição climática é maior nas escalas superiores, enquanto que a influência dos elementos da superfície, inclusive a ação antrópica, vai-se tornando mais pronunciada na medida em que se atingem as escalas inferiores;
 - e) Quanto mais extenso o resultado de determinada combinação, maior será o tempo de sua permanência, sendo o inverso igualmente verdadeiro;
 - f) A extensão de uma determinada combinação na atmosfera resulta num atributo tridimensional sendo, portanto, volumétrica a noção de extensão, em Climatologia, e tendo como limite superior o próprio limite da atmosfera terrestre.

Com base nas possibilidades de interação entre os fluxos de matéria e energia e seus respectivos condicionantes, segundo Ribeiro (1993), pode-se estabelecer, em uma primeira análise, três níveis interativos (Quadro 3), que são considerados basilares para sua proposta taxonômica.

Quadro 3 - Níveis interativos propostos por Ribeiro (1993)

Nível	Grau de interação
Macroclimático	Interação entre a radiação solar, a curvatura da Terra e os seus movimentos de rotação e translação.
Mesoclimático	Interação entre a energia disponível (para o processo de evaporação e de geração de campos de pressão) e as feições do meio terrestre.
Microclimático	Interação entre os sistemas ambientais particulares na modificação dos fluxos de energia, umidade, massa e momentum.

Fonte: Organizado pelo autor. (RIBEIRO, 1993, p. 289).

A partir da associação entre os critérios supracitados e os três níveis de interação, conforme pode ser verificado de forma sintética no Quadro 4, Ribeiro (1993) estabelece a ordem da grandeza têmporo-espacial para o fenômeno climático.

Quadro 4 - Ordens de grandezas para o fenômeno climático estabelecidas por Ribeiro (1993)

Ordem de Grandeza	Síntese das características
Clima Zonal	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A zonalidade é produzida pela distribuição latitudinal da radiação solar, envolvendo a curvatura da superfície do planeta e a inclinação de seu eixo em relação ao Plano da Eclíptica; ✓ Nesta escala define-se a circulação primária ou circulação geral da atmosfera, com destaque à Zona de Convergência dos Alísios (ITCZ), aos cinturões hemisféricos de altas pressões nas latitudes médias, às zonas ciclônicas circumpolares, à Oscilação Sul associada ao El Niño e à circulação monçônica. ✓ Os fenômenos do clima na escala zonal apresentam extensão horizontal entre 1000 e 5000 quilômetros, e na vertical abarcam toda a atmosfera. ✓ A permanência temporal de um estado climático, nesta escala, pode durar de uma semana a seis meses; ✓ Os registros necessários à compreensão dos climas na escala zonal devem ser obtidos em nível de normal climatológica, com períodos mínimos de 30 anos de observações; ✓ A representação cartográfica deve contemplar o tratamento dos registros mencionados, em nível de atlas planisféricos, através de cartas de ventos em diferentes cortes isobáricos, cartas de campos de pressão à superfície e cartogramas representativos dos parâmetros hídricos e energéticos, sempre no sentido da compreensão da circulação geral da atmosfera e fenômenos correlatos.
Clima Regional	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A identidade do clima regional confunde-se com suas próprias repercussões na cobertura vegetal natural dos continentes; ✓ A definição do clima regional no interior de um clima zonal deve-se à ação modificadora da circulação geral da atmosfera provocada por um conjunto de fatores de superfície, como a distribuição entre as áreas continentais e oceânicas, forma dos continentes, correntes marítimas, rugosidade dos continentes (incluindo as altitudes relativas) e continentalidade/maritimidade; ✓ A extensão, a permanência e a frequência da atuação de grupos de sistemas de circulação atmosférica provocam o impacto necessário para produzir condições relativamente estáveis para o desenvolvimento de uma bio-morfo-pedogenese característica de uma determinada região natural; ✓ Apresentam extensão horizontal entre 150 e 2500 quilômetros e verticalmente estão limitados pelos fenômenos que ocorrem abaixo da Tropopausa. ✓ Os estados do tempo derivados da atuação dos centros de ação e frentes duram, em média, de 1 a 30 dias; ✓ A análise de cartas sinóticas nas escalas hemisféricas e continentais e de imagens de satélites meteorológicos apoiados nos registros obtidos em estações climatológicas de superfície, poderá conduzir a bom termo a compreensão dos climas regionais, através da metodologia proposta por Monteiro (1964, 1969 e 1974);
Mesoclima ou Clima Local	<ul style="list-style-type: none"> ✓ É influenciado pelas características fisiográficas responsáveis pela modificação da circulação regional, com destaque para o papel do relevo; ✓ As diferenciações altimétricas apresentam importante influência na distribuição da radiação líquida, na retenção do vapor de água e armazenamento de calor sensível; ✓ Suscetibilidade de alteração das características locais do clima devido a ação antrópica (ex.: formação de um Clima Urbano); ✓ Possui uma variável extensão horizontal, uma vez que a inserção individualizada ou combinada de fatores fisiográficos e antrópicos no clima regional também não possui um tamanho padrão ou pré-determinado; ✓ O limite vertical dos mesoclimas restringe-se à Camada Limite Planetária, entre 1200 e 2000 metros de altura, justamente uma camada de intensa mistura provocada pelos processos convectivos originados pelo aquecimento diferencial da superfície e pela rugosidade do terreno; ✓ A permanência dos estados atmosféricos na escala do clima local pode perdurar entre 12 horas e uma semana, pois apesar da influência dos fatores fisiográficos e antrópicos na construção do mesoclima, quem comanda sua gênese, é a sucessão habitual de sistemas e subsistemas atmosféricos, configurados pela variação diária dos elementos climáticos; ✓ Os registros necessários para análise do clima local são aqueles derivados da rede de observação meteorológica básica, inclusive contando com as redes de estações termoplúviométricas, ou mesmo de postos pluviométricos podem fornecer valiosas informações a respeito da frequência e intensidade da atuação dos subsistemas atmosféricos.
Topoclima	<ul style="list-style-type: none"> ✓ O topoclima corresponde a uma derivação do clima local devido à rugosidade da superfície, que tem como consequência a energização diferenciada do terreno, podendo influenciar no balanço energético; ✓ Um tempo anticiclônico com céu claro e ausência de ventos é a situação sinótica mais favorável para que o topoclima se revele; embora tal situação possa permanecer por diversos dias, a resposta na escala topoclimática é freqüentemente observada nas situações opostas de radiação diurna e irradiação noturna; ✓ A extensão horizontal dos topoclimas restringe-se à forma do relevo ou ao tamanho da vertente que lhe dá origem, podendo variar entre 0,5 e 5 quilômetros e interferir na estrutura vertical da atmosfera em até 50 a 100 metros de altura, coincidindo com a camada Limite Superficial, limite até onde a energia calorífica gerada na superfície pode atingir pelo processo de condução e onde a força do atrito supera a força de Coriolis no direcionamento dos ventos de superfície; ✓ Os dados necessários para o estudo dos topoclimas devem ser gerados em estações não convencionais, fixas ou móveis, objetivando a elaboração de transeptos e perfis geocológicos;
Microclima	<ul style="list-style-type: none"> ✓ O microclima define-se através da magnitude das trocas gasosas e energéticas entre as feições ou estruturas particularizadas (inclusive objetos, plantas e animais) dispostas na superfície da Terra e o ar que as envolve; ✓ A extensão horizontal dos microclimas pouco tem chamado a atenção dos pesquisadores. Barry (Op. cit.) indica 100 metros, enquanto Yoshino (citado por Oliver & Fairbridge, 1987) adota valores entre 0,1 a 1000 metros e Geiger (1966) aponta que a extensão horizontal da circulação microclimática pode atingir até 10 quilômetros. ✓ Os registros necessários para o estudo dos microclimas devem ser obtidos através de aparelhos de alta sensibilidade e precisão, pois devem ser pesquisadas variações que se projetam em tempo medido em minutos, ou mesmo segundos, a exemplo da determinação de fluxos instantâneos, como as rajadas.

Fonte: Organizado pelo autor. (RIBEIRO, 1993, p. 289 - 293).

Na abordagem escalar do clima, Mendonça e Danni-Oliveira (2007) estabelecem três escalas temporais: a *escala geológica* que envolve fenômenos climáticos que ocorreram desde a formação do Planeta; a *escala histórica* que aborda os fenômenos climáticos associados ao tempo histórico registrado pelo homem; e, a *escala contemporânea* que considera os dados mais atuais, registrados em estações meteorológicas e organizados em séries superiores, preferencialmente, a 30 anos.

Como pôde ser verificado, existem diferentes abordagens sobre o clima e suas escalas de análise, contudo, embora essas diferenças sejam perceptíveis, nos estudos climáticos a adoção de uma perspectiva escalar é imprescindível.

2.3 CLASSIFICAÇÕES CLIMÁTICAS

A compreensão das características climáticas de uma determinada área é um elemento fundamental para o desenvolvimento das diferentes atividades humanas e também para se ter percepção das dinâmicas naturais. Segundo Andrade e Basch (2012), desde a Grécia Antiga, com base em diferentes critérios, foram estruturados esquemas de classificação dos climas do mundo que consideravam as condições dos elementos climáticos como a temperatura e a pluviosidade, ou seus efeitos sobre a vegetação, para definir os limites das unidades climáticas.

No decorrer dos tempos, várias classificações climáticas foram desenvolvidas, cada uma com suas particularidades. De acordo com El Tom (2003), essa variedade surge da complexidade e dos desafios inerentes à definição de um tipo de clima, o que resultou na utilização de diversas técnicas e abordagens para tentar estabelecer as características dos macroclimas.

A elaboração de uma classificação climática tem por finalidade gerar uma sistematização do comportamento dos elementos do clima possibilitando que, através do levantamento e da análise de dados, possam ser geradas informações sobre a realidade ambiental, sobretudo, objetivando fomentar ações e estratégias de planejamento específicas para um determinado recorte espacial (TERASSI, 2013).

Segundo Pitton (1985), a classificação climática oferece uma estrutura para agrupar os componentes do clima em várias escalas, estabelecendo distintos padrões climáticos em todo o planeta.

Para Ayoade (1996), podem ser destacados os objetivos de uma classificação climática:

A finalidade predominante de qualquer sistema de classificação é a obtenção de um arranjo eficiente de informações em uma forma simplificada e generalizada. A

classificação climática tem por objetivo fornecer um arcabouço eficiente para a organização dos dados climáticos e para a compreensão das complexas variações no mundo. Através da classificação climática, os detalhes e as complexidades das estatísticas climáticas mensais e sazonais são condensados em formas mais simples, tornando-se facilmente entendidas. Em resumo, nós classificamos para simplificar, esclarecer e compreender os complexos padrões climáticos do mundo. (AYOADE, 1996, p. 224 – 225).

Ao elaborar uma classificação busca-se um agrupamento das características dos elementos (temperatura do ar, umidade do ar, pressão atmosférica, precipitação etc), possibilitando que na comparação do comportamento desses mesmos elementos em outras áreas seja possível estabelecer, com certa clareza de limites, um padrão, ou seja, possa ser definido um recorte espacial no qual internamente os elementos do clima apresentam-se de forma semelhante, diferenciando-se, dessa maneira, de outras áreas.

Considerando Barry e Chorley (2013), podemos dizer que finalidade de um sistema de classificação climática reside em simplificar e generalizar eficientemente informações, sendo que após análise e organização dos dados estatísticos, esses sistemas auxiliam na identificação dos principais tipos de climas.

Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 113), ao serem estabelecidas classificações climáticas torna-se possível encontrar respostas para questões como:

- ✓ A Terra possui somente um ou vários tipos climáticos?
- ✓ Como se diferenciam os climas do Planeta?
- ✓ Por que existem tipos climáticos diferentes dentro de uma mesma zona climática (por exemplo, climas frios dentro da zona tropical-equatorial)?
- ✓ Quais são os principais tipos climáticos encontrados na superfície da Terra?
- ✓ Quais são suas características principais?

Segundo Torres e Machado (2008), o clima é a síntese singular de todos os elementos climáticos atuando sobre uma certa parcela da superfície e, nesse sentido, podemos encontrar uma rica variedade de climas ou tipos climáticos no Planeta. A classificação climática favorece, portanto, no processo de identificação e mapeamento de regiões climáticas e, para tanto, são utilizados diferentes critérios.

Como ressaltado por Ayoade (1996) estruturar uma proposta de classificação, seja ela climática ou de qualquer outra natureza, é uma tarefa árdua, um exercício difícil. Existem diferentes propostas de classificação climática e é possível verificar que cada autor, mediante a diversidade de elementos do clima, optou por selecionar determinados elementos na construção de sua proposta. A esse respeito, Khan *et al.* (2010) consideram tarefa difícil a de se conceber um sistema adequado de classificação climática por causa da multiplicidade de critérios

adotados por diferentes climatologistas, que os definem de acordo com suas próprias concepções. Comumente, a temperatura do ar e a precipitação pluvial são mais utilizados na classificação do clima de uma área.

No sentido de um melhor entendimento sobre as diferentes propostas de classificações climáticas existentes, podemos agrupá-las em dois modelos ou métodos básicos: o analítico (ou estático) e o genético.

Nas classificações genéticas, os climas agrupam-se de acordo com as suas causas físicas (fatores cósmicos ou geográficos, circulação geral da atmosfera, ...), enquanto que as classificações empíricas assentam na combinação de elementos ou parâmetros climáticos medidos, na maioria dos casos, a temperatura e a precipitação. (ANDRADE; BASCH, 2012, p. 58 – 59).

Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), o analítico ou estático prende-se aos valores médios dos elementos do clima para definir unidades climáticas, trata-se de um método mundialmente difundido pela facilidade em seu uso e simplicidade de aplicação. O método empírico (ou analítico), segundo Andrade e Basch (2012), delimitam as unidades climáticas com base nos valores limites de determinados indicadores, como a vegetação, a aridez, a precipitação etc. O modelo genético, por sua vez, tem por base as contribuições de Maximilian Sorre e Pierre Pédalaborde no desenvolvimento da Climatologia dinâmica, levando em consideração a circulação e a dinâmica atmosférica, pois são origem dos fenômenos climáticos e, conseqüentemente, responsáveis pelas características do clima em escala local.

Considerando as classificações genéticas, Andrade e Basch (2012) destacam, dentre outras, as contribuições de H. Flohn (1957) que propôs um sistema organizado em sete categorias baseado no zoneamento global dos ventos e na sazonalidade da precipitação, e a de Strahler (1969) que, baseado nos mecanismos planetários fundamentais, propôs um sistema com quatorze tipos climáticos. Ainda segundo os autores, dentre os métodos empíricos, merecem destaque as classificações de Budyko (1974) e a de Terjung e Louie (1972), que estão entre as primeiras, e as classificações de Köppen e Thornthwaite, que apresentam uma relação mais direta com a vegetação.

As classificações climáticas, independentemente, de sua abordagem não são isentas de problemas. Uma das principais causas das dificuldades em se classificar o clima relaciona-se ao dinamismo de interações entre os elementos e fatores nos diferentes locais da superfície terrestre.

Com o intuito de um aprofundamento na temática, serão apresentadas, na sequência, diferentes propostas de classificações climáticas.

2.3.1 CLASSIFICAÇÃO DE FLOHN

A classificação climática proposta pelo climatologista alemão Hermann Flohn, foi elaborada em 1950, pode ser considerada um método genético de classificação e adota como critérios as zonas globais de ventos e as características da precipitação. Utilizando esses dois critérios, estabeleceu sete tipos climáticos (Quadro 5).

Quadro 5 - Classificação genética dos climas proposta por Flohn (1950)

<i>TIPO CLIMÁTICO</i>	<i>CARACTERÍSTICA DA PRECIPITAÇÃO</i>
I. Zona equatorial (ventos de oeste)	Constantemente úmida
II. Zona tropical (ventos alísios de inverno)	Precipitação pluvial de verão
III. Zona subtropical seca (ventos alísios ou alta pressão subtropical)	Condições secas predominam durante o ano todo
IV. Zona subtropical de chuva de inverno (tipo Mediterrâneo)	Precipitação de inverno
V. Zona extratropical (ventos de oeste)	Precipitação geral durante o ano todo
VI. Zona subpolar	Precipitação limitada durante o ano todo
VI. Subtipo continental boreal	Precipitação pluvial de verão limitada; precipitação de neve de inverno
VII. Zona polar alta	Precipitação escassa; precipitação pluvial de verão; precipitação de neve no início do inverno

Fonte: Ayoade (1996). Adaptado pelo autor.

Segundo Ayoade (1996), Flohn não considera explicitamente a temperatura em sua classificação climática.

2.3.2 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE STRAHLER

A classificação de Arthur Newell Strahler foi estruturada em 1969, assim como a de Flohn é exemplo de um método genético de classificação e, para muitos, é uma proposta de fácil aplicação, simples e eficaz. Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (1996), Strahler em sua classificação utilizou como critérios os controles climáticos (centros de ação, massas de ar e processos frontológicos) e as características das precipitações. Desse modo, estabeleceu a classificação dos climas do Planeta agrupando-os em três tipos principais, os quais apresentam subdivisões, totalizando 14 regiões climáticas. Aos tipos climáticos, acrescentou ainda o clima

das terras altas que é controlado pelo fator altitude do relevo. A síntese da classificação de Strahler pode ser verificada abaixo, no Quadro 6.

Quadro 6 - Classificação genética do clima proposta por Strahler (1969)

<i>GRUPOS CLIMÁTICOS</i>	<i>SUBTIPOS</i>
1. Climas das latitudes baixas (controlados pelas massas de ar equatoriais e tropicais)	a) Equatorial úmido b) Litorâneo com ventos alísios c) Desértico tropical e de estepe d) Desértico da costa ocidental e) Tropical seco-úmido
2. Climas das latitudes médias (controlados pelas massas de ar tropicais e massas de ar polares)	a) Subtropical úmido b) Marítimo da costa ocidental c) Mediterrâneo d) Desértico de estepe de latitude média e) Continental úmido
3. Climas das latitudes altas (controlados pelas massas de ar polares)	a) Continental subártico b) Marítimo subártico c) Tundra d) Calota de gelo e) Climas de terras altas (ocorrem nas principais terras altas do mundo, como altiplanos e cadeias de montanhas)

Fonte: Ayoade (1996). Adaptado pelo autor.

2.3.3 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN

O sistema de classificação climática de Wilhelm Köppen foi desenvolvido, segundo Ayoade (1996), entre 1900 e 1936, sendo um modelo relativamente simples e muito popular. Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 119), o sistema de Köppen:

É reconhecido como o primeiro a classificar os climas, levando em conta, simultaneamente, a temperatura e a precipitação, porém, fixando limites ajustados à distribuição dos tipos de vegetação. Sua classificação de 1918 é considerada a primeira classificação climática planetária com base científica, sendo ainda hoje a mais utilizada no Brasil e no mundo.

Para a elaboração de sua classificação, Köppen utilizou como referência as zonas de vegetação do mapa feito pelo botânico franco-suíço Alphonse Louis Pierre Pyrame de Candolle, relacionando os tipos de clima aos tipos de vegetação. Ao analisarem a classificação de climática de Köppen, Torres e Machado (2008, p. 122) destacam que:

Embora critérios numéricos sejam usados para definir os tipos climáticos em termos de elementos climáticos (temperatura, precipitação e distribuição sazonal das chuvas), Köppen aceitou a vegetação natural como a melhor expressão do clima. Seu modelo ainda é largamente utilizado e estudado, embora tivesse recebido muitas críticas quanto ao seu caráter empírico, quantitativo e tradicional e ainda por desconsiderar as influências das massas de ar.

Em 1961, segundo Nascimento (2016) a classificação de Köppen foi modificada por Rudolf Geiger, passando a ser nomeada como classificação de Köppen-Geiger, tornando-se o sistema mais empregado em trabalhos científicos e livros didáticos. Nesse sentido, Sanderson (1999) reconhece a necessidade de que novos métodos de classificação sejam desenvolvidos, mas aponta que a classificação de Köppen é a mais utilizada no ensino da temática.

Para Lohmann *et al.* (1993) além da facilidade de sua aplicação, a classificação de Köppen ainda é uma ferramenta útil para estimar a capacidade dos modelos climáticos para reproduzir o clima atual, bem como indicar os impactos das mudanças do clima na biosfera.

A classificação utiliza um conjunto de letras maiúsculas e minúsculas para designar os grupos e os subgrupos climáticos ou ainda as subdivisões que indicam características sazonais especiais.

Sobre o sistema de classificação de Köppen, Karki *et al.* (2015) apontam que a classificação climática de Köppen reconhece cinco principais grupos de climas mundiais que apresentam correspondência aos cinco grupos principais de vegetação. Esses cinco grupos climáticos são: o tropical, o árido, o temperado, o frio e o polar. Cada um desses climas é dividido em subdivisões com base nas diferenças na distribuição sazonal de temperatura e precipitação.

De acordo com Ayoade (1996), Mendonça e Danni-Oliveira (2007) e Torres e Machado (2008), podemos sintetizar a classificação climática de Köppen em 5 tipos climáticos principais, reconhecidos com base na temperatura e designados por letras maiúsculas:

A - climas tropicais chuvosos: não conhecem estação fria, sendo que o mês mais frio tem temperatura média superior a 18°C (megatérmicos). A medida da precipitação pluvial anual é maior que a da evaporação e evapotranspiração.

B - climas secos: caracterizam os tipos áridos e/ou semi-áridos e por terem evaporação e evapotranspiração anuais superiores aos valores das precipitações. A vegetação característica é do tipo desértica ou estepes.

C - climas mesotérmicos: o mês mais frio tem temperatura média entre -3°C e 18°C, de invernos brandos (mesotérmicos). O mês mais moderadamente quente tem temperatura média maior que 10°C.

D - climas frios úmidos: o mês mais frio tem temperatura média abaixo de -3°C e o mês mais moderadamente quente tem temperatura média maior que 10°C (microtérmicos). Corresponde às florestas frias.

E - climas polares: não conhecem estação quente, sendo que o mês mais moderadamente quente tem temperatura média menor que 10°C (equitostérmico). Na variedade ET, a

temperatura média do mês mais moderadamente quente fica entre 0°C e 10°C. Na variedade EF, o mês mais moderadamente quente tem temperatura média menor que 0°C. Aparecem nas grandes latitudes ou nas mais altas montanhas.

A eles acrescenta-se um grupo de climas de terras altas, não diferenciados e representados pelo símbolo H. Cada um dos climas A, B, C, D e E é posteriormente subdividido com a utilização de características adicionais de temperatura e precipitação pluvial, conforme definidos abaixo (Quadro 7):

Quadro 7 - Grupos e subgrupos climáticos propostos na classificação de Köppen

GRUPOS	SUBGRUPOS
<i>A – Climas tropicais chuvosos</i>	Af – Clima tropical chuvoso de floresta Aw – Clima de savana Am – Clima tropical de monção (As) – Clima tropical, quente e úmido, com chuvas de inverno (adaptação do modelo original)
<i>B – Climas secos</i>	BSh – Clima quente de estepe BSk – Clima frio de estepe BWh – Clima quente de deserto BWk – Clima frio de deserto
<i>C – Climas temperados chuvosos e quentes</i>	Cfa – Úmido em todas as estações, verão quente Cfb – Úmido em todas as estações, verão moderadamente quente Cfc – Úmido em todas as estações, verão moderadamente frio e curto Cwa – Chuva de verão, verão quente Cwb – Chuva de verão, verão moderadamente quente Csa – Chuva de inverno, verão quente Csb – Chuva de inverno, verão moderadamente quente
<i>D – Clima frio com neve-floresta</i>	Dfa – Úmido em todas as estações, verão quente Dfb – Úmido em todas as estações, verão frio Dfc – Úmido em todas as estações, verão moderadamente frio e curto Dfd – Úmido em todas as estações, inverno intenso Dwa – Chuva de verão, verão quente Dwb – Chuva de verão, verão moderadamente quente Dwc – Chuva de verão, verão moderadamente frio Dwd – Chuva de verão, inverno intenso
<i>E – Climas polares</i>	ET – Tundra EF – Neve e gelo perpétuos

Fonte: Ayoade (2003 apud Torres e Machado, 2008, p. 124).

As principais categorias (isto é, A, B, C, D, E) estão baseadas principalmente em critérios de temperatura, da seguinte forma:

A – O mês mais frio tem temperatura média superior a 18°C. A isoterma de inverno de 18°C é crítica para a sobrevivência de certas plantas tropicais. A precipitação pluvial anual é maior do que a evapotranspiração anual.

B – A evapotranspiração potencial média anual é maior do que a precipitação média anual. Não existe excedente de água, por isso, nenhum rio permanente origina-se aqui.

C – O mês mais frio tem temperatura média entre -3°C e 18°C. O mês mais moderadamente quente tem uma temperatura média maior do que 10°C. A isoterma de 10°C de verão correlaciona-se com o limite, na direção do polo, do crescimento de árvores, e a isoterma -3°C indica o limite na direção do Equador do *permafrost* (subcamada do solo constantemente gelada).

D – O mês mais frio tem temperatura média abaixo de -3°C, e o mês mais moderadamente quente tem temperatura média maior do que 10°C.

E – O mês mais moderadamente quente tem temperatura média menor do que 10°C. O mês mais moderadamente quente de ET tem temperatura média entre 0°C e 10°C. O mês mais moderadamente quente EF tem temperatura média menor do que 0°C.

As subdivisões de cada uma das principais categorias são feitas de acordo com:

1. a distribuição sazonal da precipitação

f = nenhuma estação seca, úmido o ano todo (A, C e D)

m = de monção, com uma breve estação seca e com chuvas intensas durante o resto do ano (A)

w = chuva no verão (A, C e D)

w': chuvas no verão e outono (adaptação do modelo original)

S = estação seca de verão (B)

W = estação seca de inverno (B)

2. as características adicionais de temperatura

a = verão quente, o mês mais quente tem temperatura média maior que 22°C

b = verão moderadamente quente, o mês mais quente tem temperatura média inferior a 22°C

c = verão breve e moderadamente frio, menos do que quatro meses têm temperatura média maior do que 10°C

d = inverno muito frio, o mês mais frio tem temperatura média menor do que -38°C

Para as regiões áridas (BW e BS) são utilizados:

h = quente, temperatura média anual maior do que 18°C

k = moderadamente frio, temperatura média anual menor do que 18°C

Em relação a essa proposta de classificação, Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 121

– 122) indicam que:

Apesar dos méritos da grande aceitação pela simplicidade e facilidade de uso, a classificação de Köppen recebe críticas pelo caráter empírico do seu modelo, por não justificar o uso de alguns critérios numéricos, ou pelo uso de critérios rígidos de limites climáticos e pela ausência de uma categoria climática subúmida.

2.3.4 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE THORNTWAITE

Publicada em 1948, após alteração de sua proposta inicial que havia sido publicada em 1933, a classificação climática de Charles Warren Thornthwaite, segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), assemelha-se ao sistema de classificação proposto por Köppen por seu caráter quantitativo e utilização de símbolos e fórmulas, contudo, sem utilizar valores absolutos de umidade e temperatura como critérios na delimitação dos tipos climáticos.

A classificação climática de Thornthwaite tem como base o conceito de evapotranspiração potencial, de balanço hídrico e de um índice de umidade que, de acordo com Ayoade (1996), deriva de dados puramente climáticos.

Segundo Torres e Machado (2008, p. 141), o conceito de Evapotranspiração Potencial (EP) foi introduzido por Thornthwaite como sendo “a quantidade de água que seria perdida pelo solo por evaporação e por transpiração, se este tivesse um fornecimento contínuo e ilimitado de água”, podendo ser calculada com base na temperatura média e na duração do dia, através da equação:

$$EP = 16 Ni (10 Ti / I)^a \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo:

Ti = temperatura média do mês i ;

Ni = fator de ajustamento baseado no número diário de horas de luz;

$I = \sum(Ti / 5)1.514$;

$a = / 3(6,75 \times 10^{-7}) - / 2(7,71 \times 10^{-5}) + / (1,792 \times 10^{-2}) + 0,49239$.

Para a obtenção do índice de umidade, considerada como um índice de energia disponível, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$Im = \frac{100S - 60D}{EP} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

S = excedente de água anual

D = deficiência de água anual

EP = evapotranspiração potencial anual

Utilizando como referência os dois índices, Thornthwaite elaborou a delimitação dos diferentes tipos climáticos. Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 122), “uma revisão posterior (THORNTWAITE & MATHER, 1955) levou em conta a diversidade do

armazenamento de umidade no solo, segundo a cobertura vegetal e o tipo de solo, denominada pelos autores de retenção de umidade do solo”.

Ainda segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), embora o modelo de classificação climática de Thorntwaite seja largamente utilizado em muitos setores, como a Agricultura, recebe várias críticas, principalmente pela dificuldade de manejo e por carecer de um refinamento matemático.

Em Ayoade (1996, p. 237; 238) é possível verificar uma síntese da proposta de classificação climática (Tabela 1 e Tabela 2):

Tabela 1- Tipo de umidade climática e índice de umidade da classificação climática de Thorntwaite

<i>TIPO DE UMIDADE CLIMÁTICA</i>		<i>ÍNDICE DE UMIDADE</i>
A	Superúmido	acima de 100
B4	Úmido	de 80 a 100
B3	Úmido	de 60 a 80
B2	Úmido	de 40 a 60
B1	Úmido	de 20 a 40
C2	Subúmido chuvoso	de 0 a 20
C1	Subúmido seco	de -33,3 a 0
D	Semi-árido	de -66,7 a -33,3
E	Árido	de -100 a -66,7

Fonte: (AYOADE, 1996, p. 237).

Tabela 2 - Eficiência térmica e sua concentração no verão da classificação climática de Thorntwaite

<i>EFICIÊNCIA TÉRMICA</i>		<i>CONCENTRAÇÃO NO VERÃO</i>	
<i>TIPO</i>	<i>EP (CM)</i>	<i>TIPO</i>	<i>CONCENTRAÇÃO (%)</i>
A' Megatérmico	acima de 114	a'	abaixo de 48,0
B'4 Mesotérmico	de 99,7 a 114,0	b'4	de 48,0 a 51,9
B'3 Mesotérmico	de 85,5 a 99,7	b'3	de 51,9 a 56,3
B'2 Mesotérmico	de 71,2 a 85,5	b'2	de 56,3 a 61,6
B'1 Mesotérmico	de 57,0 a 71,2	b'1	de 61,6 a 68,0
C'2 Microtérmico	de 42,7 a 57,0	c'2	de 68,0 a 76,3
C'1 Microtérmico	de 28,5 a 42,7	c'1	de 76,3 a 88,0
D' Tundra	de 14,2 a 28,5	d'	acima de 88,0
E' Geada	abaixo de 14,2		

Fonte: (AYOADE, 1996, p. 237).

A adequação sazonal da umidade é determinada para os climas úmidos pelos valores do índice de aridez:

$$\frac{D}{EP} \times 100 \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

D = o déficit de água;

EP = evapotranspiração potencial.

A adequação sazonal da umidade para os climas secos é determinada pelos valores da umidade:

$$\frac{S}{EP} \times 100 \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

S = excedente de água;

EP = evapotranspiração potencial.

Na Tabela 3 é possível observar a síntese das informações de adequação sazonal da umidade para os climas secos.

Tabela 3 - Adequação sazonal de umidade da classificação climática de Thorntwaite

<i>CLIMAS ÚMIDOS (A, B, C²)</i>		<i>ÍNDICE DE ARIDEZ</i>
r	Pouco ou nenhum déficit hídrico	0 – 10
s	Déficit moderado de verão	10 – 20
w	Déficit moderado de inverno	10 – 20
s₂	Grande déficit de verão	acima de 20
w₂	Grande déficit de inverno	acima de 20
<i>CLIMAS SECOS (C, D, E)</i>		<i>ÍNDICE DE UMIDADE</i>
d	Pequeno ou nenhum excedente de água	0 – 16,7
s	Excedente moderado de inverno	16,7 – 33,3
w	Excedente moderado de verão	16,7 – 33,3
s₂	Grande excedente de inverno	acima de 33,3
w₂	Grande excedente de verão	acima de 33,3

Fonte: (AYOADE, 1996, p. 238).

2.3.5 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE BAGNOULS E GAUSSEN

Segundo Torres e Machado (2008), Henri Gaussen propõe a utilização de um índice de aridez e, de forma paralela, a elaboração de um diagrama ombrotérmico que leva em consideração os valores de precipitações e as temperaturas mensais. Com base nessas referências, Bagnouls e Gaussen estruturaram uma classificação empírica com propósito biológico, aplicável a nível mundial.

Para Gaussen, segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), o mês é considerado seco quando o total pluviométrico mensal for igual ou inferior ao dobro da temperatura média do mês. Através da aplicação da fórmula (Equação 4), obtém-se o índice de aridez ou índice xerotérmico, a partir do qual, pode ser elaborado um gráfico conhecido como curva ombrotérmica.

$$P < 2T \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde:

P = precipitação;

T = temperatura.

De acordo com Torres e Machado (2008) a aridez está relacionada a escassez ou deficiência de água para as plantas, os animais e os seres humanos. Contudo o conceito representa mais do que a falta de chuva, implica em relacionar a precipitação à evaporação, ou melhor, a evapotranspiração. Nesse sentido, os autores indicam que são consideradas também duas outras fontes de água (o orvalho e o nevoeiro) e o estado higrotérmico do ar. A partir dessas considerações, obtém-se o índice xerotérmico, que corresponde ao número de dias

biologicamente secos no período seco. Ainda segundo Torres e Machado (2008, p. 126), a determinação do índice xerotérmico é feita da seguinte maneira:

1 - Para melhor se apurar a importância da chuva considera-se o número de dias sem chuva (P).

2 - Para corrigir os dias sem chuva (P) da influência da umidade atmosférica multiplica-se P pelo coeficiente:

$$K = \frac{230-H}{200} \quad (\text{Equação 5})$$

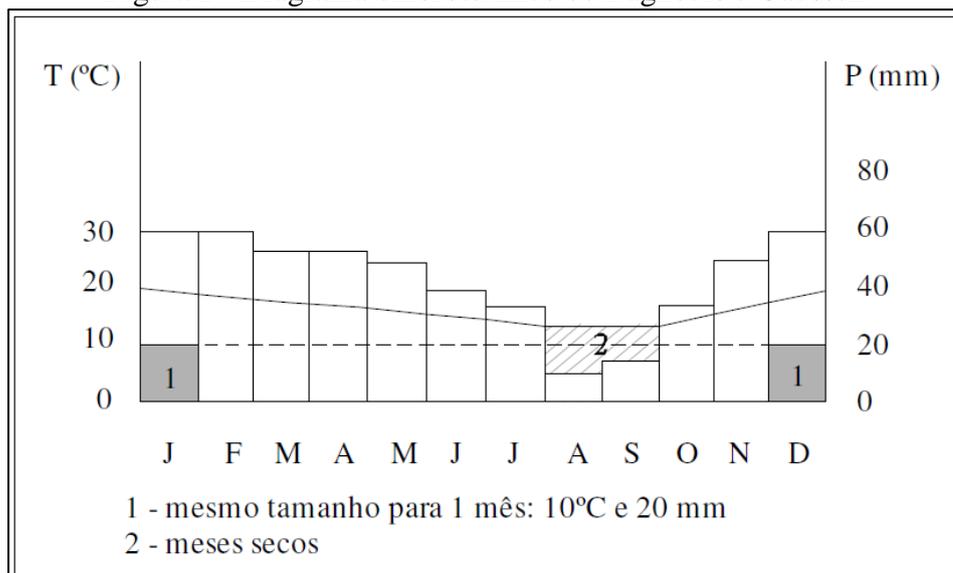
Onde, H é a umidade relativa. Este coeficiente varia de 1 ($H = 30\%$) a 0,65 ($H = 100\%$). No primeiro caso o ar é excessivamente seco para que a umidade seja utilizada pelas plantas, daí o dia ser contado como seco. No segundo caso o ar está saturado e o dia é contado como meio dia seco.

No diagrama ombrotérmico são evidenciadas as variações da precipitação e das temperaturas. Baseados em Bagnouls e Gaussen (1957), Torres e Machado (2008, p. 126; 127) apresentam um roteiro para a construção do diagrama:

- 1 – Na abscissa (eixo horizontal) são representados os meses, nas ordenadas (eixos verticais) a temperatura em °C (à esquerda) e a precipitação pluviométrica (à direita);
- 2 – A escala da temperatura deve ser o dobro da escala da precipitação;
- 3 – Para garantir a comparabilidade dos gráficos devem ser observados:
 - ✓ o mesmo comprimento para representar 1 mês, 10°C e 20mm;
 - ✓ nas abscissas, começar pelo mês de janeiro no Hemisfério Norte e pelo de julho no Hemisfério Sul. (Em geral, não se observa esta recomendação de se começar o ano pelo mês de julho no Hemisfério Sul).

Os meses em que a coluna das precipitações estiver sob a curva térmica, vale dizer, quando $P \leq 2T$, são considerados secos (período biologicamente seco), Figura 2.

Figura 2 - Diagrama ombrotérmico de Bagnouls e Gausсен



Fonte: Ribeiro e Le Sann (1985 apud Torres e Machado, 2008, p. 127).

Ainda segundo Torres e Machado (2008) quando não estão disponíveis outros dados além da precipitação e da temperatura, pode-se utilizar apenas o critério de meses secos para classificar o clima, dispensando, portanto, a necessidade de cálculo do índice xerotérmico.

A classificação de Bagnouls e Gausсен propõe a divisão do globo em 12 grandes regiões climáticas, cujas características foram designadas pelo uso de denominações gregas, conforme pode ser verificado na Quadro 8.

Quadro 8 - Terminologia usada na classificação de Bagnouls e Gausсен

<i>RAÍZES GREGAS</i>	<i>DERIVADOS</i>	<i>SIGNIFICADOS</i>
Ómbros	Ombro	Chuva
Xero	Xeoro (thérique)	Secura
Eremitas	Ere (mique)	Solitário
Thérme	Termo	Calor, temperatura
Mésos	Meso (a)	Intermediário
Bis	Bi	Duas vezes
Ôros	Oro	Montanha
Hygíos	Higro	Úmido
Kryos	Crio	Gelo
Hemi	Hemi	Pela metade
A	A	Privação

Fonte: Adaptado (TORRES E MACHADO, 2008, p. 128).

A síntese da classificação de Bagnouls e Gausсен pode ser verificada na Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação climática proposta por Bagnouls e Gaussen
CLIMA QUENTES E TEMPERADOS QUENTES: TÉRMICOS E MESOTÉRMICOS

A CURVA TÉRMICA É SEMPRE POSITIVA

Região	Sub-região	Modalidade	Classes	Índice	Meses secos
1 Erêmica (desértica quente)	Verdadeiro deserto	Sem chuva no ano todo	1 a	>350	12
	Tendência mediterrânea	Chuvas de inverno	1 b	>350	
	Tendência tropical	Chuvas de verão	1 c	350>x>200	
	Tênu	Chuvas sem sazonalidade	1 d	350>x>200	
2 Hemierêmica (sub-desértica quente)	Tendência mediterrânea	Chuvas de inverno	2 a	300>x>200	9-11
	Tendência tropical	Chuvas de verão	2 b		
	Tênu	Chuvas sem sazonalidade	2 c		
3 Xerótica (Mediterrâneo)	Xerotermomediterrânea	Acentuado	3 a	200>x>150	7-8
	Termomediterrânea	Médio	3 b	150>x>100	6
	Mesomediterrânea	Tênu	3 c	100>x>40	3-4
	Submediterrânea	Transicional	3 d	40>x>0	1-2
4 Xeroquimênica (Tropical)	Termoxeroquimênica	Acent. (mês mais frio T>150C)	4a Th	200>x>150	7-8
	Mesoxeroquimênica		4a Mes	200>x>150	7-8
	Termoxeroquimênica	Acent. (mês mais frio T<150C)	4b Th	150>x>100	5-6
	Mesoxeroquimênica		4b Mes	150>x>100	5-6
	Termoxeroquimênica	Médio (mês mais frio T>150C)	4c Th	100>x>40	3-4
	Mesoxeroquimênica		4c Mes	100>x>40	3-4
	Subtermoxérica	Médio (mês mais frio T<150C)	4d Th	40>x>0	1-2
	Submesoxérica		4d Mes	40>x>0	1-2
		Tênu (mês mais frio T>150C)			
		Tênu (mês mais frio T<150C)			
		Transit. (mês mais frio T>150C)			
		Transit. (mês mais frio T<150C)			
5 Bixérica (2 estações secas)	Bixérica hemierêmica	Subdesértica	2 c	300>x>200	9-11
	Termobixérica	Acent. (mês mais frio T>150C)	5a Th	200>x>150	7-8
	Mesobixérica		5a Mes	200>x>150	7-8
	Termobixérica	Acent. (mês mais frio T<150C)	5b Th	150>x>100	5-6
	Mesobixérica		5b Mes	150>x>100	5-6
	Termobixérica	Médio (mês mais frio T>150C)	5c Th	100>x>40	3-4
	Mesobixérica		5c Mes	100>x>40	3-4
	Subtermoxérica	Médio (mês mais frio T<150C)	5d Th	40>x>0	1-2
Submesoxérica		5d Mes	40>x>0	1-2	

		Tênue (mês mais frio T>150C) Tênue (mês mais frio T<150C) Transit. (mês mais frio T>150C) Transit. (mês mais frio T<150C)			
6 Termoxérica	Eutermoxérica (equatorial) Hipotermoxérica (subequatorial)	T mês mais frio>20° T mês mais frio entre 15° e 20°	6a 6b	0	0
7 Mesoxérica	Eumesoxérica (temperada quente) Hipomesoxérica (temperada)	T mês mais frio entre 10° e 15° T mês mais frio entre 0° e 15°	7a 7b	0	0

CLIMAS FRIOS E TEMPERADOS FRIOS: ÚMIDOS, SEMI-ÚMIDOS E SECOS

A CURVA DA TÉRMICA COMPREENDE VALORES NEGATIVOS SAZONALMENTE

8 Erémica (desértica fria)	Verdadeiro deserto Verdadeiro deserto Deserto	Alguns anos sem precipitação Sem acumulação de neve Com alguma acumulação de neve	8 a 8 b 8 c		11-12
9 Hemierémica (subdesértica fria)		Modalidade única	9		9-10
10 Xerótica (verões secos)	Oroxerótica (mont.) Oroxerótica (mont.) Oroxerótica (mont.) Submediterrânica	Acentuado Médio Tênue Transicional	10 a 10 b 10 c 10 d		7-8 5-6 3-4 1-2
11 Áxérica fria	Muito fria Fria Oceânica Fria Continental Fria Hipercontinental Fria Orohigrotérica (de montanha) Medianamente Fria Oceânica Medianamente Fria Continental Medianamente Fria Hipercontinental Medianamente	Mais de 8 meses de gelo De 6 a 8 meses de gelo De 4 a 6 meses de gelo De 4 a 6 meses de gelo	11 a 11 b Oc 11 b Ct 11 b Htc 11 b Mt 11 c Oc 11 c Ct 11 c Hct 11c Mt		

	Fria Orohigrotérica Temperada fria	Menos de 4 meses de gelo	11 d		
CLIMA GELADO					
MÉDIA TÉRMICA SEMPRE NEGATIVA					
12 Criomérica		O período frio dura todo o ano	12		12 (gelo)

Fonte: Adaptado (TORRES E MACHADO, 2008, p. 128 - 130).

2.3.6 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE NIMER

Em 1972, o climatólogo Edmon Nimer elaborou, segundo Terassi *et al.* (2013), uma classificação climática que, ao utilizar os valores de temperatura do ar e precipitação pluviométrica, delimita o clima de uma forma quantitativa, mas por considerar a circulação atmosférica e a quantidade de meses secos, faz também uma análise qualitativa. Pode-se dizer que na estruturação do método classificação climática de Nimer foram considerados, ao mesmo tempo, elementos da climatologia genética e da climatologia analítica.

Para Terassi *et al.* (2013, p. 118; 119), o sistema proposto por Nimer é composto por três partes:

1 – Delimitação em conformidade com a variedade térmica, na qual se utilizam as isotermas referentes às médias mensais do mês mais frio: Clima quente para média superior a 18°C em todos os meses; Clima subquente para média entre 15°C e 18°C em pelo menos 1 mês; Clima mesotérmico, brando para média entre 10°C e 15°C; Clima mesotérmico, médio para média menor que 10°C.

2 – Classificação quanto ao maior ou menor grau de umidade, considerando-se a existência ou não de estação seca ou de estação subseca. Para a estação seca, classifica-se qualquer mês cujo total de precipitação em milímetros é igual ou inferior ao dobro da temperatura média em °C ($P \leq 2T$). Para a determinação de subseca os dados devem cumprir dois requisitos básicos. Primeiro, os locais estudados não devem possuir sequer um mês seco. A localidade cumprindo a primeira exigência, deve ainda, num segundo momento, apresentar os meses em que $P \leq 3T$, que são considerados subsecos. Sendo assim, o método classificatório segue a seguinte hierarquia: Clima superúmido quando não há seca; Clima superúmido com subseca; Clima úmido com 1 a 2 meses secos; Clima úmido com 3 meses secos; Climas semiúmido com 4 a 5 meses secos; Clima semiárido brando: com 6 meses secos; Clima semiárido, mediano com 7 a 8 meses secos; Clima semiárido forte com 9 a 10 meses secos; Clima semiárido, muito forte, ou quase desértico com 11 meses secos; Clima desértico com 12 meses secos.

3 – Em virtude das dificuldades em se encontrar os verdadeiros limites destes climas, o terceiro componente do sistema classificatório busca o apoio no entendimento da circulação atmosférica, análise do regime da distribuição das chuvas e temperatura durante as estações, relacionando com suas fontes dinâmicas de origem. Esta terceira variável foi determinada a partir de pressupostos teóricos provenientes de revisão bibliográfica.

Nimer e Brandão, em 1985, aplicam o sistema de Thornthwaite (1948) para o território brasileiro com adaptações que levaram em consideração às características tropicais do Brasil. Nessa proposta de adaptação, os principais valores climáticos são estabelecidos com base no índice de umidade efetiva (Im), eficiência termal anual (Et), índice de aridez (Ia) e na concentração da eficiência termal do verão (CETv) (TERASSI *et al.*, 2013).

Na Tabela 5 temos uma síntese da classificação de Nimer e Brandão de 1985, organizada de acordo com os tipos climáticos e seus respectivos critérios de definição. Segundo Terassi *et al.* (2013), para o estabelecimento dos tipos climáticos são utilizadas duas chaves de classificação, a primeira chave é o índice de umidade (Im), determinado pela relação entre o excedente hídrico (EXC), deficiência hídrica (DEF) e a evapotranspiração potencial anual (EP) conforme a Equação 6; a segunda chave, é determinada pela eficiência termal (Et), que é quantificada pela evapotranspiração potencial anual (EP).

$$Im = \frac{(EXC*100)-(DEF*60)}{EP} \quad \text{Equação (6)}$$

Tabela 5 - Tipos climáticos, seus intervalos e simbologia, conforme Nimer e Brandão (1985)

Im (%)	Símbolo	Tipo de Clima	Et (mm)	Símbolo	Tipo de Clima
> 160	A ₄	Quarto Superúmido	> 1710	A' ₅	Quinto Megatérmico
160 a 140	A ₃	Terceiro Superúmido	1567 a 1710	A' ₄	Quarto Megatérmico
140 a 120	A ₂	Segundo Superúmido	1425 a 1567	A' ₃	Terceiro Megatérmico
120 a 100	A ₁	Primeiro Superúmido	1282 a 1425	A' ₂	Segundo Megatérmico
100 a 80	B ₄	Quarto Úmido	1140 a 1282	A' ₁	Primeiro Megatérmico
80 a 60	B ₃	Terceiro Úmido	997 a 1140	B' ₄	Quarto Mesotérmico

60 a 40	B_2	Segundo Úmido	855 a 997	B'_3	Terceiro Mesotérmico
40 a 20	B_1	Primeiro Úmido	712 a 855	B'_2	Segundo Mesotérmico
20 a 0	C_2	Subúmido Úmido	570 a 712	B'_1	Primeiro Mesotérmico
0 a - 20	C_1	Subúmido Seco	427 a 570	C'_2	Segundo Microtérmico
-20 a -40	D	Semi-árido	285 a 427	C'_1	Primeiro Microtérmico
-40 a -60	E	Seco	142 a 285 <142	D' E'	De Tundra De Gelo

Fonte: (TERASSI *et al.*, 2013, p. 118).

O índice de aridez (Ia) é utilizado como primeira subchave de classificação climática, sendo determinado pela relação entre os totais anuais de deficiência da água e da evapotranspiração potencial através da Equação 7. A segunda subchave é a concentração da eficiência termal do verão (CETv), determinada pela evapotranspiração potencial concentrada no verão. Essas subchaves são utilizadas para a definição dos subtipos climáticos conforme a Tabela 2.3.6.2 (TERASSI *et al.*, 2013).

Tabela 6 - Subtipos climáticos, seus intervalos e simbologia, conforme Nimer e Brandão (1985)

Índice de Aridez (%)	Significado e Símbolo		CETv (%)	Símbolo
0	Nenhum déficit de água	r_1	< 48	a'
0 a 16,7	Pouco déficit de água	r_2	48 a 51,9	b'_4
16,7 a 33,3	Moderada deficiência de água no verão	s	51,9 a 56,3	b'_3
16,7 a 33,3	Moderada deficiência de água no inverno	w	56,3 a 61,6	b'_2
> 33,3	Grande deficiência no verão	s_2	61,6 a 68	b'_1
> 33,3	Grande deficiência no inverno	w_2	68 a 76,3	c'_2
			76,3 a 88	c'_1
			> 88	d'

Fonte: (TERASSI *et al.*, 2013, p. 118).

2.4 BREVE HISTÓRICO DE CLASSIFICAÇÕES CLIMÁTICAS APLICADAS AO TERRITÓRIO BRASILEIRO

No contexto nacional, podemos destacar o esforço de vários pesquisadores na construção de classificações climáticas. Tão importante quanto a proposição de novas técnicas

e métodos de classificação climática como contribuição para o avanço da ciência é retomar as raízes da construção dos métodos existentes, que fundamentalmente serviram de base e inspiração para o avanço da climatologia no âmbito nacional. Nesse sentido, serão destacadas algumas contribuições históricas para a classificação climática do Brasil.

Entre os trabalhos que podem ser citados está a proposta de Henrique Morize, que teve uma primeira versão apresentada em 1889 e, posteriormente revisada em 1922. Em sua classificação levou em consideração os critérios e conceitos da classificação de Köppen em relação aos valores médios de temperatura, a sazonalidade e os totais de precipitação. Utilizando dados climáticos de 106 estações, Morize estabeleceu três unidades climáticas com suas subdivisões (SANT'ANNA NETO, 2001; SANT'ANNA NETO, 2003; NASCIMENTO *et al.*, 2016). Uma síntese da classificação climática de Morize (1922) pode ser verificada no Quadro 9.

Quadro 9 - Classificação climática de Morize (1922)

CLIMA	TEMPERATURA ANUAL	TIPO	LOCALIZAÇÃO
Equatorial	> 25° C	Superúmido	Amazônia
		Úmido continental	Interior do Norte
		Semiárido	Nordeste
Subtropical	Entre 20° C e 25° C	Semiúmido marítimo	Litoral oriental
		Semiúmido de altitude	Altiplanos centrais
		Semiúmido continental	Interior do Brasil
Temperado	Entre 10° C e 20° C	Superúmido marítimo	Litoral meridional
		Superúmido/latitudes médias	Planícies do interior do Sul
		Semiúmido das altitudes	Locais de grande altitude

Fonte: Adaptado de Sant'Anna Neto (2001).

Segundo Nascimento *et al.* (2016), a proposta elaborada por Morize é considerada um marco, pois Morize reuniu um conjunto expressivo de séries de dados registrados por diversas estações no território e, a partir de então, promoveu análises das características dos climas do país.

Outra importante contribuição para a climatologia brasileira foi dada por Carlos Delgado de Carvalho que, em 1917, influenciado por De Martonne que, segundo Sant'Anna Neto (2001, p. 14) “não só admitia uma concepção geográfica do clima, como se mostrava muito crítico em relação aos estudos que lançavam mão das normais médias dos elementos meteorológicos”, propôs uma classificação climática para o Brasil. Sua obra estruturava-se em três partes: a primeira, discorria de forma teórica sobre os elementos e fatores climáticos no Hemisfério Sul; a segunda, contextualizava a variabilidade, a sazonalidade e a distribuição dos

fatores meteorológicos; e a terceira, trazia sua proposta de classificação climática (SANT’ANNA NETO, 2003; NASCIMENTO *et al.*, 2016).

“A classificação climática proposta por Delgado de Carvalho, apesar de aparente similaridade com aquela proposta por Morize, foi bastante conflitante, principalmente no que se refere aos limites dos climas tropicais, subtropicais e temperados [...]” (SANT’ANNA NETO, 2003, p. 19).

A classificação de Delgado de Carvalho estabelece três tipos de climas subdivididos em tipos climáticos (Quadro 10).

Quadro 10 - Classificação climática de Delgado de Carvalho (1917)

CLIMAS	TIPOS	REGIÃO
Equatorial e Subequatorial	Superúmido	Amazônia
	Semiárido	Nordeste
Tropical e Subtropical	Semiúmido marítimo	Litoral oriental
	Semiúmido de altitude	Planaltos centrais
	Semiúmido continental	Interior
Temperados	Superúmido marítimo	Litoral meridional
	Semiúmido de altitude média	Planície riograndense
	Semiúmido de altitude	Planaltos do sul

Fonte: Adaptado de Sant’Anna Neto (2001).

Embora semelhante à proposta de Morize, como já exposto anteriormente, a classificação de Delgado de Carvalho apresentava um caráter mais meteorológico, pois subdividia os tipos de clima com delimitações que contemplavam feições regionais, levando em consideração aspectos termopluiométricos e traços gerais da circulação atmosférica (SANT’ANNA NETO, 2001).

Com formação médica, Afrânio Peixoto, em 1938, com uma base ideológica possibilista, analisou as adaptações nas relações entre a sociedade e a natureza sob as influências climáticas. Destacou-se como nenhum dentre médicos e sanitaristas brasileiros, na interpretação das relações entre o clima, o homem e a cultura. Segundo Sant’Anna Neto (2003, p. 23) “Peixoto foi um ardoroso defensor do mundo tropical contra o preconceito dos detratores deste ambiente, que apregoavam a ‘natural’ inferioridade dos povos da zona tórrida”.

Em sua obra *Clima e Saúde*, analisou as condições climáticas associadas às enfermidades demonstrando que outros elementos, como higiene e salubridade, estariam mais relacionados a questões de saúde do que propriamente o clima, desconstruindo, em certa medida, a visão preconceituosa sobre as “doenças tropicais” (SANT’ANNA NETO, 2003).

Precursor, então, da Geografia Médica no Brasil, Peixoto propôs uma classificação climática em que distingue três tipos climáticos para o território brasileiro (NASCIMENTO, *et al.*, 2016). No Quadro 2.4.3, está organizada a classificação proposta por Afrânio Peixoto (1942).

Quadro 11 - Síntese da classificação climática de Afrânio Peixoto (1942)

CLIMAS	TIPOS (GERAIS)	REGIÃO
Equatorial	Quente e úmido	Alto Amazonas
	Quente e subúmido	Interior dos estados do Norte (PA, MA e MT)
	Sub-quentes e úmidos	Litoral dos estados do Norte e Nordeste
Tropical	Litorâneo	Litoral da BA e SE
	Litorâneo quente e úmido	Litoral da BA, ES e RJ
	Continental	Vale do Paraguai (MT/MS)
	Altitude	Regiões elevadas da BA, MG, ES, RJ e SP
Temperado	Litorâneo	Litoral de SP, PR, SC e RS
	Continental e de altitude	Estados de SP, PR, SC e RS

Fonte: Adaptado de Sant'Anna Neto (2001).

Na Figura 3 temos mais uma importante contribuição que até hoje é bastante utilizada nos livros didáticos e atlas geográficos. Reunindo informações de temperatura, precipitação e padrões da distribuição das precipitações nas diferentes estações do ano, Lysia Bernardes apresentou, em 1951, uma proposta de classificação dos climas brasileiros que estabeleceu cinco zonas climáticas: Equatorial, Tropical Zona Equatorial, Tropical Nordeste Oriental, Tropical Brasil Central e Temperado (NASCIMENTO *et al.*, 2016).

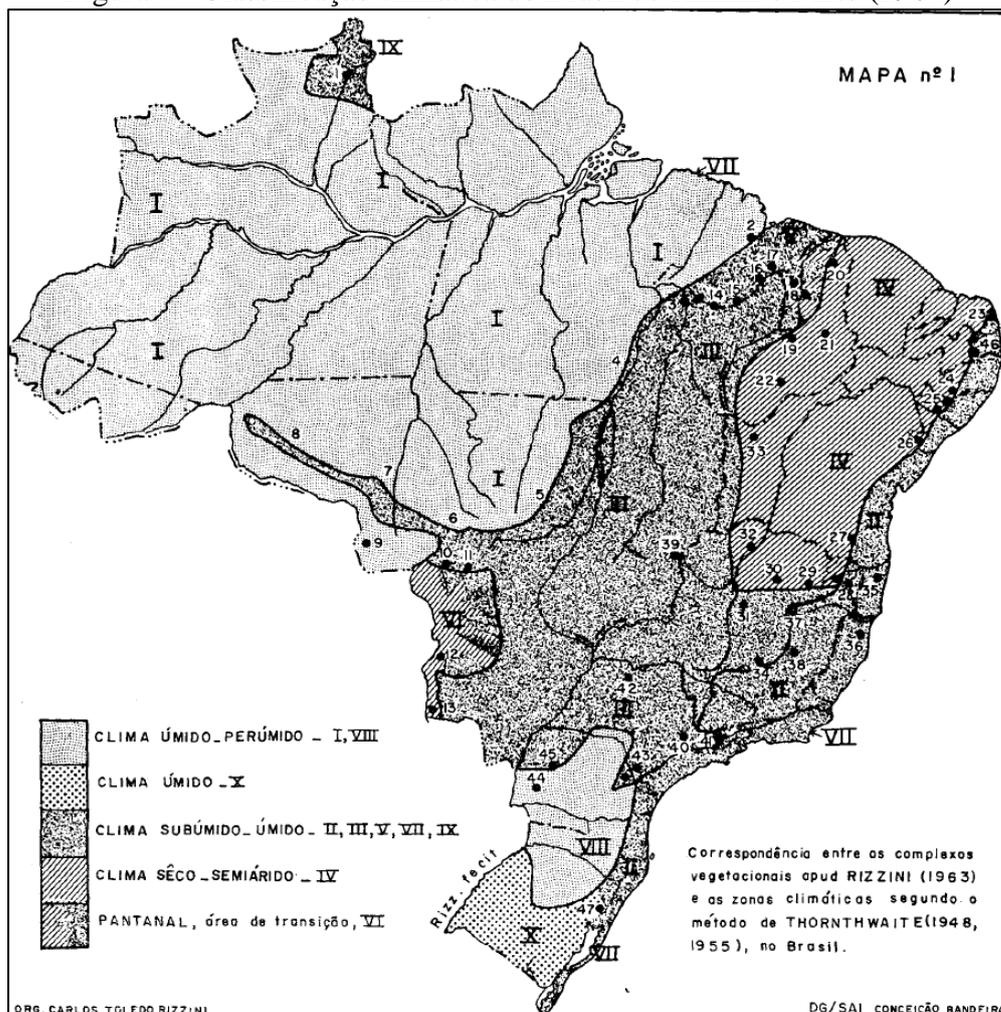
Figura 3 - Classificação climática de Bernardes (1951)



Fonte: IBGE, Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br>>. Acesso em: 06/01/2023.

Em 1964, foi divulgada a proposta de classificação dos climas brasileiros elaborada por Rizzini e Pinto. Nessa proposta os autores estabeleceram cinco tipologias climáticas: úmido-perúmido, úmido, subúmido, seco-semiárido e a área de transição do Pantanal, como pode ser verificado na Figura 4. Para a delimitação das unidades climáticas, os autores basearam-se no método de Thornthwaite (1964) e no sistema de Mohr e Baren (1954), sendo que este último distinguia clima atmosférico de clima edáfico e para delimitar as áreas climáticas utilizava como referência a contagem dos meses secos (menos de 60 mm de chuva) em cada ano (RIZZINI; PINTO, 1964).

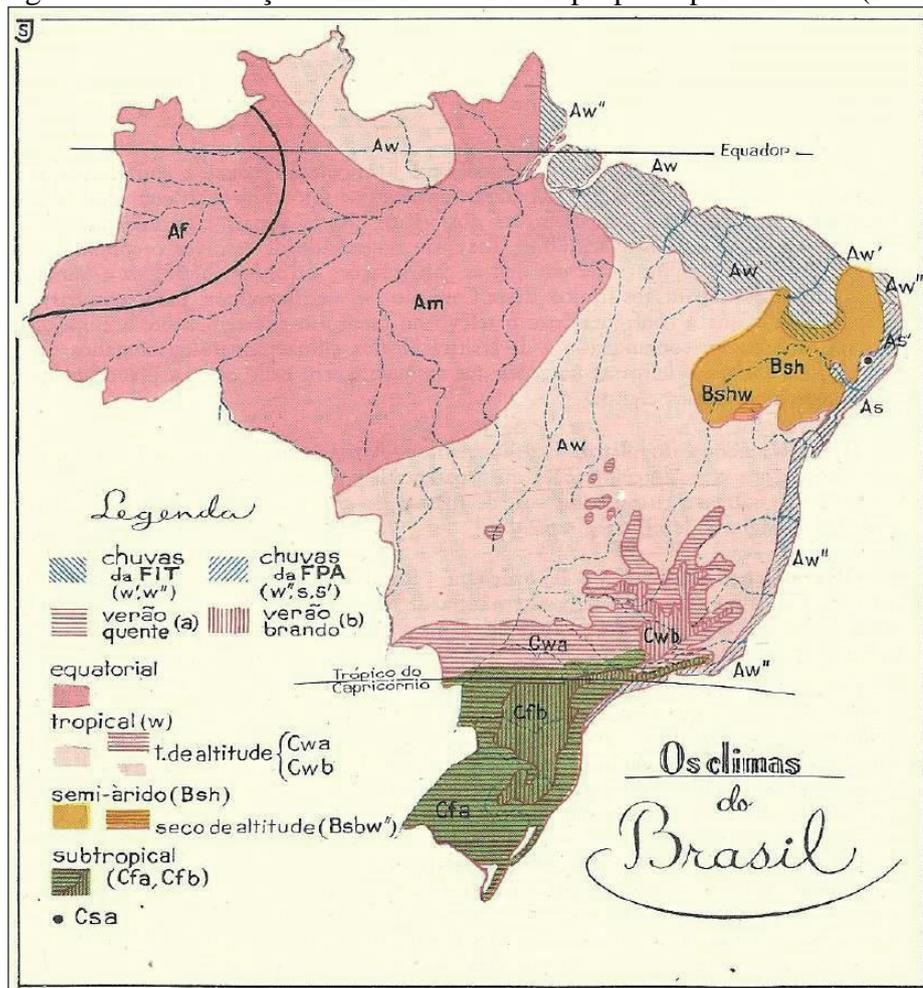
Figura 4 - Classificação climática do Brasil de Rizzini e Pinto (1964)



Fonte: (RIZZINI E PINTO, 1964, p. 42).

Em 1972, Gilberto Osório de Andrade elaborou a primeira empreitada de estabelecer uma classificação climática de base genética para o Brasil. Em sua proposta, a relação entre a atuação das massas de ar e os padrões precipitação foram fundamentais para a distinção dos climas no território brasileiro. Segundo Nascimento *et al.* (2023), pode-se dizer que a classificação dos climas feita por Andrade baseou-se no método empírico da classificação de Köppen-Geiger e incorporou considerações sobre a influência das massas de ar, fazendo com que seja considerada uma das primeiras classificações genéticas realizadas para o Brasil (Figura 5).

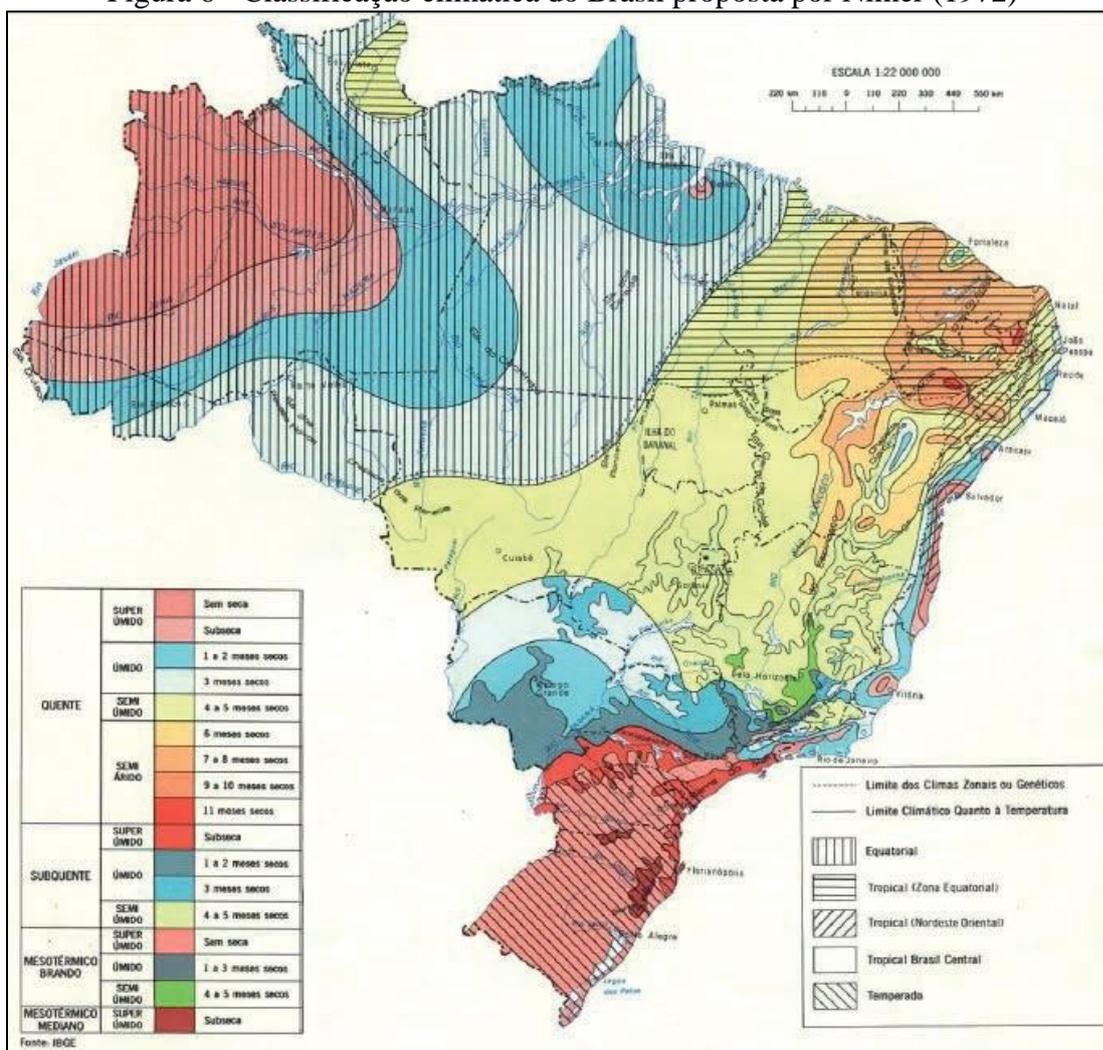
Figura 5 - Classificação Climática do Brasil proposta por Andrade (1972)



Fonte: Zavattini e Fratianni (2012).

Por último, mas sem faltar as classificações climáticas que historicamente foram sendo propostas para o Brasil, temos a proposta de classificação climática de Nimer (1972), que é utilizada oficialmente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O método utilizado nessa classificação combina critérios quantitativos e qualitativos e se baseia em três aspectos principais: 1) gênese climática, que analisa os padrões de circulação atmosférica e como as chuvas e as temperaturas se distribuem ao longo das estações, relacionando-os à origem do sistema atmosférico que influencia as condições pluviotérmicas; 2) frequências de temperatura, que utiliza médias de valores extremos de temperatura para definir diferentes regiões térmicas; 3) umidade e vegetação natural, que considera o número de meses secos e o tipo de vegetação predominante, o que permite categorizar as regiões de acordo com o grau de umidade (NASCIMENTO *et al.* (2023).

Figura 6 - Classificação climática do Brasil proposta por Nimer (1972)



Fonte: IBGE <http://biblioteca.ibge.gov.br>.

Em síntese, o método de classificação de Nimer aborda a diversidade climática do Brasil com base em dados quantitativos e qualitativos, considerando a temperatura, precipitação, estação seca e circulação atmosférica para classificar e diferenciar os climas em todo o país.

3. APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD) é uma bacia de domínio federal¹, situa-se na região Sudeste do Brasil, integrando a região hidrográfica do Atlântico Leste (Figura 5). Segundo Cupolillo (2008) sua área de drenagem é de aproximadamente 83.400 km², 86% dessa área está localizada em Minas Gerais e 14% no estado do Espírito Santo. Seu curso tem um comprimento total de 853 km e em sua área total, estão inseridos 230 municípios, dos quais 202 estão em Minas Gerais e 28 no Espírito Santo (CUNHA, 2020).

Figura 7 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD)



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Rio Doce nasce na Serra da Mantiqueira, em Minas Gerais, com o nome de Xopotó (STRAUCH, 1995), e segue seu curso em direção ao litoral capixaba, onde está localizada sua foz no município de Regência, no Espírito Santo. Seus principais formadores são os rios Xopotó, Piranga e Carmo, e o nome Doce está associado ao encontro entre os rios Carmo e Piranga, no município de Rio Doce, Minas Gerais (CUPOLILLO, 2008).

¹ Enquadramento previsto no Artigo 20, parágrafo III da Constituição Federal.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE

Localizado em região que caracteriza os rios das encostas do planalto atlântico, o Rio Doce apresenta, segundo Strauch (1955, p. 2) “um aspecto de rio de planície: o curso é geralmente lento, as margens baixas e alagadiças, embora conte, em grande extensão do seu curso, com inúmeras corredeiras e pequenas quedas”. Observando os seus principais grandes afluentes (o Piracicaba, o Piranga, o Manhuaçu, o Suaçuí Grande etc.), tal característica não se repete, fato que pode ser percebido pela sucessão de cachoeiras presentes no curso desses afluentes, demonstrando que possuem um nível de base superior em relação ao rio principal (STRAUCH, 1955).

Ao longo de sua extensão, o vale do Rio Doce pode ser dividido em três diferentes seções, conforme pode ser verificado no Quadro 12.

Quadro 12 - Delimitação de seções ao longo da extensão do Rio Doce

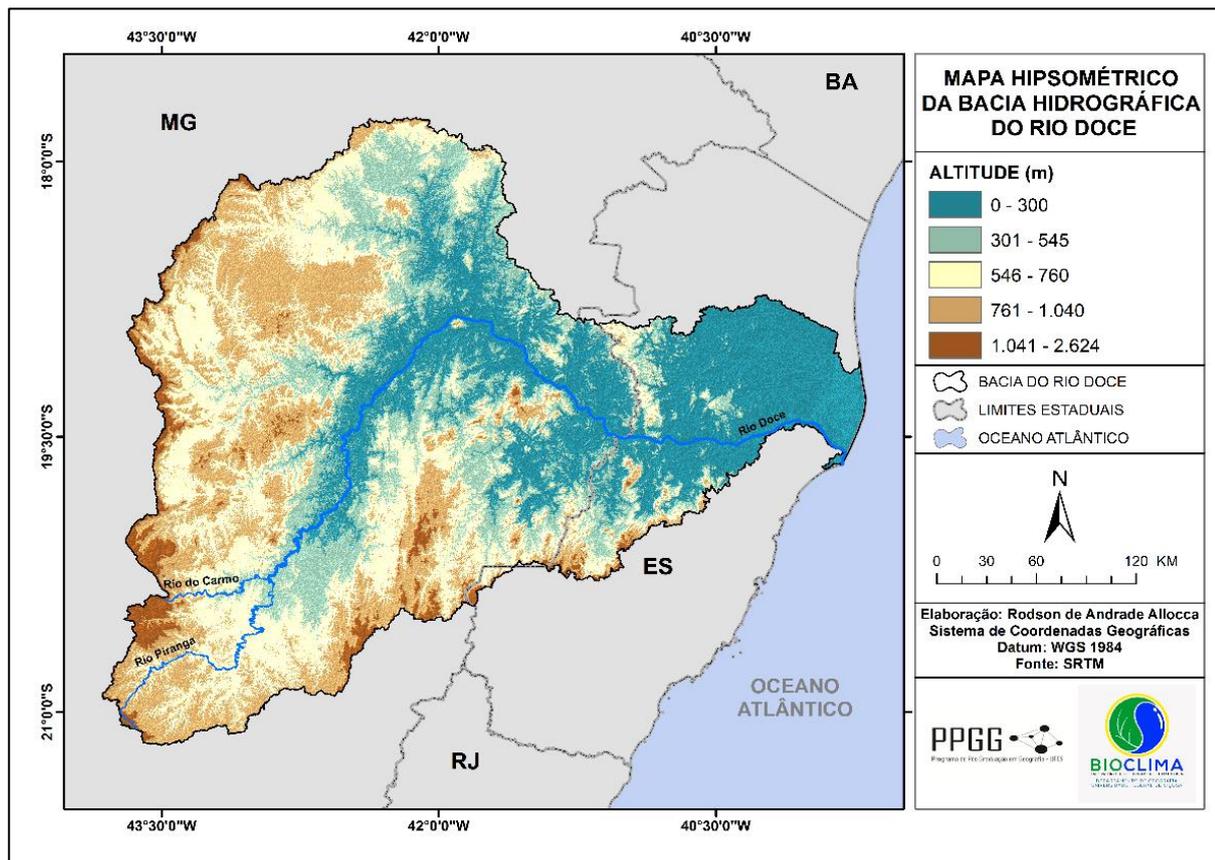
Seção	Delimitação
<i>Alto Rio Doce</i>	Abrange a área que vai das nascentes do Xopotó, incluindo o rio Piranga, até a foz do Piracicaba. Apenas pequeno trecho do Rio Doce propriamente dito está incluído no seu trecho superior. Caracteriza-se pelos afluentes encachoeirados e declives acentuados.
<i>Médio Rio Doce</i>	Abrange a área que vai da foz do rio Piracicaba e a barra do Manhuaçu. Trecho com considerável volume d'água, com margens geralmente baixas e espraiadas. Algumas vezes o rio encaixa e forma barrancos. O leito apresenta numerosas ilhas, de extensão a mais variada. De governador Valadares para jusante, corre o rio num leito de maior declividade, apresentando continuamente corredeiras. As margens estão revestidas, com frequência, de restos de matas. Estas podem ser observadas distantes do rio.
<i>Baixo Rio Doce</i>	Estende-se da foz do Manhuaçu até o oceano. A declividade neste trecho é bem menor, cerca de 15 metros por quilômetro. Na parte superior do Baixo Rio Doce, são encontradas algumas quedas, com as de Natividade e a cachoeira da Escadinha. A rigor, o Baixo Rio Doce começa no limite dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, quando atinge, finalmente, seu nível de base, como rio de planície.

Fonte: Organizado pelo autor. (STRAUCH, 1955, p. 3).

A geologia da bacia do Rio Doce reflete nas formas de relevo que marcam a paisagem. Sua estrutura é formada por rochas de origem e formação geológica distintas. Nesse sentido, ora a hidrografia se adapta à estrutura, ora se impõe (CUPOLILLO, 2008; STRAUCH, 1955).

A Bacia do Rio Doce, de maneira geral, apresenta uma variação crescente das altitudes a partir da foz em direção ao interior da área, podendo atingir cotas altimétricas de aproximadamente 2.600 metros (Figura 6).

Figura 8 - Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Doce

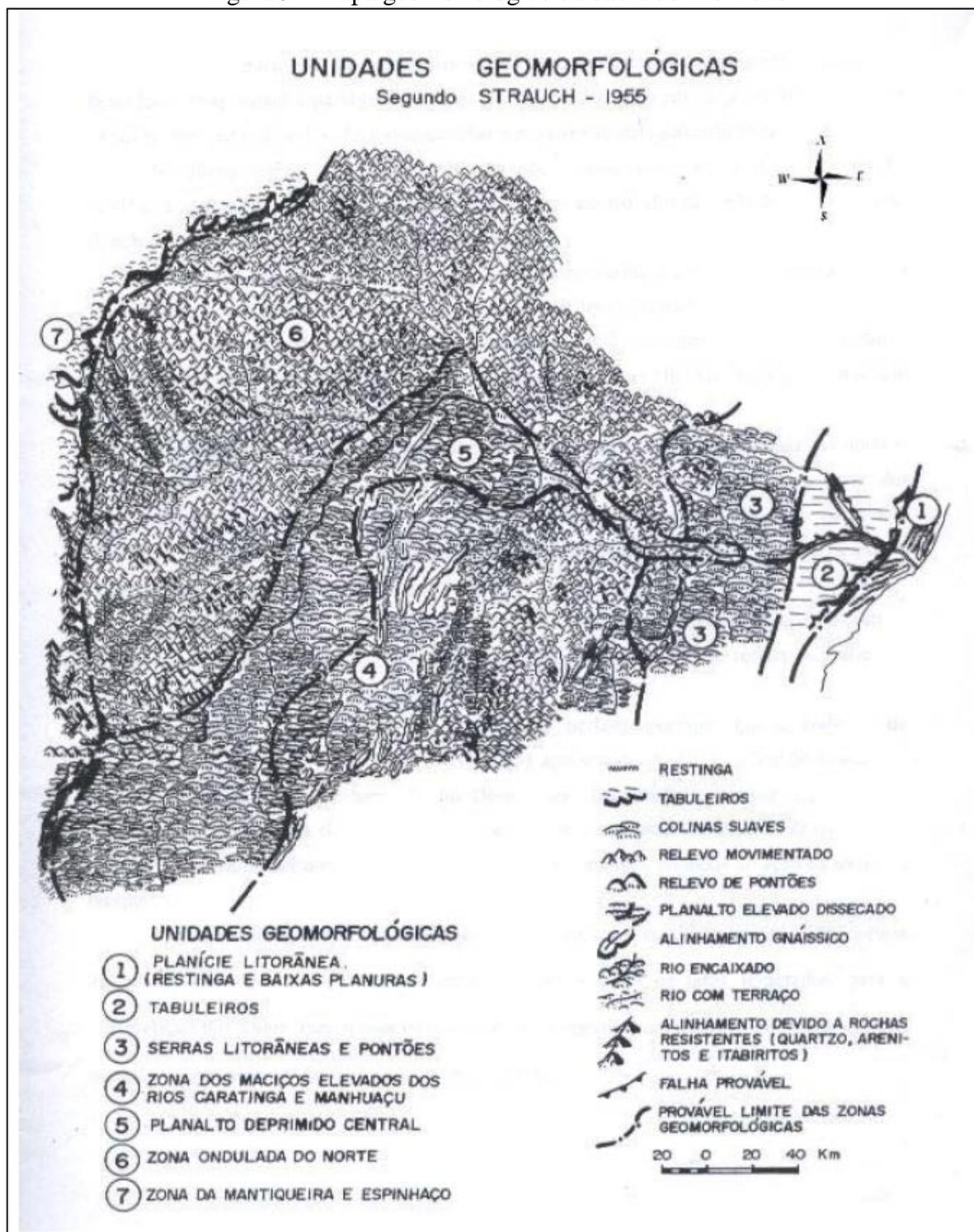


Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nas características do relevo, Strauch (1955) estabeleceu na bacia do Rio Doce diferentes grandes unidades (Figura 7): A planície litorânea (tabuleiros, restinga e baixas planuras), As Serras litorâneas e os pontões, Zona dos maciços elevados das bacias dos rios Caratinga e Manhuaçu, Planalto deprimido central, Zona ondulada do Norte, Zona da Mantiqueira e Espinhaço.

Segundo Cupolillo (2008), essa definição de grandes unidades geomorfológicas, foi aprimorada por Souza (1995) que fez uso dos mapas existentes, observações de campo e perfis topográficos, e classificou quatro macrocompartimentos, denominados de baixo Rio Doce, baixo médio Rio Doce, margem esquerda do médio Rio Doce e alto Rio Doce, subdividindo-os em dezessete unidades geomorfológicas, denominadas como: planície costeira; tabuleiros; colinas rebaixadas litorâneas; pontões margem esquerda; pontões margem direita; maciço Manhuaçu; borda da serra da Mantiqueira/Caparaó; borda basculada do bloco de Mantena; planalto dissecado dos rios Piracicaba e Santo Antônio; planalto rebaixado de Guanhões; borda do Espinhaço; serra do Espinhaço; planalto deprimido do rio Piranga; planalto do rio Xopotó; e depressão do Rio Doce.

Figura 9 - Mapa geomorfológico da bacia do Rio Doce



Fonte: Strauch (1955), organizado por Souza (1995 apud Cupolillo, 2008, p. 18).

No Quadro 13 estão detalhados alguns elementos que caracterizam cada unidade geomorfológica proposta por Strauch (1955).

Quadro 13 - Caracterização das grandes unidades geomorfológicas da Bacia do Rio Doce

UNIDADE	CARACTERIZAÇÃO
<i>A Planície Litorânea</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Zona costeira do ES – extensão norte-sul, em orientação quase retilínea; ✓ Em Linhares, o Rio Doce abandona os tabuleiros terciários passando a correr na direção sudeste. Formação de planície aluvial que se estende para o norte e para o sul, delimitada a leste pelo oceano e a oeste pelos tabuleiros terciários; ✓ Nas zonas de restingas observa-se a formação de cômoros de areia separados por partes deprimidas, algumas vezes ocupadas por extensas lagoas; a formação das restingas é relativamente recente (idade holocênica); ✓ Na foz, o Rio Doce perde seu caráter de rio profundo pela formação de cordão arenoso que impede o efeito de variação de nível decorrente do movimento da maré.
<i>Tabuleiros</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Formações de relevo localizados à oeste da planície, cuja altitude não ultrapassa 30 metros; ✓ A erosão, muitas vezes, dissecou os tabuleiros, formando vales que separam elevações alongadas; ✓ Os sedimentos foram depositados em condições subaéreas e constituem a extensa formação das barreiras litorâneas, que se estende pelas costas brasileiras como verdadeira faixa; ✓ Nos tabuleiros a formação de lagoas apresenta forma bastante singular, correspondendo ao curso antigo de um rio pequeno; apresentam-se quase sempre alongadas, cheias de braços, os quais se relacionam com os afluentes e são testemunhos de uma fase de afogamento da costa, após um trabalho de erosão fluvial que se fez muito abaixo do nível atual; ✓ Os depósitos terciários das barreiras não se confinam às zonas costeiras, ocorrendo também em regiões elevadas do cristalino que foram niveladas durante o mesozóico; a erosão reduziu-os em ocorrências esporádicas entre os divisores de águas.
<i>As Serras Litorâneas e os pontões</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Penetrando, da zona dos tabuleiros para o interior, primeiramente, a forma predominante do relevo ainda é a mesma, pois as rochas cristalinas foram aplainadas; entretanto, mais para o interior surgem as primeiras serras, no sentido oeste, nos arredores da cidade de Colatina; ✓ Algumas vezes, essas serras pouco nítidas são substituídas por um relevo de pontões (<i>monadnocks</i> – remanescentes de uma superfície de erosão deslocada e erodida posteriormente) que lembram o famoso “pão de açúcar”, refletindo a existência de batólitos graníticos que

	<p>irrompem em grande área do Espírito Santo, prolongando-se para o norte; formam uma série de morros isolados que não constituem, em seu conjunto, uma serra;</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Presença de blocos falhados e basculados para nordeste, resultantes do tectonismo da região; em alguns lugares, como ao sul de Aimorés, o complexo apresenta-se cortado por uma série de diáclases, que tem influência na rede hidrográfica; a superfície primitiva, elevada e contínua, transformou-se em uma série de morros solitários; ✓ Na parte do vale, já no Espírito Santo, surgem rochas gábricas associadas ao granito; os gnaisses gábricos e gabros são vistos em afloramentos a jusante de Baixo Guandu até os arredores de Itapina; ✓ O sistema de fraturas que corta o granito é complexo, segue a direção leste-oeste aproveitada por muitos vales, entre eles o do Rio Doce abaixo de Aimorés e do rio Manhuaçu; a região é esquematizada por dois blocos: o primeiro pouco elevado, nos arredores de Colatina, bastante rebaixado, existindo nele uma rede de vales adaptados ao mesmo sistema de fraturas e o segundo próximo à região dos tabuleiros no cristalino, neste podem ser vistos vales de fundo chato, penetrando a zona cristalina onde a erosão é mais intensa; ✓ Ao norte do rio Doce, a erosão sobre um planalto que teria existido foi muito intensa, restando apenas alguns pontões esparsos em meio à planura.
<p><i>Zona dos maciços elevados e das bacias dos rios Caratinga e Manhuaçu</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Na direção sul, os pontões são substituídos por maciços muito mais elevados, compostos de gnaisses que se apresentam na direção NE-SW, refletindo na rede hidrográfica; trata-se de uma região acidentada, onde os vales entalharam profundamente; ✓ Do ponto de vista petrográfico, enquanto as zonas das serras litorâneas e pontões é o domínio dos granitos e, com raras exceções, dos gnaisses, a zona dos maciços elevados é mais pobre em granito, prevalecendo a presença dos gnaisses; as cristas copiam a direção dos vales, de modo que, ao se apresentar de leste a oeste, observa-se uma sucessão de cadeias e vales paralelos; os rios, quando atravessam a direção das cristas, normalmente apresentam corredeiras ou saltos; ✓ Na parte leste da bacia do Rio Doce, encontra-se, já no limite sudeste, o pico da Bandeira, um maciço elevado, de topografia levemente ondulada no alto; seus limites são, via de regra, paredões verticais voltados para o sul, sudeste e nordeste, que parecem corresponder a bordas falhadas ou violentamente flexuradas; ✓ A região a oeste do maciço do Caparaó caracteriza-se pelo trabalho da erosão que é aí muito ativo; os níveis mais elevados sofrem vigorosa

	<p>ação erosiva e, assim, eles vão se reduzindo a pontões, onde a rocha viva aflora com frequência;</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ As voçorocas aparecem no solo como resultado da decomposição do gnaíse e quando as inclinações das encostas ultrapassam os 15°, como na região de Caratinga; quando a erosão se dá por ravinamento, formam-se pequenos rebordos às expensas da camada endurecida;
<i>Planalto deprimido central</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Paisagem representada por mares de morros de cumes arredondados, onde as grandes altitudes são raras; ✓ Os afloramentos rochosos, nas partes elevadas, são raros e a rocha viva só aparece nos fundos dos vales, próximo às corredeiras; o granito aparece muito raramente, correspondendo quase sempre aos pontos mais elevados da região e são, algumas vezes, representados pelos quartzitos, remanescentes de uma superfície de erosão mais elevada, entretanto, já rebaixada; ✓ Na região, as rochas se apresentam com menor inclinação, e, em algumas regiões, quase horizontais, como em Ponte Nova; próximo aos grandes rios como o Piranga e o Xopotó, as colinas apresentam encostas mais íngremes que dominam ora as planuras aluviais, ora o curso encaixado e acidentado dos mesmos; ✓ A coincidência entre os níveis dos topos de morros mostra claramente que pertencem a uma superfície de erosão que se teria nivelado primitivamente; esta superfície não é horizontal, ela sofreu deformações, principalmente um abaixamento geral para jusante do Rio Doce.
<i>Zona ondulada do Norte</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nessa região, as elevações, que se sucedem em diferentes formas de relevo, ora são pesadas formas onde não se observa uma tendência à orientação, ora são formas alinhadas onde as cristas de quartzitos e itabiritos se sobressaem; são cristas monoclinais que abandonam o corpo do Espinhaço, como em Rio Vermelho e Conceição do Mato Dentro; ✓ Desenvolvimento de superfícies mais aplainadas mais ao norte, como em Guanhães; superfície madura, com vales correndo entre colinas de encostas suaves; tal superfície foi fortemente dissecada mais ao sul pelo rio Santo Antônio e mais ao norte pelo rio Suaçuí e seus afluentes; entre os divisores do Suaçuí e os afluentes do Jequitinhonha, ocorre uma formação correlacionada à formação Barreiras; ✓ Ao norte, na zona ondulada, verifica-se a ocorrência de granitos; mais para leste, esta zona do norte passa a um confuso relevo de cristas e morros isolados, fazendo transição para a região dos pontões.

<p style="text-align: center;"><i>Zona da Mantiqueira e do Espinhaço</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ O aspecto da serra da Mantiqueira aparenta mais como um rebordo de planalto do que propriamente uma serra; a topografia da superfície elevada contrasta com a do planalto deprimido; na zona elevada desenvolve-se uma topografia de colinas e encostas suaves; alguns rios da bacia do Rio Doce têm suas cabeceiras neste planalto; ✓ A região elevada continua para o norte, constituindo a serra Geral (Espinhaço). Para sudoeste segue-se a serra do Ouro Branco, com sua imponente escarpa de falha na parte sul; suas encostas opostas são suavemente inclinadas para o norte, onde o Espinhaço se apresenta mais elevado, atingindo 2.107 metros na serra do Caraça; ✓ A topografia do Espinhaço, no alto da serra do Cipó, se apresenta levemente ondulada; quartzitos afloram a cada instante – aí os afluentes do Rio Doce começam seu trabalho erosivo; ✓ A hidrografia do Espinhaço adapta-se à direção das camadas, formando gargantas profundas onde o rio corta os alinhamentos.
--	--

Fonte: Organizado pelo autor com base em Cupolillo (2008) e Strauch (1955).

Com o objetivo de fazer uma revisão das propostas de classificação do relevo no interior da bacia do Rio Doce, Coelho (2006) utilizou a proposta taxonômica de relevo desenvolvida por Ross (1990, 1992 e 2001), cuja escolha se deu por representar um método atualizado/aperfeiçoado e mais apropriado para a representação dos fatos geomórficos de diversas escalas.

Segundo Coelho (2006), a proposta baseia-se em seis níveis taxonômicos e em conformidade com a escala da área da bacia, foi feita uma classificação levando em consideração apenas os três primeiros níveis (Quadro 14), sendo: o primeiro táxon correspondente às Unidades Morfoestruturais, representando a maior extensão em área, organizando a causa dos fatos geomorfológicos derivados de aspectos amplos da geologia; o segundo táxon trata das Unidades Morfoesculturais, representando os compartimentos e subcompartimentos do relevo pertencentes a uma determinada morfoestrutura; e, o terceiro táxon está relacionado com as Unidades Morfológicas, correspondendo as manchas de menor extensão territorial, que guardam semelhanças por influência dos processos atuantes, podendo ser classificadas de acordo com sua natureza genética – Formas de Denudação e Formas de Agradação.

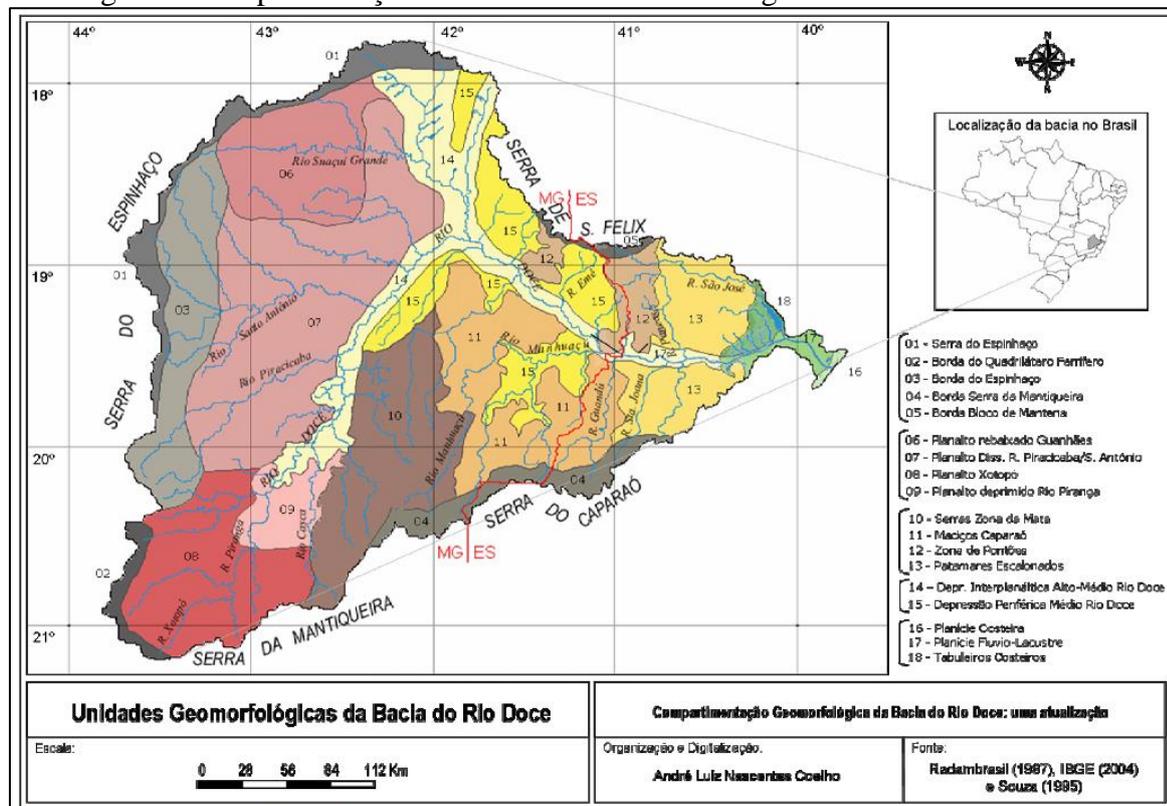
Quadro 14 - Taxonomia de relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Doce

Morfoestrutura (1º Taxon)	Morfoescultura (2º Taxon)	Unidades Morfológicas (3º Taxon)
1 – Cinturão Orogênico Atlântico Leste-Sudeste	1.1 – Serras e Bordas Limites da Bacia do Rio Doce	1.1.1 – Serra do Espinhaço
		1.1.2 – Borda do Quadrilátero Ferrífero
		1.1.3 – Borda do Espinhaço
		1.1.4 – Borda da Serra da Mantiqueira
		1.1.5 – Borda de Mantena
	1.2 – Planaltos Alto Rio Doce	1.2.1 – Planalto Rebaixado Guanhanês
		1.2.2 – Planalto Dissecado Rios Piracicaba/Santo Antônio
		1.2.3 – Planalto Xopotó
		1.2.4 – Planalto Deprimido do Rio Piranga
	1.3 – Serras e Maciços Médio Rio Doce	1.3.1 – Serras Zona da Mata
		1.3.2 – Maciços Caparaó
		1.3.3 – Zona de Pontões
1.3.4 – Patamares Escalonados		
1.4 – Depressões Vale do Rio Doce	1.4.1 – Depressão Interplanáltica Alto-Médio Rio Doce	
	1.4.2 – Depressão Periférica Médio Rio Doce	
2 – Bacia Sedimentar (costeira) do Espírito Santo	2.1 – Planícies e Tabuleiros Costeiros Baixo Rio Doce	2.1.1 – Planície Costeira
		2.1.2 – Planície Fluvio-Lacustre
		2.1.3 – Tabuleiros Costeiros

Fonte: Adaptado. (COELHO, 2006, p.6).

A espacialização das unidades geomorfológicas da bacia do Rio Doce pode ser verificada na Figura 8.

Figura 10 - Espacialização das Unidades Geomorfológicas da Bacia do Rio Doce



Fonte: (COELHO, 2006, p. 7).

A compartimentação geomorfológica da bacia do Rio Doce possibilita, dentre outras observações, correlacionar a topografia com o comportamento dos elementos climáticos atuantes na área da bacia. A esse respeito, Cupolillo (2008) destaca a existência de três grandes compartimentos que podem ser considerados grandes marcos de transição topográfica, permitindo a identificação de unidades espaciais de fácil delimitação.

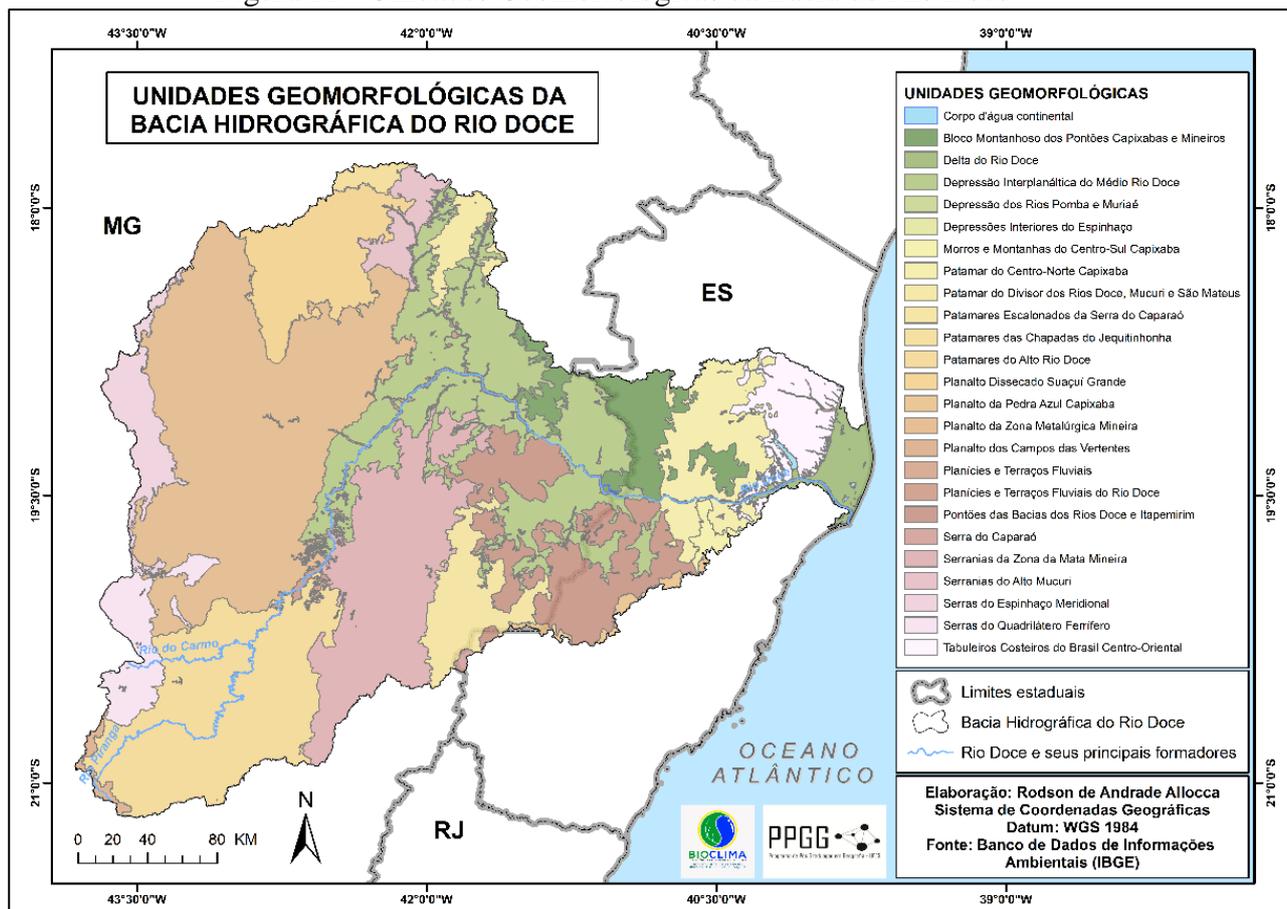
O primeiro seria representado pelos terrenos mais baixos, áreas correlatas ao nível do mar, onde incluem-se os domínios da planície costeira e dos tabuleiros, marcando a transição para os domínios colinosos. As baixas altitudes e a nula rugosidade superficial que caracterizam esse compartimento topográfico, influenciam no caminho das massas de ar.

O segundo compartimento é mais complexo, pois agrega estruturas de diferentes dimensões espaciais. Este compartimento é o mais amplo da bacia do Rio Doce, estendendo-se da foz até a base das serras que marcam o limite leste da mesma. É uma área vasta e dominada por colinas de topos coincidentes, caracterizando o típico relevo dos mares de morros. Nesse domínio a rugosidade do terreno é evidente e nele encontram-se alojadas serras, algumas de dimensões mais pontuais, outras de maior abrangência, como o domínio serrando do Caparaó. As características desse relevo, de forma geral, influenciam na atuação das massas de ar no contexto regional.

O terceiro compartimento é representado por conjuntos de serras de influência continental, como as serras da Mantiqueira e do Espinhaço, que representam fronteiras de ação de algumas massas de ar oriundas do oceano Atlântico.

Para desenvolver os procedimentos de espacialização das informações da Classificação de Novais (2019), será utilizado como referência, por uma necessidade de padronização do método, o mapa de unidades geomorfológicas (Figura 9) elaborado com base nos dados disponibilizados no Banco de Dados e Informações Ambientais (BDIA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE).

Figura 11 - Unidades Geomorfológicas da Bacia do Rio Doce



Fonte: Elaborado pelo autor.

A consideração das características topográficas e geomorfológicas da bacia do Rio Doce é, portanto, um elemento que compõe a análise climática relacionada não somente a área interna da bacia, mas também numa escala de maior abrangência.

3.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE

O clima da Bacia Hidrográfica do Rio Doce apresenta variabilidade em função dos fatores climáticos atuantes na Região Sudeste do Brasil. Nimer (1989) destaca como principais fatores estáticos a topografia acidentada, a posição latitudinal e a proximidade da borda do Atlântico, já, como fator dinâmico, o autor destaca a atuação dos sistemas de circulação atmosférica.

O relevo é o mais importante dos elementos na modificação dos tipos de clima da região, destacando a interação entre a atuação das massas de ar, as altitudes e as direções do relevo como fundamentais na compreensão da variabilidade climática. Considerando os limites da Bacia do Rio Doce, a partir do estudo das regiões vizinhas empreendido pelo Conselho

Nacional de Geografia foi possível estimar que, não fossem o relevo e o padrão de exposição, teríamos provavelmente para toda a bacia do Rio Doce um mesmo tipo climático, que, de acordo com a classificação de Köppen, seria designado pela sigla Aw, representando um tipo quente, úmido e com estação seca correspondente ao inverno (STRAUCH, 1955).

Cupolillo (2008), relata que Strauch, utilizando a classificação de Köppen, denominou de clima tipo A aos que apresentassem temperaturas médias no mês mais frio superiores a 18°C e estabeleceu variações no padrão pluviométrico; de Af aos que apresentassem uniformidade no padrão de distribuição das chuvas, com um volume mínimo de 60 mm no mês mais seco; Am aos que tivessem um período seco correspondente ao inverno, porém compensado por um total de chuvas capaz de alimentar uma floresta tropical; e Aw aos que tivessem um período seco bem determinado.

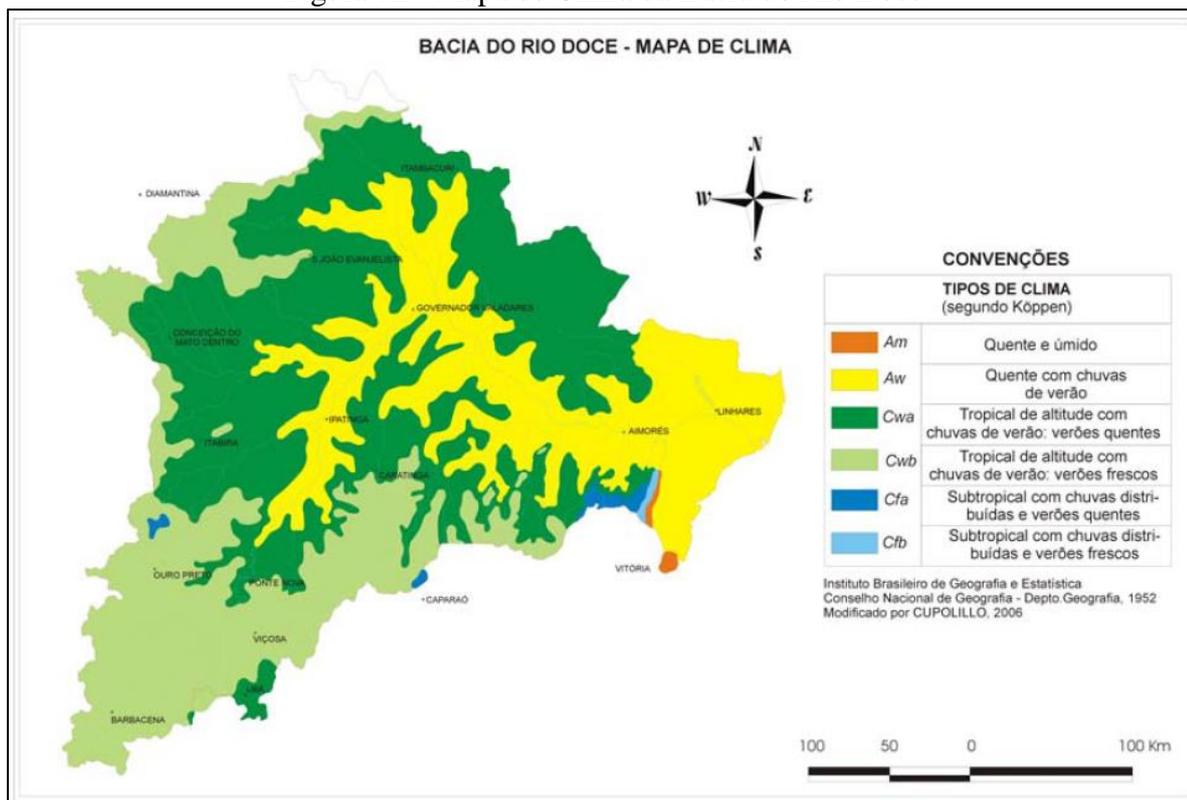
Para Strauch (1955) a classificação climática deveria ser ajustada em razão da topografia regional que é capaz de influenciar nos valores térmicos médios e também na penetração de massas de ar.

[...] Strauch argumentou que, em razão da diversidade topográfica na região, esta classificação deveria ser ajustada. A pouca exposição do relevo ao sul (mesmo a leste) não permite que as temperaturas do mês mais frio (abaixo de 18 °C) ocorram em cotas de altitude abaixo de 250 a 300 metros, a não ser excepcionalmente. As penetrações de ar frio do sul não são possíveis pela disposição do relevo. O limite médio de altitude para essa temperatura é de 300 metros aproximadamente, para a margem direita, e se eleva gradativamente para NW, pela margem esquerda (CUPOLILLO, 2008, p.33).

Nesses fundos de vale, em geral, chove relativamente pouco (1000 – 1200 mm) e as temperaturas elevadas favorecem a evaporação. As chuvas no interior da bacia são, predominantemente, de caráter convectivo e as maiores altitudes do relevo são mais favorecidas pelas precipitações por se construírem como zonas de condensação. Com o aumento das altitudes, temos a mudança do tipo climático A para o tipo C, chamados mesotérmicos, com temperaturas médias do mês mais frio abaixo de 18°C. Os climas do grupo C da classificação de Köppen, apresentam diversas variedades. Quanto às chuvas, podem ser úmidos (f) ou apresentarem um período seco, que, no caso da Bacia do Rio Doce, é correspondente ao inverno (w). Quanto aos aspectos térmicos, podem apresentar verões quentes (a) ou frescos (b) se a temperatura média do mês mais quente estiver acima ou abaixo de 22°C (STRAUCH, 1955).

Na Figura 10 podemos verificar a espacialização dos diferentes tipos climáticos no interior da Bacia do Rio Doce.

Figura 12 - Mapa de Clima da Bacia do Rio Doce



Fonte: Classificação climática de Köppen para a Bacia do Rio Doce, segundo Strauch (1954) e modificada por Cupolillo e Luciana D'Albuquerque Ferreira (2006). (CUPOLILLO, 2008, p. 34).

Os valores pluviométricos nas áreas de tipo climático Cwa são maiores e atingem volumes em torno de 1200 mm, podendo atingir maiores volumes em situações excepcionais. Os climas do tipo Cwb ocorrem amplamente na parte sul da bacia, nos planaltos florestais úmidos, apresentam verões brandos com médias térmicas inferiores a 22°C e precipitações mais volumosas, geralmente acima de 1300 mm. Os tipos climáticos Cfa e Cfb ocorrem em áreas reduzidas na bacia, estando restritos aos planaltos do Espírito Santo e de seus limites com Minas Gerais, ao sul do Rio Doce, ainda sob influência da umidade litorânea e, mais escassamente, a penetração do ar frio do sul. A transição do tipo Cfa para o Cfb ocorre sem controle preciso das estações de referência (STRAUCH, 1955; CUPOLILLO, 2008).

De acordo com o relatório final do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e Planos de Ações para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce, elaborado pelo Consórcio EcoPLAN-Lume (2010), com base na classificação climática de Köppen, é possível identificar, nas vertentes das serras da Mantiqueira e do Espinhaço e nas nascentes do Rio Doce, o tipo climático tropical de altitude com verões chuvosos e frescos; nas nascentes de seus afluentes, o tipo climático tropical

de altitude com verões chuvosos e quentes; e, nos trechos do médio e baixo Rio Doce e de seus afluentes, o tipo climático quente com chuvas de verão.

Para o Coelho (2009), o clima tropical úmido é o que predomina no interior da bacia, caracterizado por uma não uniformidade climática, fato que corrobora com a caracterização proposta por Strauch. A explicação para essa diversidade, segundo o autor, pode ser explicada por um conjunto de fatores, sobretudo, pela posição geográfica, pelas características do relevo e do encontro de massa de ar, destacando o Sistema Tropical Atlântico com predomínio em grande parte do ano, e o Sistema Equatorial Continental, ocasionando Linhas de Instabilidade Tropical, sobretudo no verão, provocando chuvas intensas, equivalentes a cerca de 60% do total anual.

A estação chuvosa se inicia em novembro, prolongando-se até maio. Nas regiões de maior altitude e nas áreas litorâneas são observados os maiores totais anuais, com uma variação compreendida entre 900 mm e 1500 mm. Os fundos de vales, como apontado também por Strauch (1955), apresentam os menores totais anuais, variando entre 700 mm e 1000 mm. As temperaturas médias dentro de quase toda a totalidade da área da bacia apresentam-se elevadas durante boa parte do ano e, mesmo nos meses mais frios, os valores médios anuais são superiores a 18°C e no litoral superiores a 24°C (COELHO, 2009).

3.3 PRINCIPAIS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS QUE ATUAM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE

Para um melhor entendimento dos sistemas formadores de tempo e, conseqüentemente, do clima na Bacia do Rio Doce, faz-se necessária uma abordagem sobre os principais sistemas atmosféricos (massas de ar, sistemas frontais, Instabilidades Tropicais, Zona de Convergência do Atlântico Sul, Zona de Convergência de Umidade e Alta Subtropical do Atlântico Sul) atuantes na escala regional, com repercussões na área de estudos.

As massas de ar podem ser definidas como “uma grande porção da atmosfera, cobrindo milhares de quilômetros da superfície terrestre e que apresenta uma distribuição vertical aproximadamente uniforme, tanto da temperatura, como da umidade” (VAREJÃO-SILVA, 2006, p. 369). Com extensão variável, apresentam propriedades termodinâmicas (temperatura e umidade) compatíveis com as características de seu local de formação, contudo, seu deslocamento promove um intercâmbio com as características dos locais por onde passa, podendo modifica-las. Com base em Ayoade (2003) e Vianello; Alves (2012), Cunha (2020, p. 22) indica que as modificações

[...] podem ser térmicas (influência térmica da superfície sobre a qual passa, o que resultará em trocas diabáticas com a superfície e também em consequência de movimentos verticais) ou dinâmicas (relações das massas com anticiclones e depressões). Se a massa é quente ou menos fria e passa por uma superfície mais fria, ela será esfriada por baixo, o que a tornará estável, pois será criada uma inversão térmica que impedirá os movimentos verticais. O contrário ocorrerá se a massa de ar for fria e passar por uma região quente. Nesse caso, a massa em contato com a superfície será aquecida por condução e ficará instável [...].

O deslocamento das massas de ar configura, portanto, um importante elemento da dinâmica climática, influenciando diretamente a área onde predominam (AYOADE, 2003). No Quadro 15 podem ser verificadas as condições de tempo provocadas pela atuação de uma massa de ar.

Quadro 15 - Condições de tempo provocadas por invasão de massas de ar.

Massa de ar	Condição de Equilíbrio	Gêneros de Nuvens	Caráter da Chuva	Condição do Vento	Visibilidade Horizontal
Fria	Instável	Cu, Cb	Aguaceiro	Turbulentos com rajadas	Boa
Quente	Estável	St, Sc	Contínua	Constante	Má / Nevoeiro

Fonte: (VAREJÃO-SILVA, 2006, p. 371).

As principais massas de ar que atuam em algum período do ano na Bacia do Rio Doce são: a Massa Equatorial Continental (mEc), a Massa Tropical Atlântica (mTa) e a Massa Polar Marítima (mPm). Conforme organizado por Cunha (2020), no Quadro 16 podem ser observadas suas características principais.

Quadro 16 - Massas de ar que atuam na Bacia do Rio Doce

Nome	Sigla	Características
<i>Massa Equatorial Continental</i>	mEc, cE ou Ec	Quente e úmida, origina-se em uma região de calmaria (doldrum) / baixas pressões atmosféricas sobre a Floresta Amazônica. A baixa pressão da região permite os movimentos ascendentes e convergentes, os quais possibilitarão alta concentração de umidade nas camadas superiores da atmosfera resultantes da evapotranspiração da floresta e da evaporação dos corpos hídricos locais, bem como da evaporação oceânica transportada pelos alísios.
<i>Massa Tropical Atlântica ou Massa Tropical Marítima</i>	mTa, mTm, mT ou Tm	Origina-se no Oceano Atlântico, mais precisamente do Anticiclone do Atlântico Sul. Trata-se de uma região de alta pressão atmosférica com movimento subsidente do ar, o qual não permite que o calor e a umidade oceânica cheguem aos níveis mais altos da massa, ficando limitado às camadas inferiores. A massa é formada por duas camadas, uma inferior, fria e úmida; e uma superior, quente e seca. A umidade da parte inferior, formada no verão, pode originar nuvens do tipo <i>cumulus</i> de pequena extensão vertical que, associadas à orografia, originam poucas chuvas na região litorânea; quando a massa atinge a porção continental, está quente e seca. No inverno, o anticiclone se desloca para o continente e passa a ter apenas a subsidência continental, com pouca ou nenhuma umidade, tornando-se predominantemente seca.
<i>Massa Polar Marítima</i>	mPm, mP ou Pm	Origina-se na região de anticiclones migratórios da região Subantártica e pode chegar ao Brasil devido à Cordilheira dos Andes, que funciona como uma barreira e condiciona sua trajetória para leste ou para oeste. Na

	<p>trajetória leste se ramifica em outras duas, uma em direção à depressão do Chaco, outra em direção ao Oceano Atlântico, quando pode atingir a região Sudeste. Devido à subsidência resultante da alta pressão da região de origem, é uma massa estável, fria e seca, contudo ao adentrar a região continental, vai perdendo suas características originais, adquirindo calor e até mesmo umidade, especialmente no verão, sendo, contudo, mais intensa no inverno, quando ocasiona maiores quedas nas temperaturas, podendo atingir até a região Norte.</p>
--	--

Fonte: Adaptado. (CUNHA, 2020, p. 23-24).

As frentes e sistemas frontais configuram-se como outro importante elemento com influência na dinâmica climática. Uma frente pode ser compreendida como a zona de encontro de duas massas de ar com características distintas, “na qual as propriedades do ar passam gradativamente de uma massa para outra (mistura ou troca). Onde elas ocorrem, o ar é muito agitado e o tempo é instável” (TORRES E MACHADO, 2008, p. 104).

O processo que origina uma frente é chamado de frontogênese e requer basicamente três condições: o contato entre duas massas com propriedades termodinâmicas distintas; a condição de circulação atmosférica que promova deslocamento das massas uma em direção a outra; e o efeito da força de Coriolis suficiente para fazer com que o ar quente não permaneça sobre o ar frio. A não ocorrência das condições acima, fará com que ocorra a frontólise, ou seja, a frente será dissipada (CUNHA, 2020).

As frentes podem ser quentes ou frias, sendo determinada pela massa de ar predominante. Na ocorrência de uma frente fria, a massa de ar frio, que é mais denso, promove a ascensão do ar quente propiciando a formação vertical de nuvens e a ocorrência de precipitação. Sua passagem é precedida por um aumento da temperatura (aquecimento pré-frontal), da umidade e intensificação dos ventos. Na ocorrência de uma frente quente, por sua vez, o ar faz um movimento de ascendência e move-se por cima do ar frio, também provocando precipitação com características que variam de leves e contínuas, condição de ar estável, ou intensas com trovoadas e aguaceiros em condições de instabilidade do ar (AYOADE, 2003; ANDRADE, 2005, VAREJÃO-SILVA, 2006, TORRES E MACHADO, 2008; PEDROSO, 2014; CUNHA, 2020).

O avanço das frentes contribui significativamente para a caracterização do tempo e do clima no Brasil. Segundo Cavalcanti e Kousky (2009, p. 135), as frentes frias

[...] afetam o tempo sobre a América do Sul durante todo o ano [...]. Durante o inverno, esses sistemas são acompanhados de massas de ar de latitudes altas que, muitas vezes, causam geadas e friagens em áreas agrícolas do Sudeste e Sul do Brasil.
 [...] Quando as frentes frias avançam para o norte (em direção ao equador), durante a estação de verão, algumas vezes elas interagem com o ar úmido e quente tropical, produzindo convecção profunda e organizada e chuvas fortes sobre o continente, causando excessiva precipitação e inundações, deslizamentos de encostas, além de

ventos fortes e granizo. Durante o verão, as frentes frias frequentemente se posicionam ao longo da costa do Brasil, entre São Paulo e Bahia, na região da posição climatológica da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), originando períodos prolongados de chuva forte, algumas vezes com ocorrência de inundações e prejuízos materiais e humanos na região.

Ainda segundo Cavalcanti e Kousky (2009), a ocorrência de passagens de frentes frias são mais comuns entre maio e setembro e menos comuns no verão do Hemisfério Sul.

Os sistemas frontais, considerados distúrbios transitórios de alta frequência, geram intensas alterações nas condições de tempo atmosférico e são constituídos por uma frente fria, uma frente quente e um centro ciclonal (centro de baixa pressão atmosférica) em superfície (ANDRADE, 2005; CRUZ, 2008; CUNHA, 2020). Para a determinação da passagem de um sistema frontal de forma objetiva, são observados os seguintes critérios: “1) uma diminuição da temperatura em 925 hPa de, pelo menos, 2°C; 2) um aumento da PNM de, pelo menos, 2 hPa; e 3) existência de ventos do sul de, pelo menos, 2 m s⁻¹” (CAVALCANTI; KOUSKY, 2009, p. 138).

As linhas Instabilidades Tropicais (IT), sistemas de circulação secundária, representam outro fator dinâmico na produção do tempo atmosférico em áreas do Brasil. Quando ocorrem, caso o ar seja convectivamente instável, são capazes de ocasionar chuvas. O movimento ondulatório na frontogênese (FG) da Frente Polar Atlântica (FPA), onde o ar quente do quadrante norte sofre sucção pelo contato com o ar frio polar, dá origem a ciclones a partir dos quais são formadas as IT, consideradas normais à Frente Fria (KF) (NIMER, 1989).

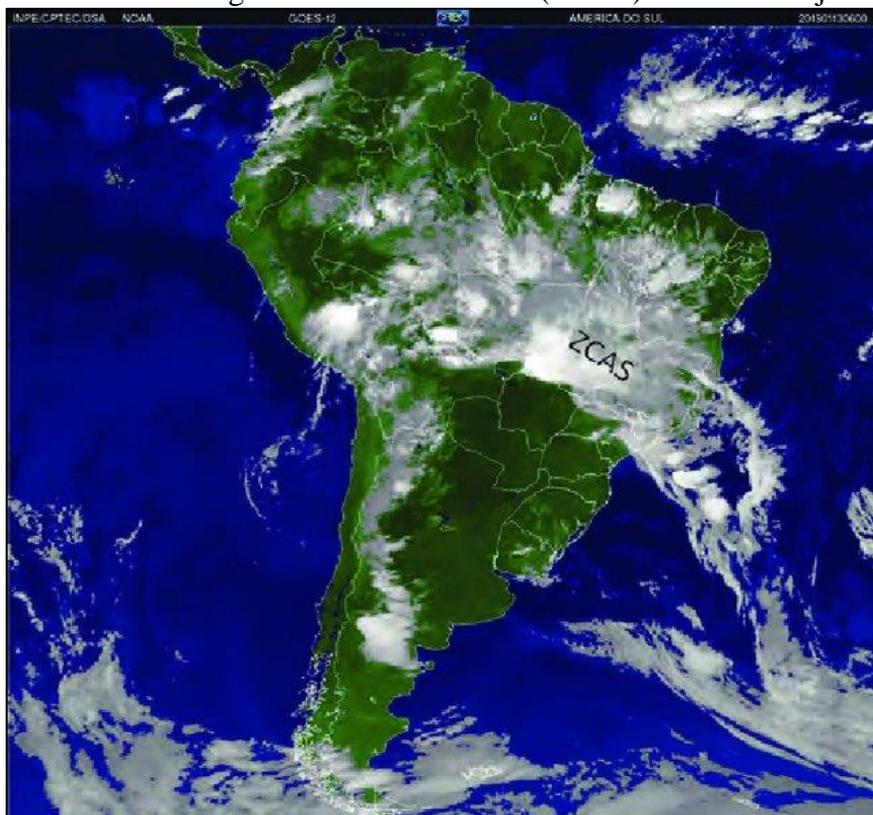
As IT se propagam precedendo a KF, por vezes, 1.000 quilômetros, anunciando sua chegada com a formação de altos cúmulus e cirrus, que se deslocam em correlação à KF. Os avanços da FPA para o norte impelem as IT para leste, voltando para oeste assim que a FPA estaciona no trópico, dissolvendo ou recuando com WF. [...] Dentre as IT devemos destacar aquelas que se formam no setor oriental do Brasil. A primeira divide, em altitude, o centro de ação do Atlântico, com orientação N-S ao longo dos meridianos 45° a 40°, sendo mais frequente no verão e raro no inverno [...]. Quando a FPA inicia seu avanço para o trópico sob a forma de KF, surge uma IT estendida N-S a 6 quilômetros de altitude, e caminha para leste, mergulhando no oceano à medida que avança a KF [...]. Com o recuo da KF esta IT se desloca para oeste, podendo provocar chuvas no litoral leste e sudeste, que são as zonas mais atingidas pelos efeitos de tais fenômenos. (NIMER, 1989, p. 18).

Para Cunha (2020, p. 29) as IT “são sistemas atmosféricos tropicais importantes na gênese das chuvas ocorridas especialmente durante o verão na BH do Rio Doce. Além disso, podem contribuir no processo de formação de outros sistemas”.

Configurada como uma faixa de nebulosidade semiestacionária orientada no sentido noroeste-sudeste que se estende desde a região sul da Amazônia até o Oceano Atlântico (Figura 11), promovendo chuvas fortes e por vários dias seguidos durante o verão, temos a Zona de

Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Para Abreu (1998b) a ZCAS resulta da associação entre a FPA e a convecção tropical.

Figura 13 - Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) no dia 13 de janeiro de 2013



Fonte: CEPTEC (2013).

Esse sistema, em sua atuação contribui para maiores volumes pluviométricos, sobretudo na região Sudeste do Brasil (SANTOS; HORTA, 2020).

Nos últimos 20 anos, o advento da imagem de satélite meteorológico, permitiu observar que, quando as frentes frias atingem a região Sudeste do Brasil, pode ocorrer uma associação entre elas e as IT. Quando esta associação se dá, dizemos que acontece uma interação entre os sistemas de latitudes médias (frentes) e os de latitudes tropicais (IT, depressões ou calhas induzidas). Esta interação é conhecida como Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS, sendo responsável pelas chuvas intensas, prolongadas, que ocorrem no Sudeste e no Estado de Minas Gerais, e que são conhecidas popularmente como “invernadas” (ABREU, 1998b, p. 19).

Segundo Abreu (1998b), a ZCAS no início do verão tem maior atuação no centro-sul mineiro, na região norte do estado do Rio de Janeiro e Espírito Santo, deslocando-se para o sul. A autora destaca ainda que “a presença da FPA não é condição bastante e suficiente para causar chuvas convectivas como as que ocorrem no verão. Sem a interação entre ela e as IT e a umidade

da região amazônica, o verão em Minas Gerais seria, acreditamos, muito menos chuvoso” (ABREU, 1998b, p. 20).

Segundo Amaro *et al.* (2010 *apud* Cunha, 2020, p. 32) em um estudo que objetivava analisar um episódio de ZCAS nos meses de novembro, dezembro e janeiro de 2009, os autores “observaram que a ZCAS se associou mais à alta atividade convectiva sobre o continente, devido aos fatores termodinâmicos e dinâmicos e, por isso, propuseram o nome Zona de Convergência na América do Sul e não no Atlântico Sul”.

Os episódios de ZCAS devem ter duração mínima de quatro dias e com possibilidade de extensão de sua ocorrência em até dez dias. O Grupo de Previsão do Tempo – GPT do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CEPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), estabeleceu que quando ocorre o sistema atmosférico com padrão similar ao da ZCAS, mas com duração de três dias passou a ser denominado como Zona de Convergência de Umidade (ZCOU). O que vai diferenciar os sistemas é a duração e o seu respectivo padrão de escoamento (CUNHA, 2020).

A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) representa outro sistema de relevante influência na conformação das características do clima não somente da Bacia do Rio Doce, mas também de o todo Brasil. A ASAS,

constitui-se por um sistema de alta pressão caracterizado por Tubelis e Nascimento (1992) como uma massa de ar seco, relativamente quente e quase desprovido de nuvens, sendo que sua atuação na região sudeste propicia a redução da umidade e inibe a passagem de frentes frias. Nesta perspectiva Franca (2009) destaca que a atuação deste sistema semiestacionário resulta em estabilidade atmosférica nessa região por um longo período (VIEIRA; CUPOLILLO, 2021, p. 883).

Diferentes estudos sobre a atuação da ASAS demonstraram que ela é capaz de influenciar o clima do Brasil no verão e no inverno. Quando persistente por mais de seis dias, atua como um bloqueio à entrada de sistemas frontais. No inverno, favorece episódios de geadas e nevoeiros de radiação no Sul e no Sudeste, caso o ar seja úmido e ocorram inversões térmicas nos grandes centros. No verão, podem avançar sobre o Brasil e causar períodos de estiagens durante a estação chuvosa, com duração de dez a vinte dias (veranicos) (ITO; AMBRIZZI, 2000; BASTOS; FERREIRA, 2000; DEGOLA, 2013; CUNHA, 2020).

Como pode ser percebido, a região onde está localizada a Bacia Hidrográfica do Rio Doce é marcada por uma grande complexidade de sistemas atmosféricos produtores de tempo que são os responsáveis, dentre outros fatores, pela definição dos climas da área.

3.4 OCUPAÇÃO INICIAL, ATIVIDADES ECONÔMICAS E ASPECTOS DEMOGRÁFICOS ATUAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE

A ocupação inicial da bacia orientou-se a partir de dois sentidos distintos e em épocas diferentes. O primeiro ocorreu do planalto na direção do litoral, sem, contudo, atingi-lo e corresponde à antiga corrente povoadora, consequência do ciclo minerador. O segundo, deu-se do litoral para o interior e corresponde ao movimento mais recente (STRAUCH, 1955).

Nos primeiros anos do século XVIII, a ocupação do planalto, abrangendo grande parte do Espinhaço, favoreceu o surgimento de importantes municípios, como Ouro Preto e Mariana. O movimento de ocupação do litoral para o interior da bacia rumando pelo curso principal e suas adjacências, por sua vez, iniciou-se a partir de 1847, mas só se efetivou a partir de 1901, com o início da construção da Estrada de Ferro Vitória – Minas (EFVM), após inúmeras tentativas não exitosas de ocupação da bacia via rio (STRAUCH, 1955; COELHO, 2009). Nessa época, 26 municípios eram pertencentes à bacia, 22 estavam localizados em Minas Gerais e 4 no Espírito Santo, sendo apenas Linhares, situado às margens do canal principal do Rio Doce (COELHO, 2009, p. 135).

A construção da ferrovia possibilitou não somente uma maior ocupação da bacia, como também abriu caminho para que a indústria iniciasse seu processo de desenvolvimento. Na década de 1930, com a chegada da linha férrea à cidade mineira de Itabira, em associação com as atividades de exploração mineral na região, foram criadas condições para a implantação de um polo siderúrgico, hoje conhecido como “Vale do Aço”. Nesse contexto se destacam a instalação da Companhia Belgo Mineira, em 1937, situada às margens do Rio Piracicaba e, em 1942, a criação da Companhia Vale do Rio Doce, em Itabira. Em 1953, ocorreu a inauguração da Acesita, uma indústria siderúrgica e, em 1975, a instalação da Cenibra, inicia na região as atividades da indústria de celulose. Com a instalação das indústrias, o dinamismo econômico possibilitou o desenvolvimento dos setores de comércio e serviços relacionados às atividades industriais (COELHO, 2009).

A atividade mineradora na bacia hidrográfica do Rio Doce, por sua vez, desempenhou um papel histórico de extrema importância, tanto na ocupação inicial da região como no desenvolvimento econômico ao longo dos anos. A riqueza mineral encontrada nessa região atraiu a atenção de exploradores e colonizadores desde os primórdios da colonização do Brasil.

No ciclo minerador, que ocorreu principalmente nos séculos XVIII e XIX, a extração de minerais preciosos, como ouro e diamantes, foi um fator determinante para a ocupação do território da bacia do Rio Doce.

O verdadeiro impulso para o desenvolvimento da atividade mineradora e sua conexão com a industrialização ocorreu no século XX, com a construção da Estrada de Ferro Vitória - Minas (EFVM). Conforme já indicado anteriormente, a partir de 1901, a ferrovia possibilitou o escoamento mais eficiente dos minérios extraídos na região, abrindo caminho para a expansão da mineração e o surgimento de indústrias associadas.

A atividade mineradora na bacia do Rio Doce também trouxe consigo desafios e consequências negativas. O desastre ocorrido em 2015, com o rompimento da barragem de rejeitos em Mariana, foi um exemplo trágico dos impactos socioambientais associados à mineração. Esse evento trouxe à tona a necessidade de uma gestão mais responsável e sustentável da atividade mineradora, a fim de evitar danos irreparáveis aos ecossistemas, às comunidades locais e à própria bacia hidrográfica.

A extração de recursos minerais desempenhou um papel histórico relevante na ocupação e desenvolvimento econômico da bacia hidrográfica do Rio Doce. Contudo, se por um lado trouxe riqueza e impulsionou a industrialização, por outro, evidenciou os desafios e impactos negativos associados à exploração mineral. É fundamental buscar um equilíbrio entre a atividade mineradora e a preservação ambiental, garantindo o desenvolvimento sustentável da região e a proteção dos recursos naturais para as gerações futuras.

A agricultura e o comércio representam, na atualidade, as bases econômicas predominantes na bacia. As atividades cafeiculturas, pecuaristas e a silvicultura destacam-se. O comércio e a prestação de serviços são as principais atividades dos centros regionais – cidades com mais de 50 mil habitantes. O panorama econômico nas áreas litorâneas da bacia apresenta-se mais diversificado, com a presença de indústrias, a expansão da fruticultura e da silvicultura, além do crescimento das atividades petrolíferas na linha de costa (COELHO, 2009).

A Quadro 17 representa, segundo Coelho (2009), uma lista das principais atividades econômicas desenvolvidas na bacia.

Quadro 17 - Principais Atividades Econômicas da Bacia do Rio Doce por Estados

ATIVIDADE	MINAS GERAIS	ESPÍRITO SANTO
Exploração Mineral	ferro, pedras preciosas, bauxita, manganês, rochas calcáreas e granito.	granito.
Indústrias	siderurgia, metalurgia, equipamentos mecânicos, química, turismo, papel/celulose, bebidas e álcool.	alimentos, bebidas, álcool, têxtil, turismo, móveis e atividades ligadas ao petróleo.
Pecuária	leite e corte (além da suinocultura).	leite e corte.
Agricultura	café, cana de açúcar e mandioca.	cana de açúcar, cacau, café, produtos hortifrutigranjeiros e mandioca.
Silvicultura	extensos plantios de eucaliptos.	eucaliptos.
Setor Terciário	comércio e serviços de suporte às atividades industriais.	comércio e serviços de suporte às atividades industriais.
Produção de Energia Elétrica	potência instalada superior a 900 mw.	potência instalada 181,5 mw.

Fonte: ANA/CBH-Doce (2009), ANEEL (2006) e ANA (2001). Organizado por Coelho (2009).

Considerando a diversidade e a importância das atividades econômicas desenvolvidas no interior da bacia, Cupolillo (2008) afirma seu papel de relevância na economia brasileira.

Em termos demográficos, a população total residente nos municípios que compõem a bacia é de aproximadamente 3.295.000 habitantes (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010). As maiores concentrações populacionais ocorrem em dois municípios mineiros: Governador Valadares (260.396 hab.) e Ipatinga (238.397 hab.), ambas localizadas junto ao canal principal do Rio Doce. Devido sua pujança econômica e por sua estrutura logística, são considerados os mais importantes polos dinamizadores da economia regional da bacia. Dentre os municípios pertencentes à bacia, apenas 15 possuem população superior a 50.000 habitantes. A Região Metropolitana do Vale do Aço – RMVA – MG, sendo a segunda maior concentração industrial de Minas Gerais, apresenta um potencial de crescimento populacional e urbano de destaque. No Espírito Santo, apenas Colatina (106.677 hab.) e Linhares (124.581 hab.) possuem população superior a 100.000 habitantes. A concentração populacional em determinados municípios apresenta uma relação com a proximidade de importantes corredores de transporte, desempenhando importante papel na ocupação da bacia (COELHO, 2009).

4. METODOLOGIA

Para classificar o clima da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, dentre as diversas possibilidades metodológicas, optou-se pela aplicação do método de Classificação Climática de Novais (2019). A escolha do método se deu pela sua facilidade de aplicação, sua organização hierárquica e, principalmente, pela abrangência escalar, sendo possível utilizá-lo nas diferentes dimensões de abordagem do tema, variando desde o clima de grandes áreas do globo, até unidades menores da paisagem, como um morro ou uma encosta.

O método de classificação se baseia no mapeamento de unidades climáticas, levando em consideração a temperatura média do mês mais frio (TMMM), a distribuição espacial da quantidade de meses secos ($P < ETP$), a atuação de sistemas meteorológicos e sua influência nos elementos climáticos, e na passagem de frentes frias com possibilidade da ocorrência de geadas (NOVAIS, 2019).

Para uma melhor compreensão da aplicação do método, serão apresentados nos tópicos e subtópicos subsequentes os critérios metodológicos para a hierarquização do clima e os procedimentos para a aplicação do método.

4.1 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE NOVAIS

A Classificação Climática de Novais organiza-se de forma hierarquizada, com um sistema estruturado em Zonas Climáticas, Climas Zonais, Domínios Climáticos, Subdomínios Climáticos, Tipos climáticos, Subtipos climáticos, Mesoclimas e Topoclimas, oportunizando uma adequação da abordagem a diferentes escalas geográficas.

Nesse contexto, mesmo áreas menores, como uma encosta, um pequeno morro ou um pequeno vale, por apresentarem características climáticas particulares que possibilitam o estabelecimento de uma unidade climática, podem ser classificadas, evitando-se, dessa forma, um generalismo que poderia mascarar suas características climáticas pontuais.

Uma das grandes vantagens da Classificação Climática de Novais é esse maior detalhamento na definição de unidades climáticas. Vale, contudo, ressaltar que a proposta traz a possibilidade de escolha do grau de detalhamento que se pretende atingir, levando sempre em consideração a dimensão espacial da área a ser estudada.

Para uma melhor compreensão da classificação, serão apresentadas, na sequência e organizadas em tópicos, as hierarquias utilizadas no método.

4.1.1 ZONAS CLIMÁTICAS

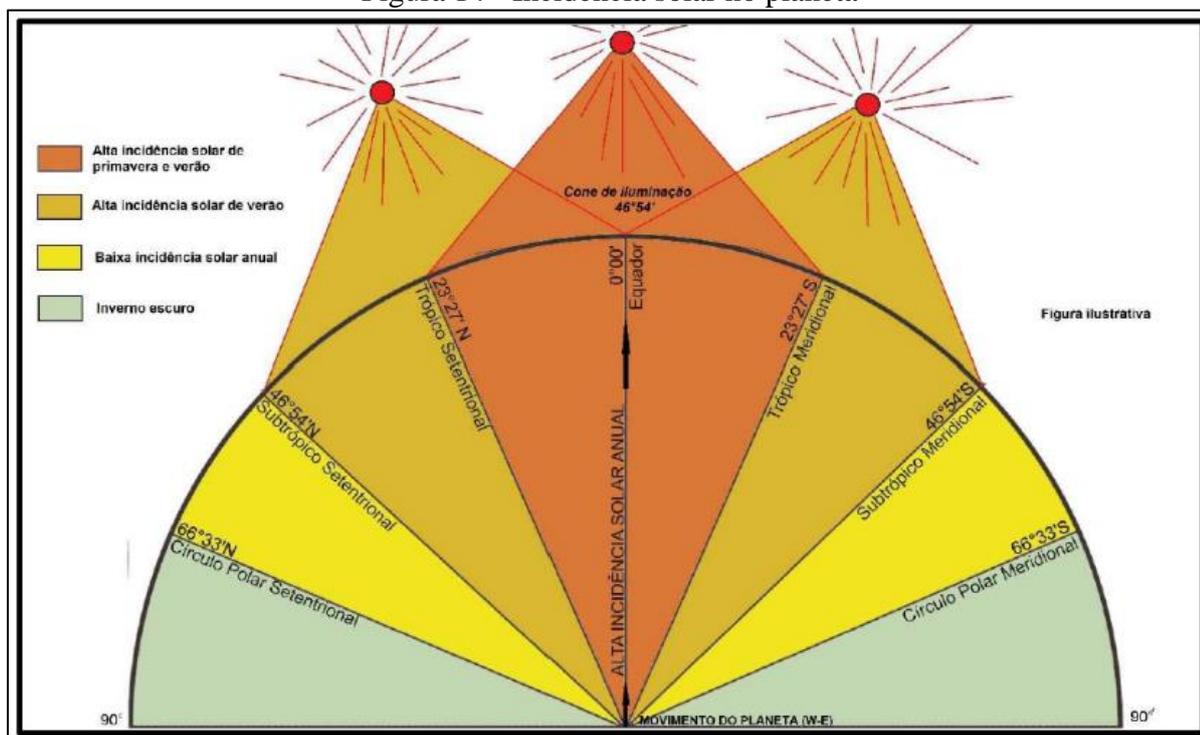
As zonas climáticas são estabelecidas com base na dinâmica de incidência de radiação solar na superfície terrestre, apresentando uma variação de intensidade de acordo, principalmente, com a variação latitudinal.

De acordo com Novais (2019, p. 68),

Um aspecto astronômico que influencia diretamente as unidades climáticas de abrangência Zonal e Global é o ângulo que o Sol faz com o zênite local. Essa altura meridiana (incidência) solar afeta a quantidade de radiação solar que a superfície do planeta recebe. Quanto maior a altura do Sol, mais concentrada será a intensidade da radiação por unidade de área na superfície da Terra.

A maior intensidade de incidência dos raios solares ocorre entre os trópicos de Câncer (hemisfério Norte) e Capricórnio (hemisfério Sul), conforme pode ser observado na Figura 12.

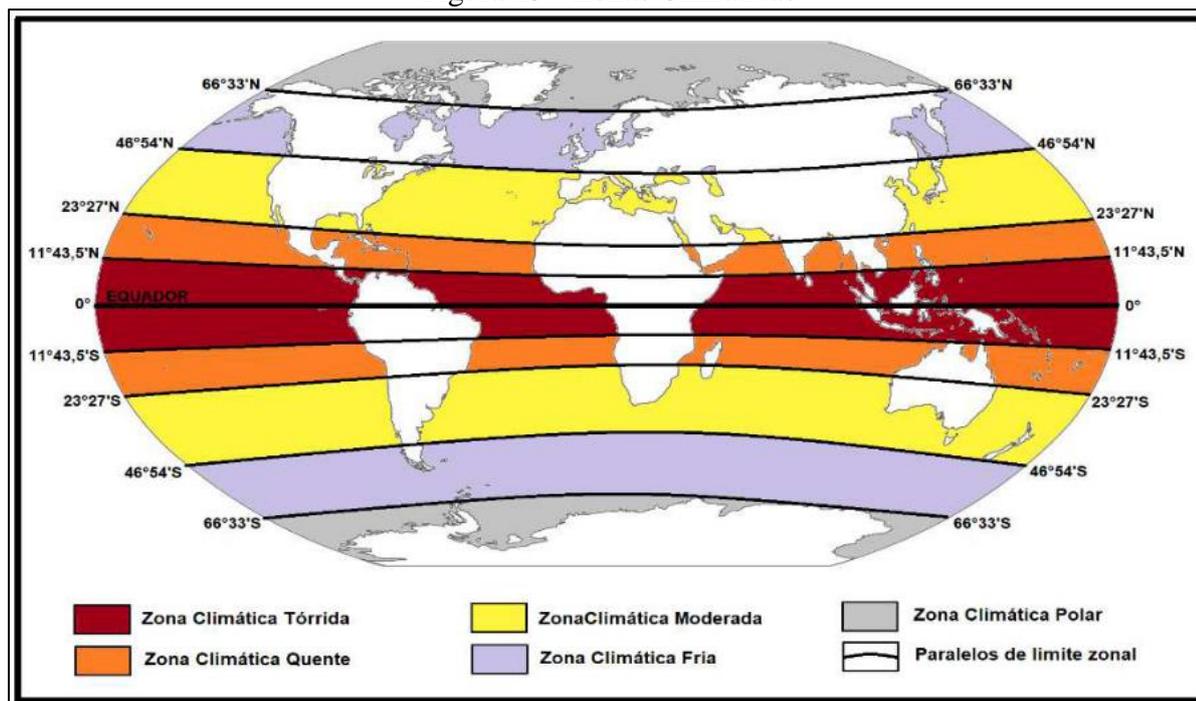
Figura 14 - Incidência solar no planeta



Fonte: (NOVAIS, 2019, p.69).

Com base na insolação do planeta, Novais (2019) estabeleceu as Zonas Climáticas fixas, distribuídas latitudinalmente e determinadas por linhas imaginárias de altura solar (Figura 13).

Figura 15 - Zonas Climáticas



Fonte: (NOVAIS, 2019, p. 70).

A Zona Climática Tórrida é caracterizada por intensa insolação anual, com duração do dia e da noite aproximadamente equivalentes. Situa-se sobre o equador e estende-se até a latitude de $11^{\circ}43'30''$ (Linha do Subequador). Nessa zona o Sol fica a pino duas vezes por ano, com distância zenital de $35^{\circ}10'30''$ (Norte ou Sul).

A Zona Climática Quente (Norte ou Sul) está compreendida entre a latitude de $11^{\circ}43'30''$ e a de $23^{\circ}27'$, em seus respectivos hemisférios. Nessa zona, no solstício de verão, o Sol segue uma trajetória próxima do zênite, contudo, no solstício oposto a trajetória solar é mais baixa. Por essa razão, o ciclo estacional é marcante, porém, combinado com elevada intensidade de insolação anual.

Na Zona Climática Moderada (Norte ou Sul) a variação dos contrastes estacionais é bastante notável, pois nessas zonas a trajetória média do Sol varia com maior amplitude, não atingindo em nenhuma época do ano o zênite. Também são notáveis as diferenças na duração dos dias e das noites, comparados com as zonas quente e tórrida. Os limites dessas zonas são as latitudes $23^{\circ}27'$ (Trópicos de Câncer e Capricórnio) até a latitudes $46^{\circ}54'$ (Norte ou Sul).

A Zona Climática Fria estende-se deste o Subtrópico Setentrional ou Meridional ($46^{\circ}54'$), até os Círculos Polares ($66^{\circ}33'$ Norte ou Sul). É uma zona de transição entre as Zonas Moderadas e Polares. Sobre os Círculos Polares a variação anual da duração do dia e da noite é extremamente grande e os contrastes de energia solar de solstício a solstício são enormes.

A Zona Climática Polar (Norte ou Sul) está compreendida entre o círculo polar (latitude 66°33') e o polo. Nessas zonas predomina o regime solar de seis meses de dia e seis meses de noite, apresentando o máximo de contraste na insolação solar. Nos polos somente na primavera e no verão ocorre iluminação direta do Sol. Durante o outono e o inverno, predomina a escuridão total. Durante o primeiro dia de inverno nessa região o Sol não aparece no horizonte, ocorrendo 24 horas de escuridão.

No Quadro 18 pode ser observada uma síntese dos limites utilizados para definir as Zonas Climáticas.

Quadro 18 - Limites Latitudinais das Zonas Climáticas

Zona Climática	Limites latitudinais
Tórrida	De 0° até 11°43'30'' (Norte ou Sul)
Quente	De 11°43'30'' até 23°27' (Norte ou Sul)
Moderada	De 23°27' até 46°54' (Norte ou Sul)
Fria	De 46°54' até 66°33' (Norte ou Sul)
Polar	De 66°33' ao polo (Norte ou Sul)

Fonte: Organizado pelo autor com base em Novais (2019).

4.1.2 CLIMA ZONAL

Na definição dos climas zonais, o principal critério de delimitação baseia-se na temperatura média do mês mais frio (TMMMF), sendo a temperatura o principal elemento climático nessa escala de abordagem, diferenciando-se latitudinalmente. “O clima zonal tem origem em sua própria zona climática, e não é fixo, podendo ultrapassar seus limites, alterando as condições térmicas em outras zonas climáticas” (NOVAIS, 2017, p. 1617).

Com base no critério da TMMMF são estabelecidos os climas zonais conforme pode ser observado no Quadro 19.

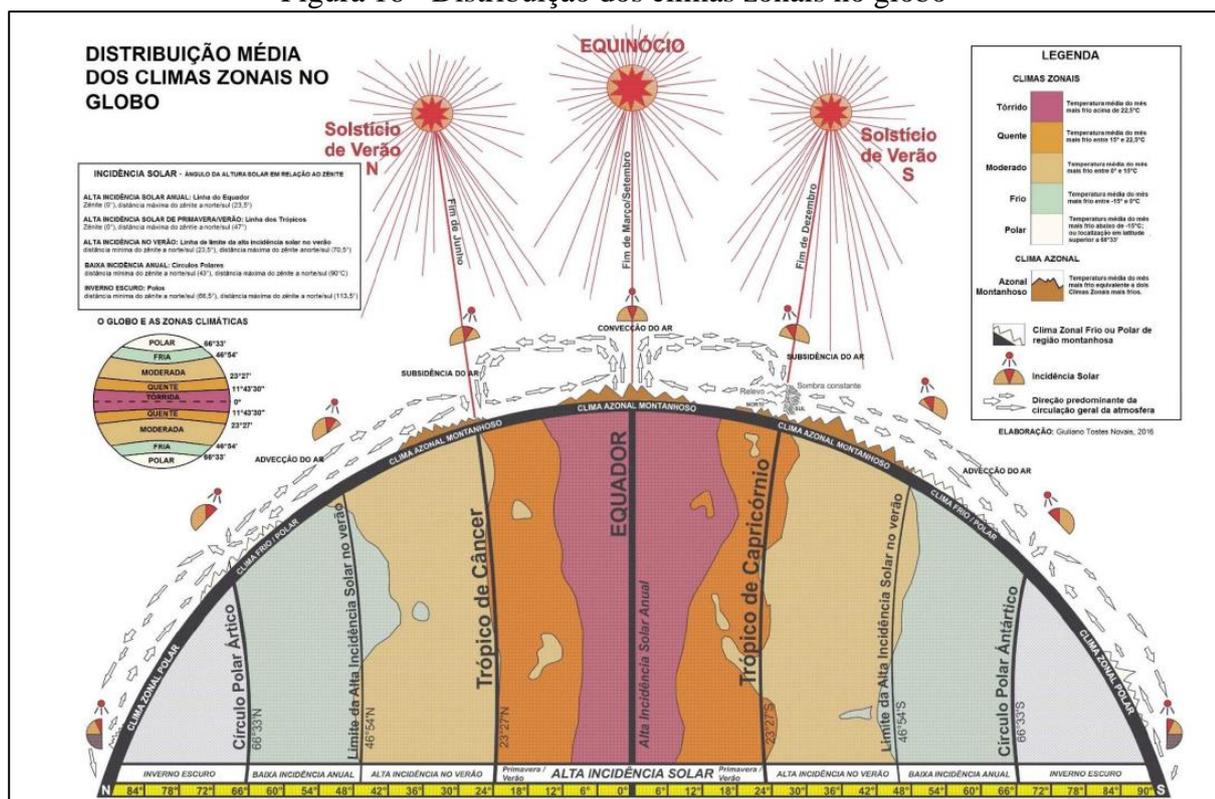
Quadro 19 - Critérios para definição dos Climats Zonais

Clima Zonal	Critério para definição
Tórrido	TMMMF superior a 22,5°C
Quente	TMMMF entre 15°C e 22,5°C
Moderado	TMMMF entre 14,9°C e 0°C
Frio	TMMMF entre -0,1°C e -15°C
Polar	TMMMF inferior a -15°C

Fonte: Organizado pelo autor com base em Novais (2019).

A distribuição dos climas zonais pode ser verificada na Figura 14, contudo, Novais (2019) ressalta que os limites entre eles não são absolutos.

Figura 16 - Distribuição dos climas zonais no globo



Fonte: (NOVAIS, 2017, p. 1619).

Como pode ser observado na distribuição média dos climas zonais no globo, Novais (2017) apresenta também o Clima Azonal que estaria associado a áreas de elevada altitude (em média acima de 3000 metros), onde a TMMMF é semelhante a dos dois climas zonais mais frios, localizados entre os Subtrópicos.

4.1.3 DOMÍNIOS CLIMÁTICOS

Os Domínios Climáticos são definidos a partir de dois critérios básicos: a TMMMF e a atuação dos sistemas atmosféricos. Segundo Novais (2019, p. 75),

Os Domínios Climáticos fazem parte da segunda hierarquia da classificação climática [...]. Essa hierarquia pertence a dimensão da escala regional, que segundo Sant'Anna Neto (2013), é mais complexa do que a escala global (Climas Zonais), resultando de uma combinação de dinâmicas e processos atmosféricos, tanto da ação da circulação geral, quanto da circulação secundária.

Os Domínios podem pertencer a mais de um Clima Zonal. A TMMMF é de suma importância na sua caracterização, mas também são controlados por sistemas meteorológicos como zonas de convergência de ventos e umidade, atuação de anticiclones, frentes frias e a possibilidade de formação de geada.

A partir dos critérios supracitados, foram, então, estabelecidos oito diferentes domínios na Classificação Climática de Novais. Os Domínios Climáticos e suas respectivas características são apresentadas no Quadro 20.

Quadro 20 - Critérios para a definição e delimitação dos Domínios Climáticos para o Brasil

DOMÍNIOS CLIMÁTICOS	CARACTERÍSTICAS
Equatorial	<ul style="list-style-type: none"> ✓ TMMMF acima de 22,5°C; ✓ Influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).
Equatorial Ameno	<ul style="list-style-type: none"> ✓ TMMMF entre 18°C e 22,4°C; ✓ Influência da ZCIT.
Tropical	<ul style="list-style-type: none"> ✓ TMMMF igual ou acima de 18°C; ✓ Atuação de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), Anticiclone Polar Sul (APS), em território brasileiro; ✓ Sem influência da ZCIT.
Tropical Ameno	<ul style="list-style-type: none"> ✓ TMMMF entre 15°C e 17,9° C; ✓ Atuação de ZCAS, ASAS, APS; ✓ Resfriamento adiabático do ar (altitude);
Subtropical	<ul style="list-style-type: none"> ✓ TMMMF entre 10°C e 14,9°C, por influência da passagem de frentes frias; ✓ Resfriamento adiabático do ar (altitude); ✓ Possibilidade de ocorrência de geada (Temperatura Mínima absoluta <3,5°C) pelo menos um dia no ano no Brasil.
Temperado	<ul style="list-style-type: none"> ✓ TMMMF entre 0° e 9,9°C, por influência da passagem de frentes frias; ✓ Resfriamento adiabático do ar (altitude); ✓ Possibilidade de ocorrência de geada (Temperatura Mínima absoluta <3,5°C) pelo menos um dia no ano.
Semiárido	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 12 meses secos, com precipitação média anual > 500 mm.
Árido	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 12 meses secos, com precipitação média anual < 500 mm.

Fonte: Novais (2019). Organizado por Allocca (2021).

Deve ser ressaltado que na classificação os Domínios Semiárido e Árido são definidos de forma distinta dos demais pois utilizam como base em outros critérios (quantidade meses secos e pela média de precipitação anual).

4.1.4 SUBDOMÍNIOS CLIMÁTICOS

Os Subdomínios Climáticos podem ser compreendidos como subdivisões dos Domínios e o critério que os define é a quantidade de meses secos. Para se obter a quantidade de meses secos calcula-se a diferença entre os valores mensais da Evapotranspiração Potencial (ETP) e da Precipitação (P). Quando o valor de ETP for maior que o valor de P, o mês é considerado seco.

A ETP é uma medida da quantidade de água que poderia ser perdida por evaporação do solo e transpiração das plantas, se houvesse água em quantidade suficiente disponível. É uma estimativa teórica que considera as condições climáticas, como temperatura, radiação solar, umidade do ar e velocidade do vento.

A Evapotranspiração Potencial descreve a demanda atmosférica de água em um determinado local e período de tempo, sendo uma importante variável para entender a influência do clima na perda de água do sistema solo-planta-atmosfera. Segundo Camargo & Camargo (2000), a principal fonte disponível de energia para esse processo é a radiação solar.

Consequentemente, a evapotranspiração potencial é mais alta durante o verão, quando os dias são mais longos e a radiação solar é mais intensa. Em regiões tropicais, ao longo do ano, a energia solar e a evapotranspiração potencial são consideravelmente mais elevadas em comparação com climas temperados.

Ao analisar a relação entre a evapotranspiração potencial e a precipitação de um local, é possível compreender melhor as características climáticas específicas da região, como a disponibilidade de água, a sazonalidade das chuvas, a ocorrência de períodos de seca ou excesso de água, entre outros aspectos. Essas informações são essenciais para planejar atividades agrícolas, gerir recursos hídricos, avaliar impactos ambientais e compreender os desafios relacionados à disponibilidade de água em uma localidade.

A Classificação de Novais, portanto, considerando a importante relação entre ETP e P estabelece os Subdomínios Climáticos, dividindo-os em:

- ✓ Úmido – quando a quantidade de meses secos ($ETP > P$) varia de zero a três meses;
- ✓ Semiúmido – quando a quantidade de meses secos ($ETP > P$) varia de quatro a cinco meses;
- ✓ Semiseco – quando a quantidade de meses secos ($ETP > P$) varia de seis a sete meses;
- ✓ Seco - quando a quantidade de meses secos ($ETP > P$) varia de oito a onze meses.

4.1.5 TIPOS CLIMÁTICOS

Na sequência hierárquica, os Tipos Climáticos remetem à localização dos Domínios e Subdomínios Climáticos no continente. Podendo ser delimitados com base em diferentes critérios, como a vegetação, o relevo a quantidade de meses secos e os sistemas atmosféricos atuantes em determinada área (Novais, 2019). Inicialmente, na Classificação Climática de Novais, os Tipos Climáticos foram elaborados para definir a localização geográfica dos Domínios e Subdomínios no território brasileiro, caso a classificação seja aplicada a outras áreas do planeta, possivelmente, serão adotados e propostos outros Tipos Climáticos. Novais e Machado (2023) atualizam os Tipos Climáticos propostos por Novais (2019), redefinindo-os para o território brasileiro, como pode ser verificado no Quadro 21. A espacialização dos Tipos para o território brasileiro pode ser observada na Figura 15.

Quadro 21 - Tipos Climáticos Brasileiros

Tipos Climáticos	
Meridional do Brasil	Engloba subdomínios mais úmidos, sendo influenciado diretamente pelas Massas Polares, tem médias térmicas reduzidas, principalmente no inverno. Esse Tipo, que antes se expandia até o limite do Tipo Central do Brasil, agora está mais próximo do Trópico de Capricórnio.
Central do Brasil	Apresenta subdomínios Semiúmidos e Semissecos, sendo delimitado pelo relevo: ao sul pelo Planalto Central, a leste pelo Espigão Mestre/Serra Geral de Goiás, a norte pela Chapada das Mangabeiras, e a oeste pelo Planalto dos Guimarães; é a área Central do Cerrado, onde não ocorrem geadas, com exceção de locais pontuais no limite com o Tipo Centro-Sul.
Litorâneo	Segue as planícies marinhas, juntamente com seus tabuleiros costeiros, limitando-se com as formações dos planaltos. Divide-se em: litorâneo Amazônico, litorâneo Norte, litorâneo Leste e litorâneo Sul do Brasil.
Ocidental	Está localizado em área de Cerrado, no centro do Mato Grosso, entre os Tipos Amazônico, Central, Centro-Sul e do Chaco (que engloba o Pantanal), caracterizado por subdomínios semiúmido e semisseco nessa faixa.
Amazônico	No Cerrado, aparece no Domínio Equatorial, onde ocorre a atuação máxima da ZCIT dentro do continente; fora do Cerrado, é delimitado pelo bioma da Floresta Amazônica.
Nordestino	Caracterizado pela vegetação de Caatinga, mas também pelo Cerrado e pela Mata Atlântica; abrange a todo o interior da Região Nordeste até o norte de Minas Gerais; na transição com os tipos Central e Meridional, aparece sob subdomínio Seco.
Oriental do Brasil	É representado pela área de transição entre os tipos mais secos (Nordeste), de influência marinha (Litorâneo leste) e com possibilidade de geada (Centro-Sul).
Centro-Sul do Brasil	Registro de pelo menos uma temperatura do ar mínima absoluta abaixo de 3,5°C (o que possibilita a ocorrência de geada no solo).

Fonte: Adaptado de Novais (2019) e Novais e Machado (2023).

Figura 17 - Tipos climáticos brasileiros, obtidos a partir da localização dos Domínios e Subdomínios climáticos.



Fonte: (NOVAIS E MACHADO, 2023, p. 20).

4.1.6 SUBTIPOS CLIMÁTICOS

Os Subtipos Climáticos, assim como os Tipos, também são delimitados por sua localização, contudo numa escala geográfica menor. Segundo Novais (2019, p. 77), os subtipos recebem

[...] muitas vezes nomenclaturas de cunho geomorfológico (morfoesculturas e formas de relevo); mas também podem coincidir com a localização de pequenos estados e mesorregiões geográficas oficiais. O componente estrutural geomorfológico, fato diretamente ligado à dinâmica climática atual e pretérita, serve para demarcar essas

unidades climáticas, demonstrando, claramente, o papel da superfície – topografia – e sua relação com os sistemas atmosféricos.

Pela escala climática adotada, podem ser aplicados a grandes regiões metropolitanas como São Paulo e Rio de Janeiro.

Como indicado anteriormente, os Subtipos serão estabelecidos no decorrer da classificação climática de uma área e a nomenclatura definida por quem está aplicando o método, com base nos critérios estabelecidos na Classificação Climática de Novais. Para a classificação climática no território nacional, os Subtipos Climáticos são definidos a partir do mapa de unidades geomorfológicas do banco de dados do IBGE.

4.1.7 MESOCLIMAS E TOPOCLIMAS

Representando as duas últimas hierarquias da classificação, os Mesoclimas e Topoclimas são delimitados, segundo Novais *et al.* (2018, p. 228) por

[...] elementos geomorfológicos de pequenos táxons (como geossistemas, geótopos e geofácies), acidentes geográficos de grande destaque na paisagem e também por grandes aglomerações urbanas (metrópoles). Por existirem inúmeros locais possíveis para a delimitação dos meso/topoclimas na paisagem continental brasileira, esse nível climático tem a possibilidade de ser estudado por muitos anos ainda, tanto regionalmente, quanto localmente.

Nessa escala de abordagem, as possibilidades de classificação são muito amplas, ficando a critério do pesquisador explorar as características climáticas dentro desse nível de detalhamento.

4.2 PROCEDIMENTOS PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE NOVAIS (2019)

4.2.1 AQUISIÇÃO DE DADOS ESPACIAIS

Para aplicação da Classificação Climática de Novais (2019) a primeira etapa consistiu no levantamento da base cartográfica (limites da bacia, limites estaduais, limites municipais, altimetria, hidrografia etc) da área de estudos. A partir dados disponíveis no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) foram baixados os arquivos digitais em formato *shapefile (.shp)* utilizados no mapeamento inicial para delimitação da área de interesse. Os arquivos foram trabalhados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) através *software* ArcMap 10.5, do pacote ArcGis by *Environmental Systems Research Institute, Inc.* (Esri).

4.2.2 AQUISIÇÃO DE DADOS CLIMÁTICOS

Com a delimitação da área de interesse, a próxima etapa consistiu na aquisição dos dados climáticos (temperatura média mensal e precipitação média mensal) necessários para o desenvolvimento da classificação climática. Esses dados foram obtidos junto ao banco de dados do *Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas* (CHELSA), elaborado por Karger *et al.* (2017). Para New *et al.* (2000) a utilização de novos bancos de dados representa novas possibilidades para o desenvolvimento da climatologia.

O CHELSA é

[...] um conjunto de dados climáticos de alta resolução (30 segundos de arco ~1 km) para as áreas de superfície terrestre, atualmente hospedadas pelo Instituto Federal Suíço de Pesquisa de Floresta, Neve e Paisagem WSL. Desenvolvido em cooperação com o Departamento de Geografia da Universidade de Hamburgo, a Universidade de Zurique e a Universidade de Göttingen (NOVAIS, 2019, p. 59).

Os dados estão disponibilizados para *download* através do endereço eletrônico <https://chelsa-climate.org/> e foram gerados com base nos processamentos de Reanálise do ERA-Interim, combinando resultados de modelagem e recuperação de informações coletadas sobre a superfície terrestre através de diferentes meios, dentre eles navios, aviões, radiossondas e satélites (NOVAIS, 2019).

A utilização dos dados disponibilizados através do CHELSA é uma opção muito oportuna no levantamento de dados climáticos, sobretudo considerando sua cobertura espaço – temporal.

Os dados utilizados na classificação da Bacia do Rio Doce estão compreendidos entre os anos de 1979 e 2013 e a cobertura espacial, conforme apresentado anteriormente, é de aproximadamente 1 quilômetro quadrado. Tal característica faz com que o CHELSA seja uma excelente opção para o levantamento de dados em áreas onde há escassez de estações meteorológicas ou uma distribuição insuficiente dos postos de coleta, como é o caso do território brasileiro.

Para Daly *et al.* (2002) a utilização de técnicas estatísticas e novos bancos de dados para facilitar a produção de mapas climáticos aumentou nos últimos anos. No entanto, os dados observacionais são muitas vezes escassos e pouco representativos para apoiar diretamente a criação de mapas climáticos. Nesse sentido, dados de alta qualidade, como os disponibilizados pelo CHELSA, são de grande relevância.

Em testes estatísticos realizados por Novais (2019) para utilização de dados climáticos relativos à área que abarca o Bioma Cerrado, ficou atestada a precisão dos dados obtidos junto ao CHELSA comparada aos valores registrados nas estações oficiais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para avaliar o desempenho do algoritmo utilizado para definição das temperaturas do ar no Bioma Cerrado, foram feitas comparações entre a temperatura média anual do CHELSA, durante o período de 1979 a 2013, com 41 estações do INMET espalhadas por toda a área de estudo. Em mais de 90% das análises, a diferença da temperatura foi menor que 1°C; e em 73% menor que 0,5°C. Esse erro foi considerado aceitável [...], o coeficiente de determinação (R²) se ajustou ao modelo linear em 0,9595 (NOVAIS, 2019, p. 80).

Os dados disponibilizados pelo CHELSA, segundo Novais (2019, p. 60),

tem uma correlação direta com as imagens SRTM, derivando em mapas mais próximos da realidade, onde as isotermas acompanham as curvas de nível do terreno. Portanto, o padrão de distribuição de temperatura na atmosfera livre pode ser considerado diretamente relacionado à elevação da superfície.

4.2.3 DELIMITAÇÃO DAS UNIDADES CLIMÁTICAS

Após a organização dos dados espaciais básicos e dos dados climáticos, a sequência dos procedimentos para a aplicação da classificação climática envolve a geração dos produtos cartográficos contendo as delimitações das unidades. Todo o processo é pautado na organização hierárquica proposta no método de Novais (2019), tendo como espaço de trabalho o ambiente SIG e como referência os critérios estabelecidos para a classificação.

Para delimitação dos Domínios Climáticos, os arquivos em formato *raster* contendo as temperaturas médias mensais do período entre os anos de 1979 e 2013 foram analisados com a finalidade de estabelecer os valores de TMMMF. O mês de julho, para o banco de dados analisado, foi o que apresentou os menores valores térmicos na Bacia Hidrográfica do Rio Doce. Com base nessa informação, os valores térmicos médios do *raster* do mês de julho foram organizados em classes correspondentes aos intervalos de referência de temperatura, definindo, assim, cada domínio climático. Além da observação dos valores térmicos, foi feito o levantamento dos sistemas atmosféricos atuantes sobre a área de estudos.

Na sequência do processo de classificação climática, foi determinada a espacialização da quantidade dos meses secos. Essa etapa, consiste na realização do Balanço Hídrico Normal (THORNTWAITE & MATHER, 1955) para a determinação dos valores de Evapotranspiração Potencial (ETP). Dessa forma, através da diferença entre a ETP e a Precipitação (P), são

determinados os meses secos, definidos pela seguinte relação: quando a ETP é maior que a P, o mês é considerado seco.

Originalmente, para a realização do balanço hídrico, Novais (2019) utilizou a planilha desenvolvida por Sentelhas *et al.* (1998). A utilização da planilha depende da inserção de dados pontuais (temperatura, precipitação, localização etc) estabelecidos na área de interesse de aplicação do método de classificação climática. Após a realização do balanço hídrico em cada ponto de coleta de dados previamente selecionado, foi realizado um procedimento de interpolação de dados, através do interpolador *Spline*, contendo a informação sobre a quantidade de meses secos para que se pudesse estimar as informações naqueles pontos da área de estudos que não haviam sido definidos como pontos de coleta de dados. Após a interpolação de dados, os limites da espacialização da distribuição da quantidade dos meses secos foram ajustados pelo autor, tendo como critérios informações geográficas da área estudada, como o relevo e a hidrografia.

Para a realização da classificação climática da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, optou-se por um novo método de espacialização das informações sobre a quantidade de meses secos. O método adotado consiste na utilização de modelagem através do *software* DINAMICA EGO versão 5, desenvolvido e disponibilizado gratuitamente pelo Centro de Sensoriamento Remoto (CSR) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). O DINAMICA EGO, permitiu, com base nos modelos utilizados por Machado (2021), estimar e espacializar, pixel a pixel, os valores de ETP e, conseqüentemente, a quantificação dos meses secos. Esse procedimento, excluiu a necessidade da realização da interpolação dos dados, gerando informações com maior acurácia espacial e estatística por não utilizar informações estimadas por processos de interpolação.

A definição e delimitação dos Subdomínios Climáticos é elaborada pela combinação das informações geradas na espacialização dos Domínios Climáticos (médias térmicas) e da quantidade dos meses secos. Nessa etapa, utilizando o *software* ArcMap, são gerados arquivos no formato *shapefile* baseados na sobreposição das informações.

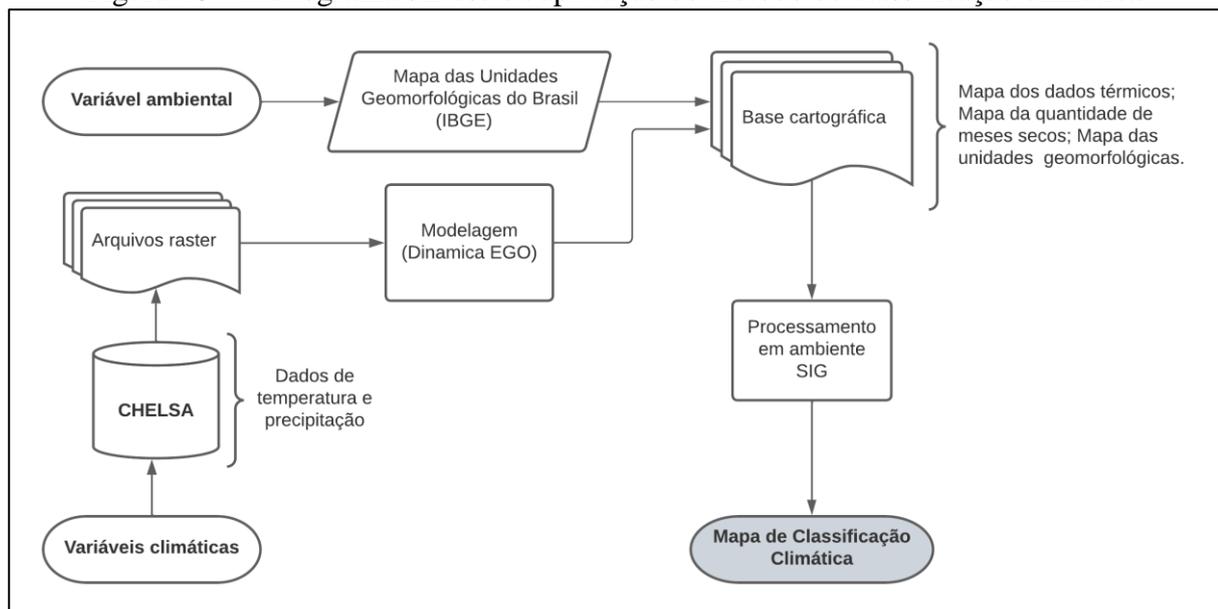
Os Tipos Climáticos, por sua vez, foram delimitados com base nos critérios relativos ao tipo de relevo, de vegetação, da distribuição dos meses secos, dos sistemas atmosféricos atuantes e da possibilidade da ocorrência de geadas. Para a verificação da possibilidade da ocorrência de geadas, foram utilizados dados das estações meteorológicas oficiais do INMET, a partir dos quais verificou-se a ocorrência e a frequência do registro de temperaturas menores que 3,5°C, valor térmico que, segundo Novais (2019), seria propício para a formação de geadas.

Considerando a escala geográfica da área abarcada neste trabalho, os Subtipos Climáticos configuram o último nível hierárquico definido na classificação ao nível da totalidade da bacia, sendo definidos com base nas características geomorfológicas, visando melhor localizar as unidades climáticas de escalas geográficas menores, revelando a interação entre superfície, topografia e sistemas atmosféricos.

Após o estabelecimento dos Subtipos, optou-se pela escolha do município de Ponte Nova, no estado de Minas Gerais, como objeto de análise para exemplificar a definição dos Mesoclimas e dos Topoclimas. Essa opção, relaciona-se ao fato de que a Classificação Climática de Novais, por sua proposta de abordagem organizada em hierarquias, permite classificar o clima de unidades espaciais menores. Dessa forma, pode ser demonstrada, de forma prática, sua versatilidade e capacidade de classificar o clima com grande nível de detalhamento.

Na Figura 16 pode ser observada uma síntese dos procedimentos metodológicos para a aplicação da proposta de classificação climática.

Figura 18 – Fluxograma síntese da aplicação do método de classificação climática



Fonte: Organizado pelo autor.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ESPACIALIZAÇÃO E ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO NA BHRD

A espacialização das chuvas na Bacia Hidrográfica do Rio Doce apresenta uma distribuição bastante complexa, sendo resultante, conforme indicado por Cunha (2020), da interrelação entre os sistemas atmosféricos (frentes polares, ZCAS e ASAS), sua posição geográfica em relação ao oceano (efeito da maritimidade) e a topografia que apresenta grande variação de feições e cotas altimétricas.

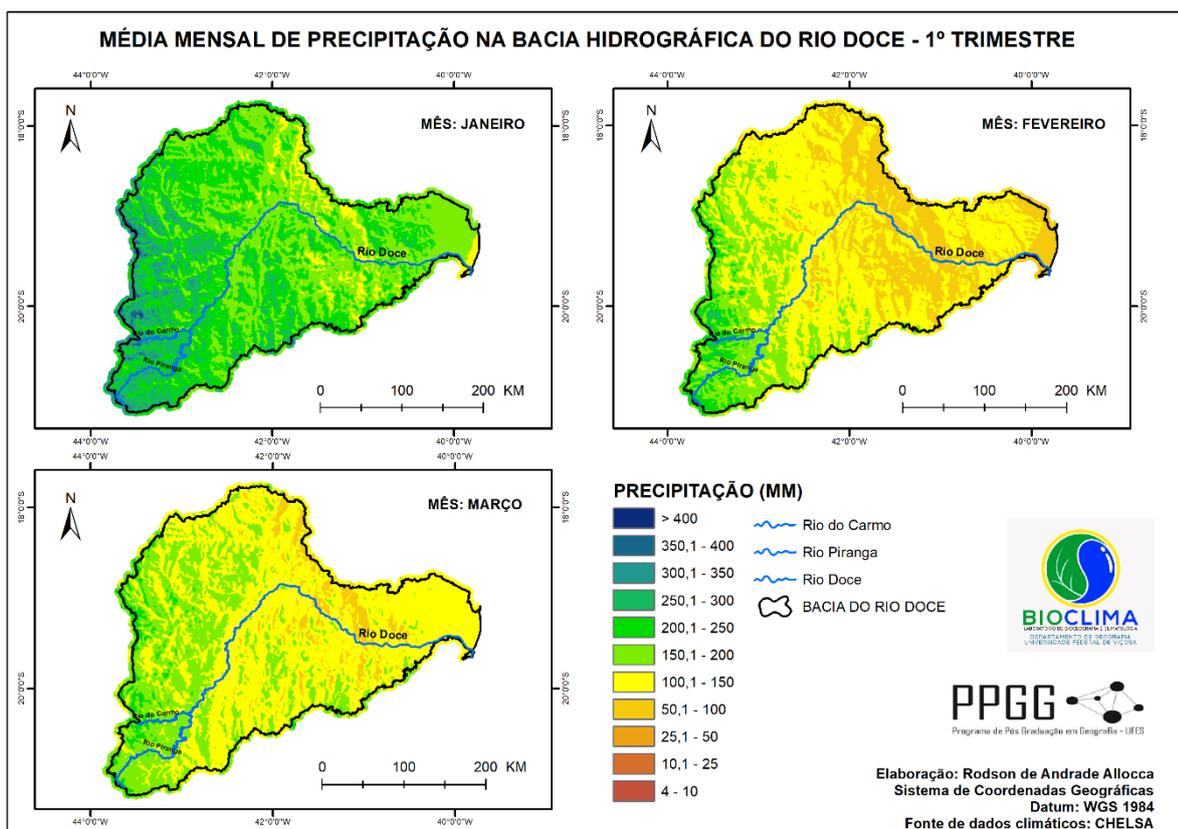
De maneira geral, os ventos alísios penetram na bacia a partir do litoral, no sentido leste – oeste, provocando condições de maior umidade nas vertentes à barlavento. A disposição de algumas serras como a da Mantiqueira, do Espinhaço e do Caparaó, quase todas orientadas no sentido norte – sul, facilitam o avanço do ar polar e servem como barreiras às correntes de leste, influenciando nas condições de temperatura, além de condicionarem a distribuição espacial das chuvas, gerando “ilhas” úmidas nas vertentes leste e sudeste e, “ilhas” secas nas vertentes oeste e norte (SANT’ANNA NETO, 2005).

Nimer (1989) indica que a posição da região Sudeste, por estar em uma Zona Tropical e pela presença da faixa litorânea, favorece forte evaporação e condensação em razão dos índices de radiação e da presença do oceano. Esses fatores, na interação com as feições do relevo da bacia e da circulação atmosférica, contribuem para a ocorrência de chuvas por efeito orográfico. A precipitação atmosférica formada como resultado do fluxo de ar úmido sobre e ao redor de colinas e montanhas é um controle importante no padrão global de precipitação (HOUZE, 2012).

Para uma melhor visualização e análise da distribuição espacial dos valores médios de precipitação na área estudada, foram elaborados mapas mensais, agrupados por trimestres.

Durante o primeiro trimestre, conforme pode ser observado na Figura 17, o mês de janeiro apresenta os maiores volumes de precipitação. A distribuição da precipitação é maior nas áreas elevadas a oeste, na região da Serra do Espinhaço onde as médias são, geralmente, superiores a 300 mm. Em direção a leste, temos uma redução gradual da precipitação, com destaque para algumas áreas no centro-sul e centro-norte da bacia, onde os valores médios variam entre 100 e 150 mm, nas vertentes a sotavento. Nas proximidades com o litoral, na transição entre as unidades geomorfológicas do Patamar Centro-Norte Capixaba e dos Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro-Oriental, os valores de precipitação variam entre 150 e 250 mm. Já na unidade geomorfológica do Delta do Rio Doce os valores de precipitação voltam a ficar entre 100 e 150 mm.

Figura 19 - Precipitação média (1979 – 2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (1º Trimestre)



Fonte: Elaborado pelo autor.

No mês de fevereiro, de maneira geral na comparação com o mês de janeiro, temos uma redução dos valores de precipitação. A porção oeste, continua apresentando os maiores volumes de precipitação e à medida que seguimos na direção leste, podemos perceber uma redução da precipitação que varia entre 100 e 150 mm na porção central e entre 50 e 100 mm em algumas áreas do centro-sul e centro-norte. Essa característica de variabilidade dos volumes de precipitação percebida na região central da bacia pode ser uma evidência do que Sant'Anna Neto (2005) aponta como a ocorrência de “ilhas” úmidas e “ilhas” secas, um reflexo direto da ação do relevo e da orientação das vertentes na distribuição das chuvas.

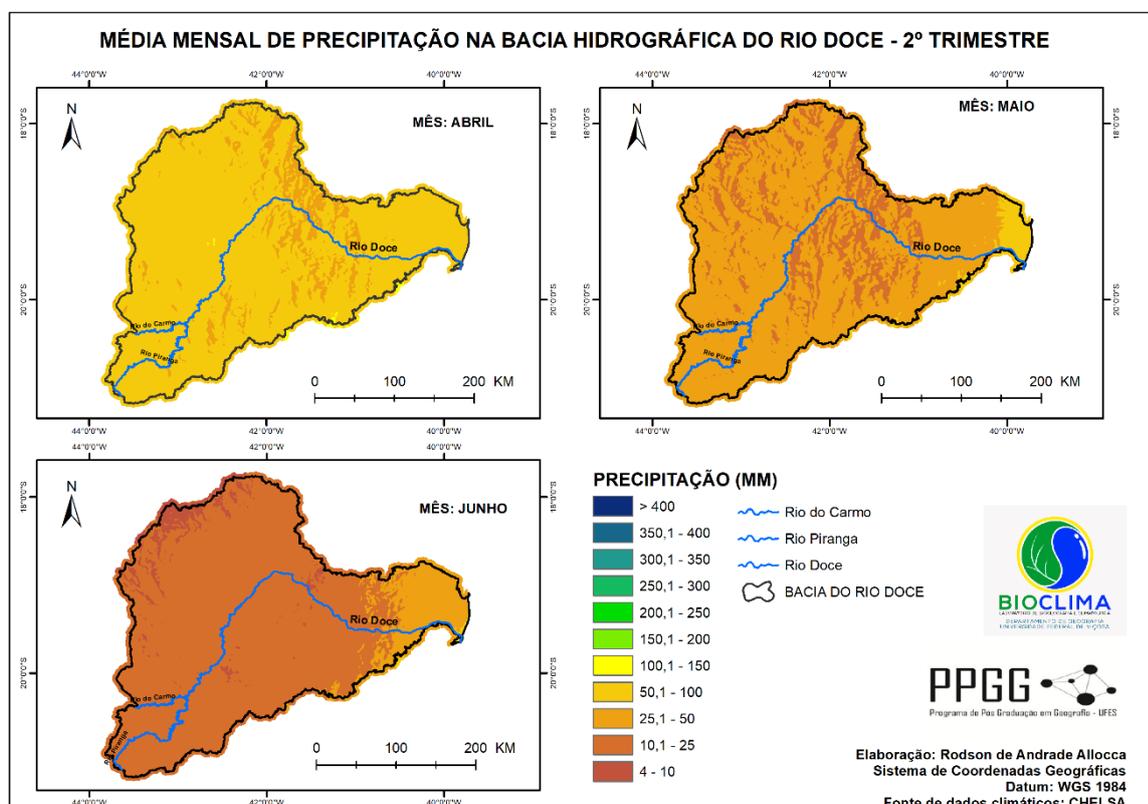
Em março, temos os menores valores de precipitação do trimestre, contudo, o padrão de distribuição das chuvas se mantém semelhante aos meses de janeiro e fevereiro. A porção localizada mais a leste, apresenta valores entre 100 e 150 mm, assim como grande parte da porção central da bacia. Devido a variabilidade do relevo, podemos verificar a ocorrência de áreas menores tanto mais úmidas (150 e 200 mm), quanto áreas menores mais secas (50 a 100 mm), reforçando a influência do relevo na distribuição da precipitação. A oeste, os valores nas

áreas mais elevadas variam entre 150 e 250 mm, configurando-se como localidades mais úmidas no mês.

Nos meses subsequentes, compondo o segundo trimestre, como pode ser observado na Figura 18, os valores de precipitação são menores em comparação ao primeiro trimestre. No mês de abril predominam, em quase toda a extensão da bacia, médias de precipitação que variam entre 50 e 100 mm. Em certas áreas nas porções centro-sul e centro-norte da bacia é possível perceber uma redução dos valores de precipitação, com médias variando entre 25 e 50 mm. Essa redução decorre da disposição do relevo, pois essas áreas encontram-se posicionadas à sotavento em relação ao caminho percorrido pelas massas úmidas advindas do oceano Atlântico, refletindo o importante papel do relevo e sua interação com a circulação atmosférica na distribuição das chuvas.

É importante ressaltar que com o início do outono, no final do mês de março, temos gradativamente uma redução da eficiência da radiação na geração de calor e, conseqüentemente, de umidade do ar. Essa condição pode ser considerada como um fator que contribui e, de certo modo justifica, a redução de precipitação observada e que irá persistir nos próximos meses.

Figura 20 - Precipitação média (1979 – 2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (2º Trimestre)



Fonte: Elaborado pelo autor.

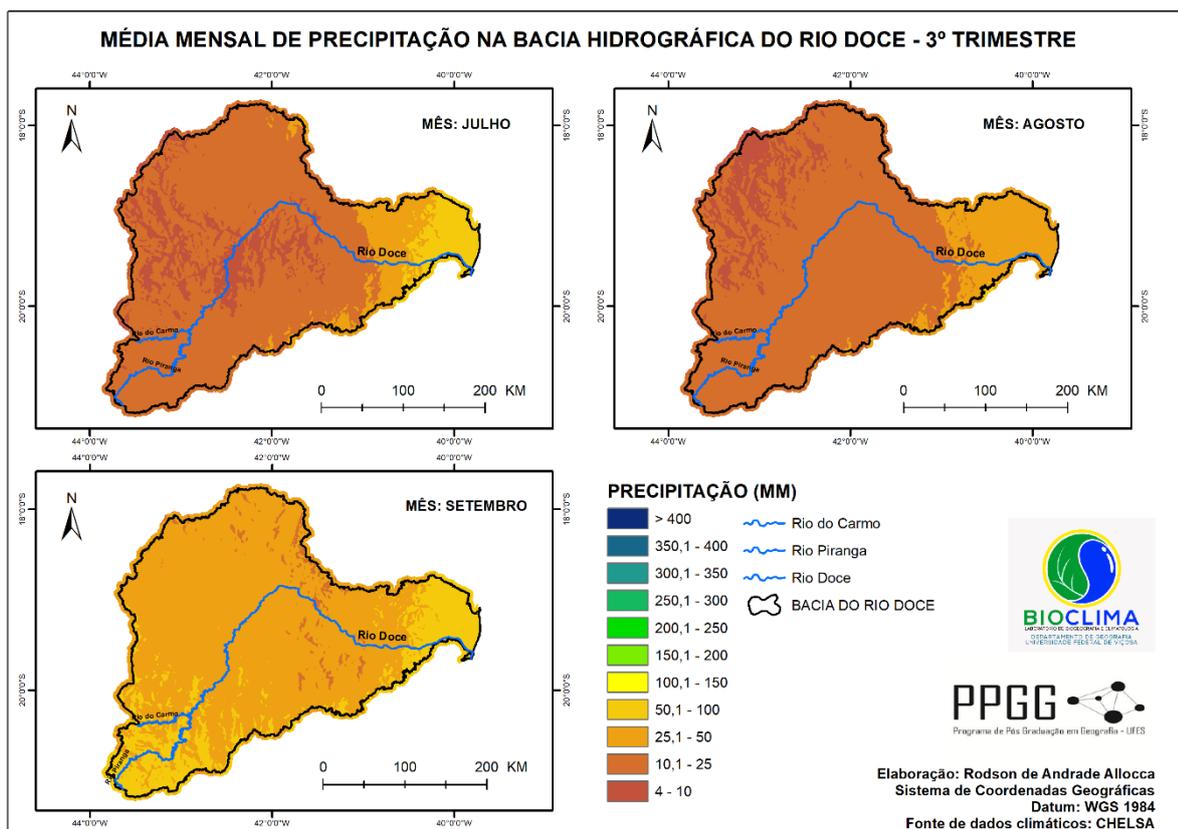
O mês de maio é marcado pelo predomínio de médias entre 25 e 50 mm, contudo, é possível perceber que, em algumas áreas, os valores se apresentam de forma distinta. Ao observarmos o mapa de precipitação do segundo trimestre, conseguimos identificar que em várias localidades, a exemplo do que ocorreu no mês de abril, porém de forma mais expressiva, a precipitação média se reduz, variando entre 10 e 25 mm.

Na porção litorânea, na unidade geomorfológica do Delta do Rio Doce e em áreas mais elevadas nos limites a sudeste da bacia, o efeito da maritimidade mantém as médias de precipitação acima do que se é observado no restante da bacia, com valores entre 50 e 100 mm, configurando áreas mais úmidas.

Em junho podemos observar com clareza a variação da precipitação em três áreas distintas. A porção localizada a oeste apresenta-se mais úmida, apresentando os maiores volumes médios de precipitação. Na planície litorânea a precipitação varia entre 50 e 100 mm, já nas áreas das unidades geomorfológicas do Delta do Rio Doce e dos Tabuleiros do Brasil Centro-Oriental os valores médios variam entre 25 e 50 mm. No interior da bacia predominam as médias entre 10 e 25 mm, com algumas exceções pontuais nas unidades geomorfológicas das Serrarias da Zona da Mata Mineira e do Bloco Montanhoso dos Pontões Capixabas, onde os valores são menores, variando entre 4 e 10 mm. Os valores mais baixos também são encontrados nas áreas elevadas a noroeste da bacia, nas vertentes a sotavento das unidades geomorfológicas do Planalto da Zona Metalúrgica Mineira e do Planalto Dissecado do Suaçuí Grande.

Nos primeiros meses do terceiro trimestre as médias de precipitação ainda são relativamente baixas (Figura 19). Em julho, em algumas localidades da porção centro-oeste da bacia, os valores médios de precipitação variam entre 4 e 10 mm representando os menores valores observados para o período na área de estudos. Nas porções situadas à sudoeste, ao norte e sul da bacia é possível observarmos valores de precipitação média entre 10 e 25 mm. Em direção à foz, os valores tornam-se mais elevados e nas unidades geomorfológicas dos Patamares Centro-Norte Capixabas, dos Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro-Oriental e do Delta do Rio Doce, onde o efeito da maritimidade se faz mais influente, os valores variam entre 25 e 50 mm na primeira unidade e, entre 50 e 100 mm, nas unidades subsequentes.

Figura 21 - Precipitação média (1979 – 2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (3º Trimestre)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante o mês de agosto temos pequenas mudanças no padrão de chuvas. Toda a área central da bacia apresenta valores médios de precipitação entre 10 e 25 mm, não ocorrendo, portanto, diferenças pontuais nessa área em relação ao que se observa no mês de julho. Em contrapartida, na porção noroeste da bacia os valores médios variam entre 4 e 10 mm, configurando as áreas com as menores médias de precipitação no mês.

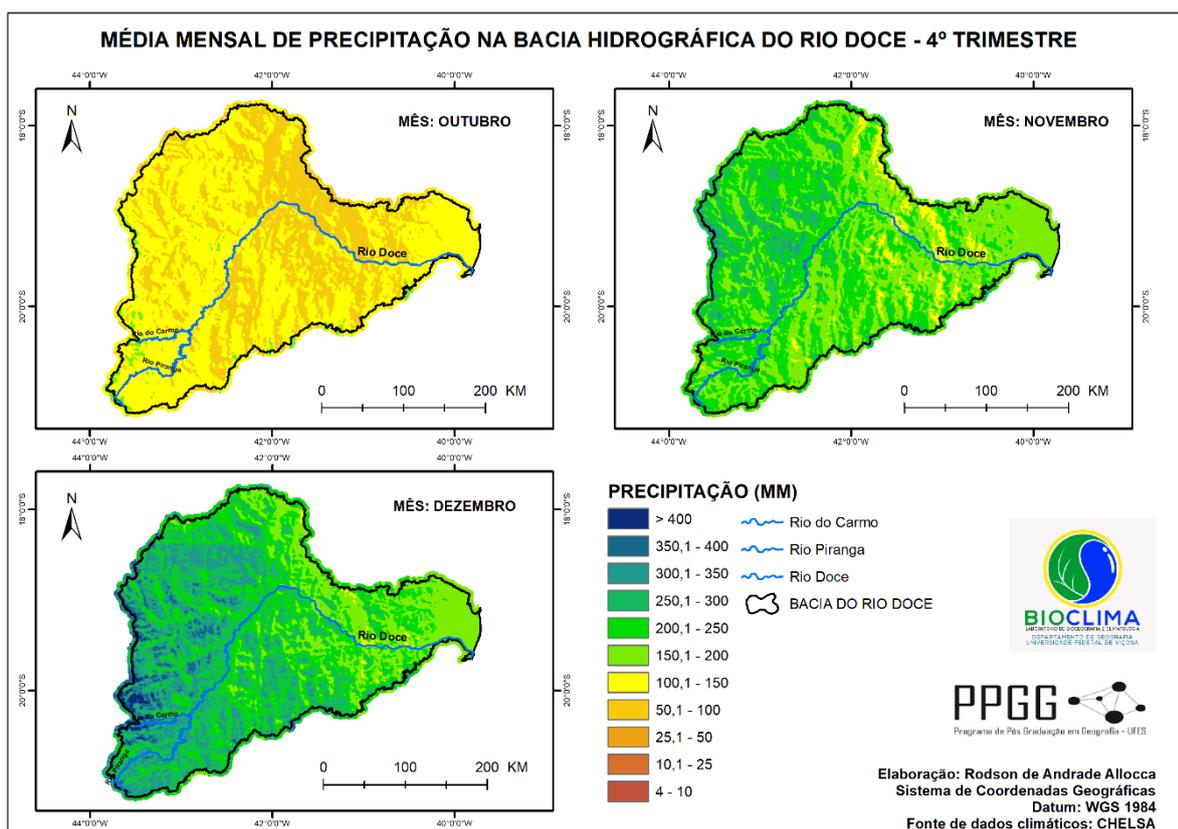
Na porção leste da bacia, podemos observar valores médios entre 25 e 50 mm. Comparativamente ao mês de julho, nessa área situada mais a leste, ocorre uma homogeneização das médias, não há mais distinção das médias pluviométricas entre as unidades presentes nessa porção específica. Os maiores valores para o mês ocorrem na área em questão, refletindo a influência da proximidade com o oceano.

Setembro é o mês que fecha o trimestre e representa a transição entre o inverno e a primavera. Podemos perceber pelo mapa (Figura 19) que a precipitação média aumenta, sutilmente, em quase toda a bacia. Nas áreas elevadas do sudoeste, nas proximidades dos locais do alto curso do Rio Piranga e do Rio do Carmo, formadores do Rio Doce, os valores médios variam entre 50 e 100 mm.

Ao longo do curso principal do Rio Doce, no interior da bacia, temos uma redução das precipitações e nessas áreas as médias variam entre 25 e 50 mm, com exceção de alguns pontos das porções centro-norte e centro-sul, onde os valores não ultrapassam 10 mm. Nas áreas a leste, assim como ocorreu no sudoeste, foram registradas as maiores médias, com valores entre 50 e 100 mm.

O quarto e último trimestre, como podemos observar na Figura 20, apresenta médias mais elevadas do que o segundo e o terceiro trimestre. Durante o mês de outubro as médias pluviométricas nas áreas centro-norte e centro-sul da bacia variam entre 50 e 100 mm em algumas localidades e entre 100 e 150 mm em outras, condição que pode estar relacionada à orientação das vertentes em relação ao avanço das massas de ar. Nesses pontos, mais uma vez, há um forte indício da influência da topografia na distribuição das chuvas.

Figura 22 - Precipitação média (1979 – 2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (4º Trimestre)



Fonte: Elaborado pelo autor.

A leste, as médias variam entre 100 e 150 mm e há maior homogeneidade na distribuição, sobretudo nas unidades geomorfológicas mais próximas ao litoral. Em alguns pontos nos limites a sudeste, sul e sudoeste da bacia, além de alguns locais na porção centro-

sul, a precipitação média é mais expressiva, atingindo médias entre 150 e 200 mm, os maiores valores observados para o mês.

Em novembro, com a elevação gradual das temperaturas, temos maior disponibilidade de umidade e, conseqüentemente, uma elevação das médias de precipitação em direção ao interior da bacia, resultante da interação das massas de ar com o relevo. Nas áreas mais elevadas da bacia, a oeste, podemos observar médias entre 300 e 350 mm. No interior da bacia e nas áreas à leste, predominam médias entre 200 e 250 mm. Nas encostas à sotavento das unidades geomorfológicas do Bloco Montanhoso dos Pontões Capixabas e Mineiros, do Patamar Centro-Norte Capixaba e da Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce as médias observadas variam entre 100 a 150 mm.

Ao longo do trimestre ocorre uma gradual elevação nos valores médios de precipitação. Ao observarmos a Figura 20, é possível verificar que no mês de outubro, os valores de precipitação, de maneira geral, já são mais elevados que os do mês anterior. Os valores mais elevados de precipitação variam entre 150 e 200 mm e concentram-se em áreas pontuais da bacia, como nas áreas elevadas a oeste, na unidade geomorfológica das Serras do Espinhaço Meridional e do Planalto da Zona Metalúrgica, nos limites ao sul e a sudeste da bacia, nas unidades geomorfológicas das Serrarias da Zona da Mata Mineira, da Serra do Caparaó, dos Pontões das Bacias dos Rios Doce e Itapemirim e no Planalto da Pedra Azul Capixaba.

Nas áreas a leste da bacia associadas ao litoral e sob efeito da maritimidade, as médias variam entre 100 e 150 mm, apresentando-se de forma mais homogênea, já nas porções centro-norte, centro-sul e oeste, temos um mosaico de localidades onde podem ser identificadas áreas com precipitação média entre 100 e 150 mm, possivelmente nas vertentes a barlavento, e outras com precipitação entre 50 e 100 mm, associadas às vertentes a sotavento.

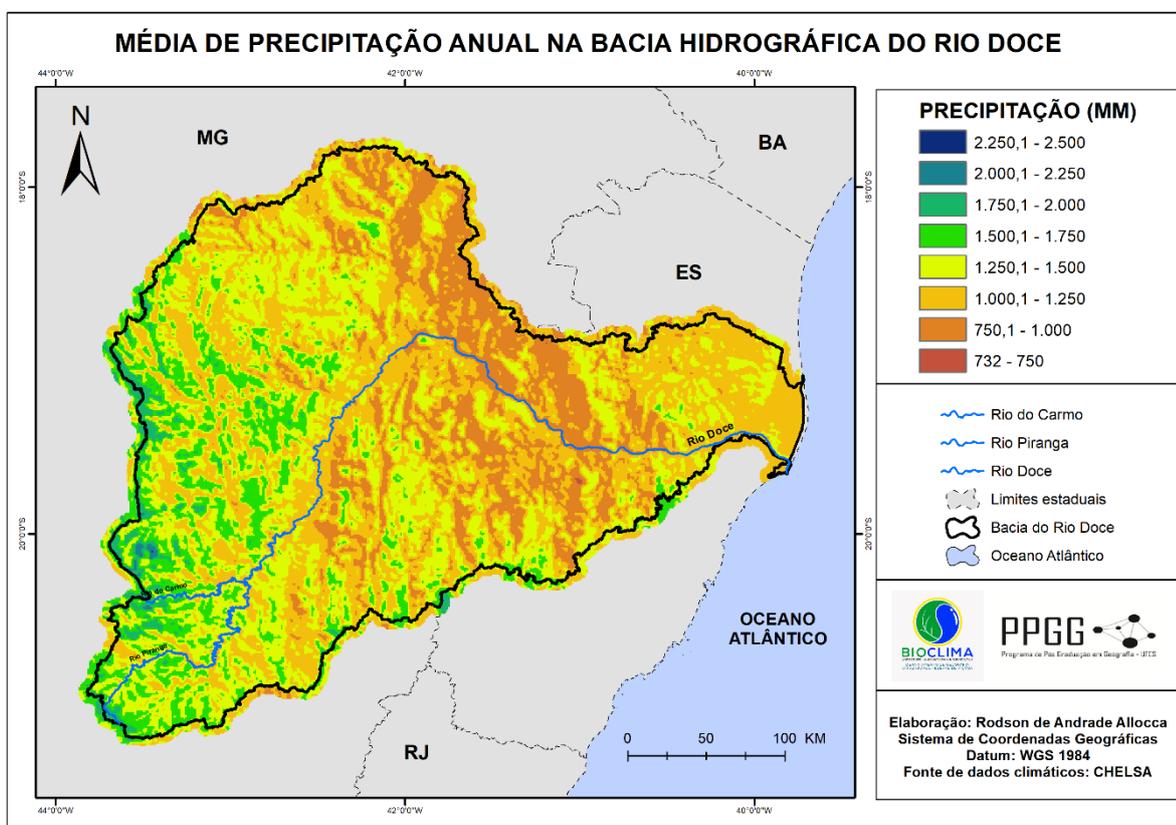
Em novembro as médias de precipitação elevam-se ainda mais, a rugosidade e maiores altitudes nos terrenos a oeste da bacia fazem com que, em algumas áreas, as médias estejam entre 300 e 350 mm, configurando os pontos mais chuvosos da bacia. Nas demais áreas da bacia a precipitação varia entre 150 e 300 mm. As exceções são algumas localidades nas unidades geomorfológicas da Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce, do Patamar do Divisor dos Rios Doce, Mucuri e São Mateus, do Patamar Centro-Norte Capixaba e dos Morros e Montanhas do Centro-Sul Capixaba, onde as médias variam entre 100 e 150 mm.

Fechando o último trimestre, o mês de dezembro apresenta as maiores médias de precipitação para o recorte espaço-temporal analisado. Nas áreas mais elevadas a oeste, os valores médios de precipitação superam 400 mm e nas demais áreas os valores médios são menores e apresentam variação, contudo, apresentando-se sempre superiores a 150 mm. Em

alguns pontos, nas unidades geomorfológicas da Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce e do Patamar Centro-Norte Capixaba as médias ficam abaixo do padrão observado no restante da bacia, variando entre 100 e 150 mm, configurando-se, portanto, como as localidades com as menores médias de precipitação da bacia no mês de dezembro.

Quando consideramos a distribuição média anual da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Doce, conforme pode ser observado na Figura 21, conseguimos constatar a existência de três áreas com padrões distintos. Essa distinção pode ser associada aos três marcos de transição topográfica na bacia, apresentado Cupolillo *et al.* (2008).

Figura 23 - Precipitação média anual (1979 – 2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Doce



Fonte: Elaborado pelo autor.

A primeira área, situa-se a leste da bacia. Nela a precipitação média anual varia entre 1000 e 1500 mm e considerando os marcos de transição topográfica, podemos relacioná-la com a primeira unidade espacial delimitada por Cupolillo *et al.* (2008) que, segundo os autores, é uma unidade marcada por terrenos de altitudes modestas ou ainda correlatas ao nível do mar, onde pode ser citado como característica adicional uma superfície de baixa a nula rugosidade.

A segunda área é a porção central da bacia, onde os valores de precipitação média anual são mais baixos e apresentam-se entre 732 e 1000 mm, configurando, de forma relativa, a

porção menos chuvosa da bacia. Para Cupolillo et al. (2008), trata-se de um compartimento mais complexo, pois agrega estruturas diversas, sendo dominado por feições do domínio dos mares de morros, marcado por evidente rugosidade e apresentando altitudes crescentes em direção a oeste. Ainda para os autores, nessa unidade há a presença de serras, algumas de dimensões pontuais e outras regionais, que devem influenciar no comportamento das massas de ar no âmbito regional e conseqüentemente, condicionar o regime pluviométrico.

A terceira área, situada a oeste da bacia, apresenta as maiores médias pluviométricas. Do ponto de vista topográfico, são áreas situadas em altitudes mais elevadas, onde o relevo local é marcado por expressiva rugosidade. Nessas áreas, as médias de precipitação distribuem-se irregularmente, contudo, com valores expressivos, variando entre 1000 e 2500 mm. Na relação estabelecida com os grandes marcos de transição topográfica, podemos associá-la com a terceira unidade delimitada por Cupolillo et al. (2008) correspondente ao conjunto marcado pela presença de serras de influência continental, como as serras do Espinhaço e da Mantiqueira. Essas formações são limitadoras ou fronteiras naturais da ação das massas de ar oriundas do oceano Atlântico.

Segundo Rossato (2011, p. 108), “o relevo provoca a instabilidade condicional ou convectiva ao favorecer um deslocamento inicial à corrente de ar ou por meio de um aquecimento diferencial das vertentes, que estão diferentemente expostas à insolação”. Nimer (1989), ao analisar o clima da região Sudeste do Brasil, aponta que a topografia mais elevada da região onde está localizada parte da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, favorece a precipitação em decorrência de um aumento da turbulência do ar por ascendência orográfica, sobretudo quando ocorre a passagem de correntes perturbadas pela região. Nesse sentido, a rugosidade e as elevadas altitudes favorecem a ocorrência de chuvas orográficas, contribuindo para que a área em questão apresente as maiores médias de precipitação anual no contexto da bacia.

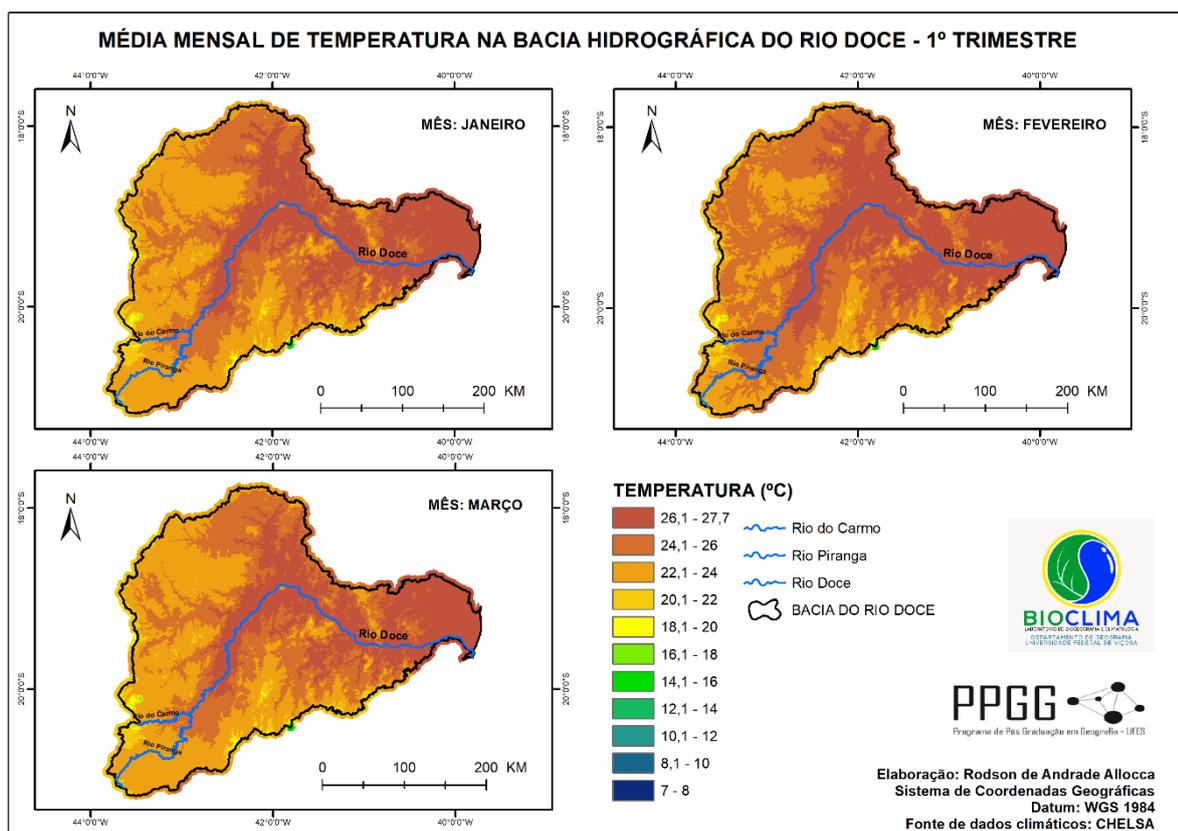
5.2 ESPACIALIZAÇÃO E ANÁLISE DA TEMPERATURA NA BHRD

A espacialização dos valores médios de temperatura do ar na Bacia Hidrográfica do Rio Doce compõe outro importante aspecto para a definição das unidades climáticas. Para uma melhor percepção sobre esse aspecto, optou-se pela organização, assim como foi apresentado para os valores de precipitação, das médias mensais agrupadas em quatro trimestres.

A distribuição dos valores térmicos, de maneira geral, é diretamente influenciada pelas características do relevo observadas na bacia. Nesse contexto, a altimetria, a declividade e a orientação das vertentes associam-se enquanto fatores climáticos que atuam na distribuição dos padrões verificados.

No primeiro trimestre, como pode ser observado na Figura 22, as médias térmicas do mês de janeiro são elevadas na maior parte da bacia. À leste da bacia, na maior parte das unidades geomorfológicas do Delta do Rio Doce, dos Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro-Oriental e do Patamar Centro-Norte Capixaba as temperaturas médias variam entre 26°C e 27,7°C. Nessas áreas, a altimetria está limitada pela cota de 300 m e o relevo é menos rugoso do que o padrão encontrado nas outras porções da bacia. Essas características contribuem para um maior aquecimento do ar, pois o relevo favorece a incidência de radiação solar direta, reduzindo, por exemplo, o efeito de sombreamento e possibilitando o registro de médias térmicas mais elevadas.

Figura 24 - Temperatura média (1979 – 2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (1º Trimestre)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda na porção leste da bacia, nas áreas que apresentam altitudes um pouco mais elevadas, com variação entre 300 m e 1040 m, é possível observamos um decréscimo das médias térmicas. Nas unidades do Bloco Montanhoso das Pontões Capixabas e Mineiros, dos Morros e Montanhas do Centro-Sul Capixaba e dos Pontões das Bacias dos Rios Doce e Itapemirim as temperaturas médias estão compreendidas entre 20°C e 26°C, uma variação que

apresenta relação com variação da altitude, pois as áreas mais elevadas configuram-se como áreas com menores médias térmicas.

No interior da bacia, a unidade geomorfológica da Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce apresenta médias elevadas, variando entre 26°C e 27,7°C, assim como nas terras mais baixas e planas da porção leste da bacia. À medida em que há um distanciamento dessa unidade, os valores térmicos, condicionados pelas características do relevo que se torna mais elevado e como maior rugosidade pela predominância das formas onduladas dos mares de morro, apresentam-se com médias mais frias. No entorno imediato dessa unidade, podemos perceber médias entre 24°C e 26°C e as cotas altimétricas estão compreendidas entre 300 e 760 m.

Na maior parte da porção oeste, as médias térmicas apresentam uma variação entre 20°C e 24°C. Nessas áreas a altitude acima de 700 m é uma característica predominante, condicionando médias térmicas menores. Na unidade geomorfológica das Serras do Quadrilátero Ferrífero temos áreas com médias térmicas entre 18°C e 20°C e a ocorrência de uma das áreas com a menor média para o mês, variando entre 16°C e 18°C.

A unidade geomorfológica da Serra do Caparaó, localizada no limite Centro-Sul da bacia, também merece destaque. Por representar uma área com elevação gradual das cotas altimétricas, as médias térmicas apresentam uma variação semelhante, pois com a elevação gradual da altitude, temos uma redução gradual das médias térmicas. No cume da serra, onde a altitude ultrapassa os 2000 m, temos a área com menor média térmica registrada para toda a bacia, com valores entre 12°C e 14°C.

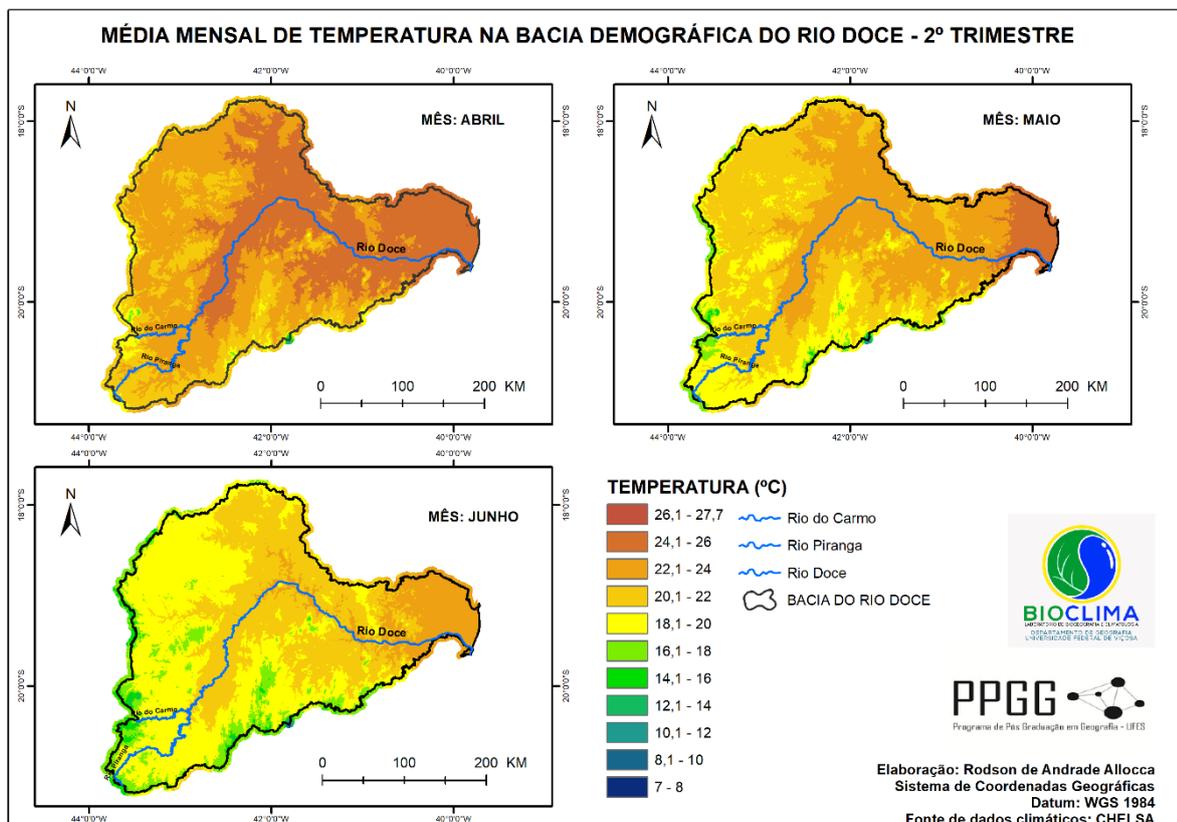
No mês de fevereiro as médias térmicas apresentam uma espacialização muito semelhante ao mês de janeiro, contudo, podemos observar, conforme apresentado na Figura 22, que há uma elevação das médias em algumas áreas. Nesse sentido, destacam-se as áreas do interior e do entorno da unidade geomorfológica da Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce e as algumas outras áreas na porção oeste da bacia, onde localizam-se as unidades geomorfológicas do Planalto Dissecado Suaçuí Grande (mais ao norte), do Planado da Zona Metalúrgica Mineira, dos Patamares do Alto Rio Doce e das Serrarias da Zona da Mata Mineira. O mês de fevereiro é, portanto, o mês que apresentou as mais elevadas médias térmicas para o período analisado.

O mês de março, que fecha o trimestre e também a estação do verão, tem uma distribuição dos valores de temperatura muito parecido com o mês de janeiro. Podemos perceber pequenas diferenças nas áreas da unidade geomorfológica da Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce, onde as médias, que em fevereiro aumentaram, agora apresentaram um decréscimo. Nas áreas elevadas da porção oeste, temos o mesmo padrão de

redução, pois nas áreas em que as médias se elevaram em fevereiro, por maior eficiência da ação da radiação solar no balanço de energia, também se reduziram. Pode-se ainda perceber que as áreas com médias térmicas entre 24°C e 26°C passaram a ocupar porções menores e ampliaram-se as áreas com temperaturas médias entre 22°C e 24°C, fato que indica a transição para a estação do outono.

O segundo trimestre, por sua vez, já se inicia com uma redução geral das médias térmicas sem, contudo, apresentar grandes mudanças no padrão de espacialização das temperaturas (Figura 23). No mês de abril, a porção leste, assim como o observado nos meses do primeiro trimestre, apresentam temperaturas elevadas para o contexto analisado. As médias térmicas nas unidades geomorfológicas do Delta do Rio Doce, dos Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro-Oriental e do Patamar Centro-Norte Capixaba as médias variam entre 24°C e 26°C. Essas médias também são observadas no interior da bacia em toda unidade geomorfológica da Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce, configurando as áreas com maiores médias térmicas para o mês analisado.

Figura 25 - Temperatura média (1979 – 2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (2º Trimestre)



Fonte: Elaborado pelo autor.

A oeste, nas porções Centro-Sul e nos limites a sudeste da bacia, onde as altitudes são mais elevadas, as médias térmicas variam entre 18°C e 24°C. Na unidade geomorfológica das Serras do Quadrilátero Ferrífero é possível verificar a ocorrência de áreas com médias mais baixas, variando entre 16°C e 18°C. Já na unidade da Serra do Caparaó, assim como observado em meses anteriores, temos os registros das menores temperaturas, com médias entre 10°C e 12°C nas cotas altimétricas mais elevadas.

No mês de maio, as unidades geomorfológicas do Delta do Rio Doce e dos Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro-Oriental, localizados à leste e nas áreas mais planas, menos rugosas e sob maior efeito da maritimidade, apresentam as médias térmicas mais elevadas, variando entre 24°C e 26°C.

Avançando em direção ao interior da bacia, a unidade geomorfológica da Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce apresenta médias térmicas entre 22°C e 24°C, sendo a segunda área mais aquecida da bacia no mês analisado. Esse fato, somado ao padrão térmico observado nas áreas mais a leste, reforçam a grande influência da altimetria na espacialização das médias térmicas.

À medida que as altitudes se elevam, nas unidades a oeste, ao centro-sul e sudeste da bacia, as médias térmicas apresentam-se cada vez menores. Em grande parte da porção oeste, temos médias entre 18°C e 22°C. Nessa área, mais uma vez, a unidade geomorfológica das Serras do Quadrilátero Ferrífero merece destaque como área que apresentam médias térmicas mais baixas. Nessa unidade, podemos observar pontualmente uma localidade com médias entre 12°C e 14°C. Na unidade geomorfológica da Serra do Caparaó observamos a menor média registrada em toda a bacia, com valores que variam entre 8°C e 10°C.

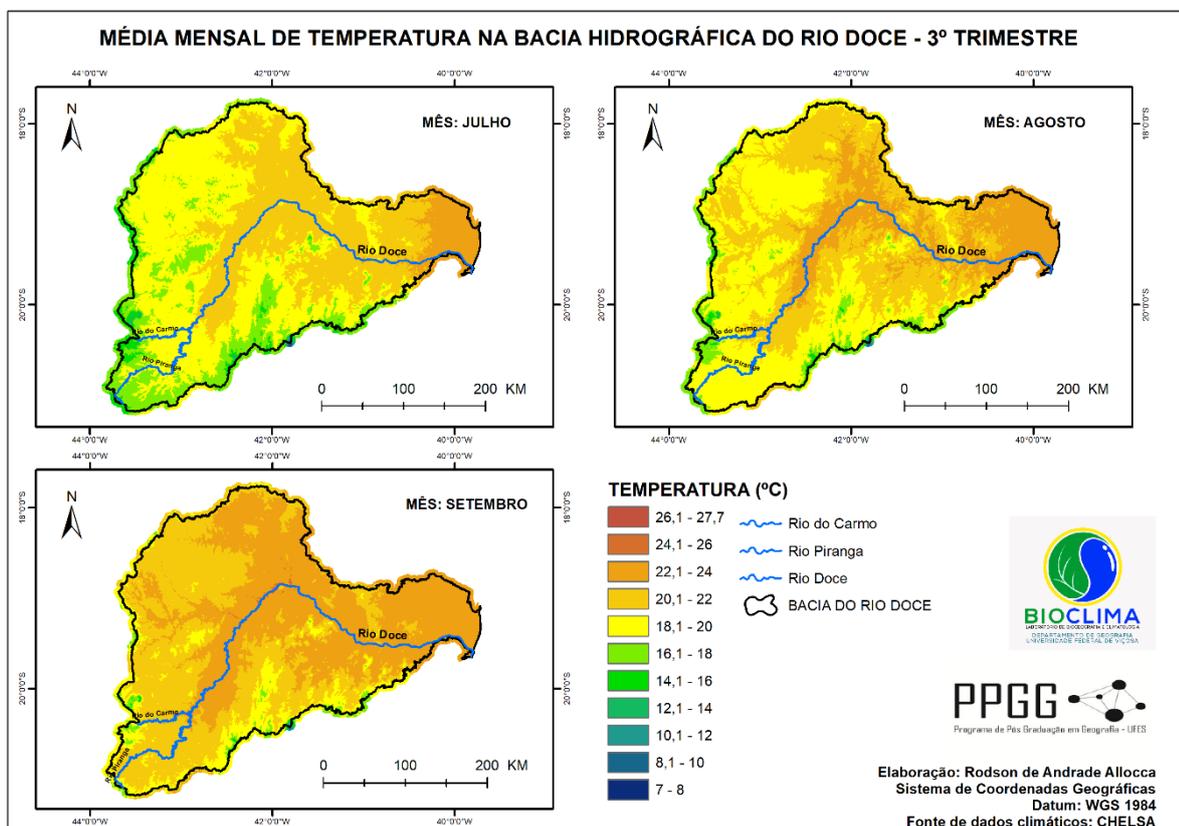
O mês de junho é o mais frio do segundo trimestre. Nas unidades geomorfológicas a leste, as médias térmicas variam entre 22°C e 24°C, a exemplo que ocorreu no mês anterior. Essas médias também podem ser verificadas na unidade geomorfológica da Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce, contudo, em áreas bem próximas à calha do rio, pois nas adjacências, temos médias ligeiramente menores, variando entre 20°C e 22°C.

Nas demais áreas da bacia, a oeste, centro-sul, sudeste e sudoeste as médias predominantes variam entre 18°C e 20°C. Em algumas localidades é possível identificar médias entre 16°C e 18°C e essa variação está associada com a variação da altimetria.

As unidades geomorfológicas da Serras do Quadrilátero Ferrífero e da Serra do Caparaó, apresentaram valores de temperatura mais baixos, com variação entre 12° e 14°C, na primeira unidade, e entre 8°C e 10°C, na segunda.

No terceiro trimestre as temperaturas médias continuam a apresentar decréscimo nos dois primeiros meses, conforme pode ser observado na Figura 24. O mês de julho apresenta as menores médias para o recorte têmporo-espacial observado no presente trabalho.

Figura 26 - Temperatura média (1979 – 2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (3º Trimestre)



Fonte: Elaborado pelo autor.

O padrão de espacialização das médias térmicas quase não sofre modificações em relação aos meses dos trimestres anteriores, embora haja uma redução geral dos valores registrados. Na porção leste, nas unidades geomorfológicas do Delta do Rio Doce e dos Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro-Oriental as médias variam entre 22°C e 24°C, definindo as áreas mais aquecidas da bacia durante o mês.

Na unidade geomorfológica da Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce as médias variam entre 20°C e 22°C e nas demais áreas da bacia predominam as médias entre 18°C e 20°C. Algumas exceções podem ser percebidas nas áreas de altimetria mais elevada das unidades geomorfológicas das Serrarias da Zona da Mata Mineira (porção central da unidade), do Planalto da Zona Metalúrgica Mineira, dos Patamares do Alto Rio Doce, das Serras do Quadrilátero Ferrífero, do Planalto dos Campos das Vertentes e das Serras do Espinhaço

Meridional, onde as médias predominantes estão compreendidas entre 14°C e 18°C. Ocorre na unidade das Serras do Quadrilátero Ferrífero, de forma pontual, uma área onde as médias variam entre 10°C e 14°C. Na Serra do Caparaó, unidade geomorfológica situada na porção centro-sul da bacia, as médias são as mais baixas do mês, variando entre 8°C e 10°C.

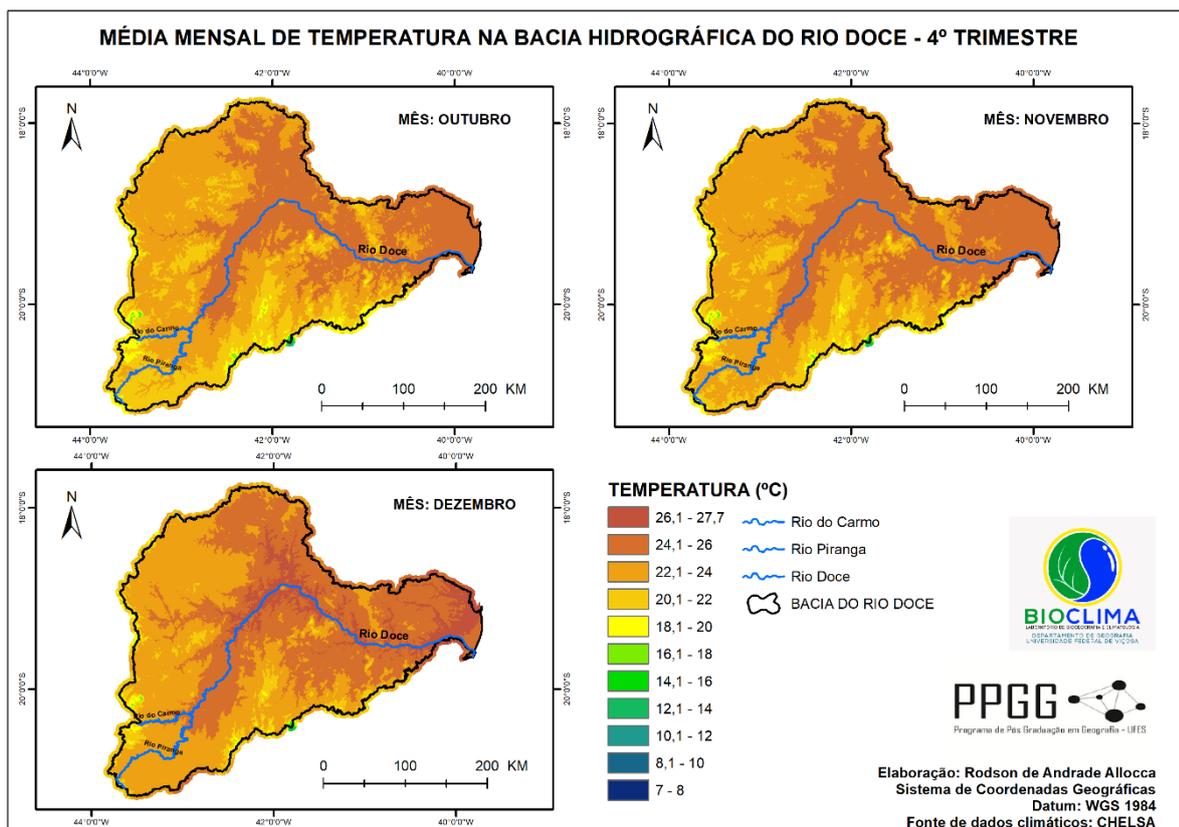
No mês de agosto, temos uma retomada do processo de aquecimento na bacia, pois as médias térmicas começam a apresentar uma gradual elevação. A porção leste e a unidade da Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce continuam apresentando, a exemplo do observado nos meses anteriores, as maiores médias térmicas, com uma variação entre 22°C e 24°C.

Ao compararmos a espacialização das médias do mês de julho e as médias do mês de agosto fica evidenciado que o padrão é semelhante, mas que as diferenças podem ser notadas no aquecimento de algumas áreas, sobretudo no entorno da calha principal do Rio Doce e em alguns pontos da unidade geomorfológica do Planalto da Zona Metalúrgica Mineira onde as áreas com médias entre 20°C e 22°C ampliaram-se. O mesmo aconteceu com algumas áreas das unidades geomorfológicas dos Patamares do Alto Rio, do Planalto dos Campos das Vertentes, das Serras do Quadrilátero Ferrífero e da Serra do Espinhaço Meridional onde as áreas que antes apresentavam médias entre 16°C e 18°C passaram a apresentar médias entre 18°C e 20°C.

No mês de setembro os valores térmicos começam a se elevar e a espacialização das médias apresenta uma certa homogeneização, mas sem deixar de obdecer ao padrão de distribuição observado em outros períodos. A porção leste e o entorno a calha central do Rio Doce, associada a Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce, apresentam médias entre 22°C e 24°C. As demais áreas da bacia apresentam médias entre 20°C e 22°C, com algumas exceções também observadas anteriormente. Nas unidades geomorfológicas das Serras do Quadrilátero Ferrífero e da Serra do Caparaó estão os registros das menores médias para o mês, variando, respectivamente, entre 14°C e 16°C, na primeira unidade, e entre 8°C e 10°C, na segunda unidade.

No quarto e último trimestre, já na estação da primavera que iniciou-se no final do mês de setembro, as médias térmicas são mais elevadas do que no trimestre anterior. Como podemos observar na Figura 25, entre os meses de outubro e novembro não ocorrem variações expressivas na espacialização das médias térmicas.

Figura 27 - Temperatura média (1979 – 2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (4º Trimestre)



Fonte: Elaborado pelo autor.

As áreas à leste e na unidade geomorfológica da Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce as médias térmicas variam entre 24°C e 26°C. Nas demais áreas, onde as altitudes são mais elevadas, temos médias que variam entre 18°C e 22°C. Os menores valores registrados ocorrem nas unidades das Serras do Quadrilátero Ferrífero e da Serra do Caparaó.

No mês de dezembro temos o início da estação do verão e podemos perceber uma elevação das médias térmicas nas porções mais baixas do relevo das unidades geomorfológicas do Delta do Rio Doce, dos Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro-Oriental e da Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce (nas adjacências da calha do Rio Doce) onde as médias variam entre 26°C e 27,7°C, representando as áreas mais aquecidas do trimestre.

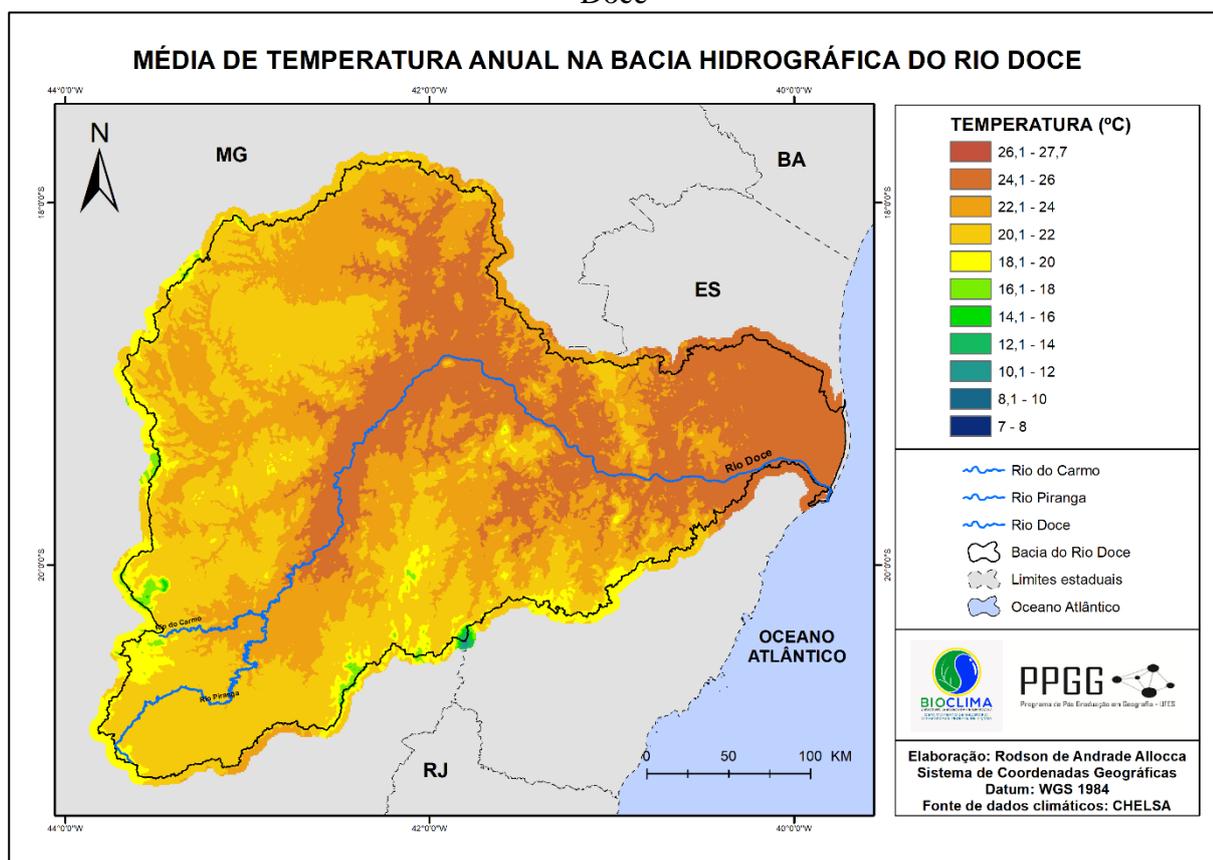
Nas áreas centrais da bacia, ainda na unidade geomorfológica da Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce, as médias térmicas variam entre 24°C e 26°C. Nas porções a oeste, centro-sul e sudeste da bacia as médias ficaram entre 22°C e 24°C com algumas localidades pontuais apresentando médias mais baixas, variando entre 20°C e 22°C.

Mais uma vez, nas unidades geomorfológicas das Serras do Quadrilátero Ferrífero e da Serra do Caparaó, foram registradas as menores médias térmicas. Na primeira unidade, temos

valores entre 16°C e 18°C, já na região do Caparaó, os valores estão compreendidos entre 14°C e 16°C.

Para finalizar a análise da espacialização das médias térmicas observadas na Bacia Hidrográfica do Rio Doce, temos a Figura 26 que retrata a média anual registrada em toda a área de estudos. Como podemos observar, as porções situadas a leste e no interior da bacia apresentam os maiores valores térmicos, com médias entre 24°C e 26°C. Esse padrão pode ser observado em grande parte dos meses retratados nos quatro trimestres representados anteriormente.

Figura 28 - Média anual (1979 – 2013) de temperatura do ar na Bacia Hidrográfica do Rio Doce



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas demais áreas temos médias variando entre 20°C e 24°C de acordo com o padrão altimétrico e a interação da radiação com as características do relevo local. Nas áreas mais elevadas da bacia, devido a um padrão de relevo com maior grau de rugosidade, ocorrem diferenças no padrão de aquecimento e resfriamento do ar em decorrência das distintas formas de interação entre a superfície e a atmosfera. Algumas vertentes, por exemplo, considerando sua altimetria, orientação e localização recebem diferentes quantidades de radiação,

influenciando no comportamento do balanço energético e, conseqüentemente, apresentando diferentes médias térmicas.

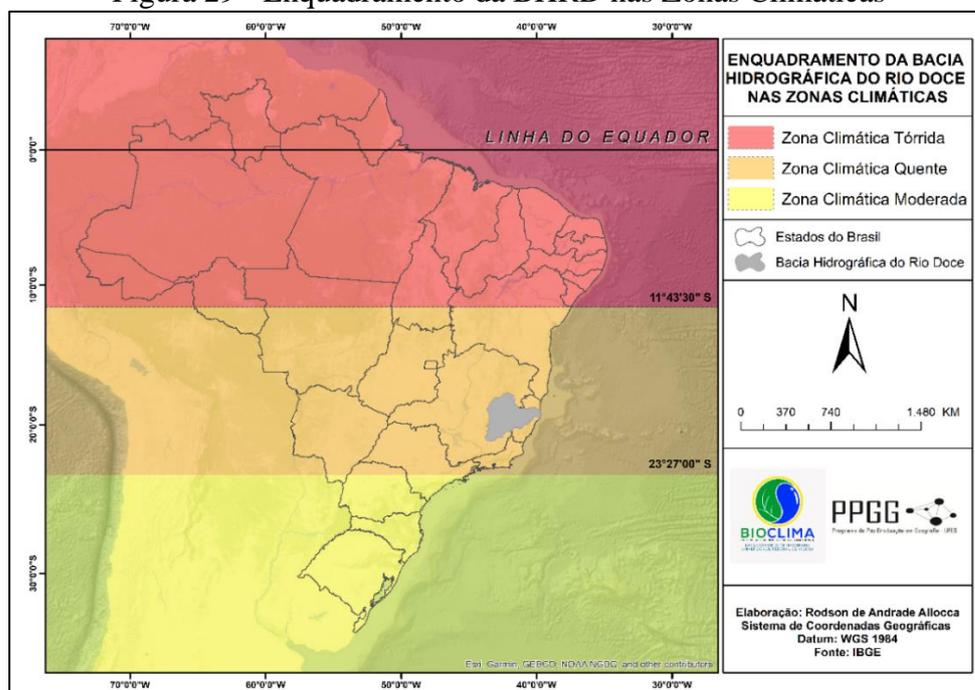
De modo geral, a partir da análise, podemos indicar que há uma intrínseca relação entre o padrão de distribuição das médias térmicas observado na Bacia Hidrográfica do Rio Doce e as características topográficas da bacia. Nessa relação, destaca-se a altimetria com um importante fator condicionante para os valores térmicos, possibilitando a compreensão de que as áreas mais baixas e planas são também as mais quentes, ao passo que nas áreas mais elevadas e de relevo com maior rugosidade, temos temperaturas mais frias.

5.3 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DA BHRD

Zona Climática

O primeiro nível hierárquico da classificação climática estruturada por Novais (2019) são as Zonas Climáticas. Essas unidades são definidas com base na posição latitudinal, pois são definidas tendo como critério a variação da incidência de radiação solar na superfície da Terra. Os estados de Minas Gerais e do Espírito Santo, onde está localizada Bacia Hidrográfica do Rio Doce, por sua posição latitudinal, estão inseridos na Zona Climática Quente ($11^{\circ}43'30''$ S a $23^{\circ}27'00''$ S), conforme pode ser observado na Figura 27. A Zona Climática Quente é marcada por uma incidência de radiação solar anual potencialmente intensa.

Figura 29 - Enquadramento da BHRD nas Zonas Climáticas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Climas Zonais

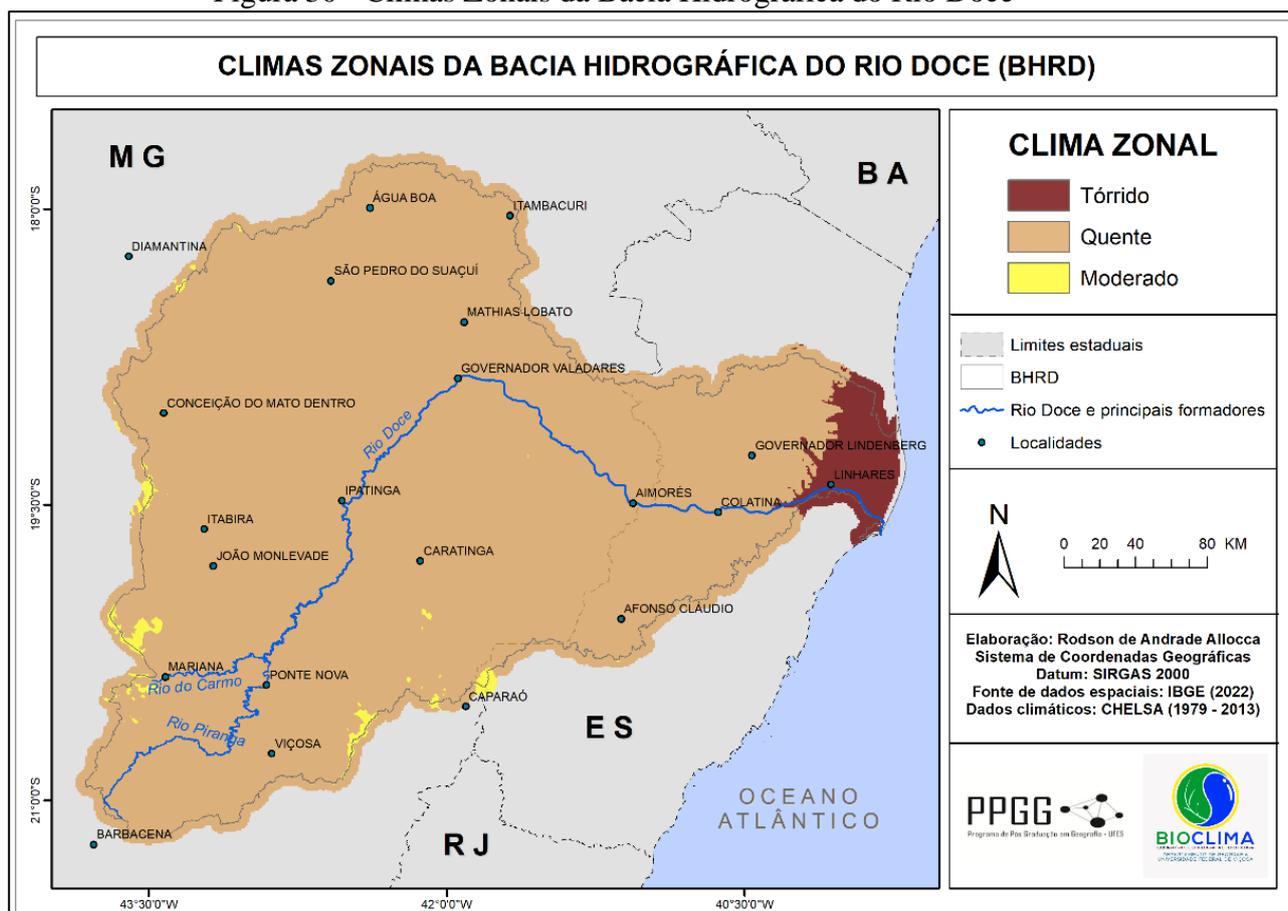
Para a delimitação das unidades da segunda hierarquia da classificação, os Climas Zonais, o critério utilizado é a TMMMF. Observando esse critério, na área abarcada pela Bacia Hidrográfica do Rio Doce, puderam ser delimitados três climas zonais (Figura 28).

O Clima Zonal Quente, definido pela TMMMF entre 15°C e 22,5°C é predominante, ocorrendo na porção central da área de estudos. Os maiores índices de incidência da radiação nesse clima zonal ocorrem, segundo Novais (2019), na alta primavera e no verão. A topografia de altitudes mais elevadas e a geomorfologia com diferentes feições contribui para a diferenciação das temperaturas médias em relação à região da foz do Rio Doce, onde o relevo plano favorece a maior incidência de radiação.

Na área leste da bacia temos a ocorrência do Clima Zonal Tórrido, definido por uma TMMMF superior a 22,5°C. A média de temperatura mais elevada relaciona-se ao relevo plano e sem muitas rugosidades que favorece uma maior incidência da radiação solar sobre a superfície. O limite dessa zona climática é coincidente com a fim da unidade geomorfológica do Delta do Rio Doce e o início dos Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro-Oriental, de onde rumando para o interior do continente, inicia-se progressivamente, de maneira geral, uma elevação dos terrenos. No Clima Zonal Tórrido, as temperaturas apresentam-se elevadas durante todo o ano (NOVAIS, 2019).

O Clima Zonal Moderado, com TMMMF entre 0°C e 15°C, por sua vez, ocorre em alguns pontos da bacia associados à maiores altitudes. Nas áreas de Clima Zonal Moderado as geadas são frequentes e anuais, devido à queda das temperaturas durante a estação do inverno (NOVAIS, 2019). Na região do Espinhaço, da Mantiqueira e do Caparaó as altitudes influenciam diretamente as médias térmicas que são mais baixas devido ao resfriamento adiabático do ar provocado pela orografia.

Figura 30 - Climas Zonais da Bacia Hidrográfica do Rio Doce



Fonte: Elaborado pelo autor.

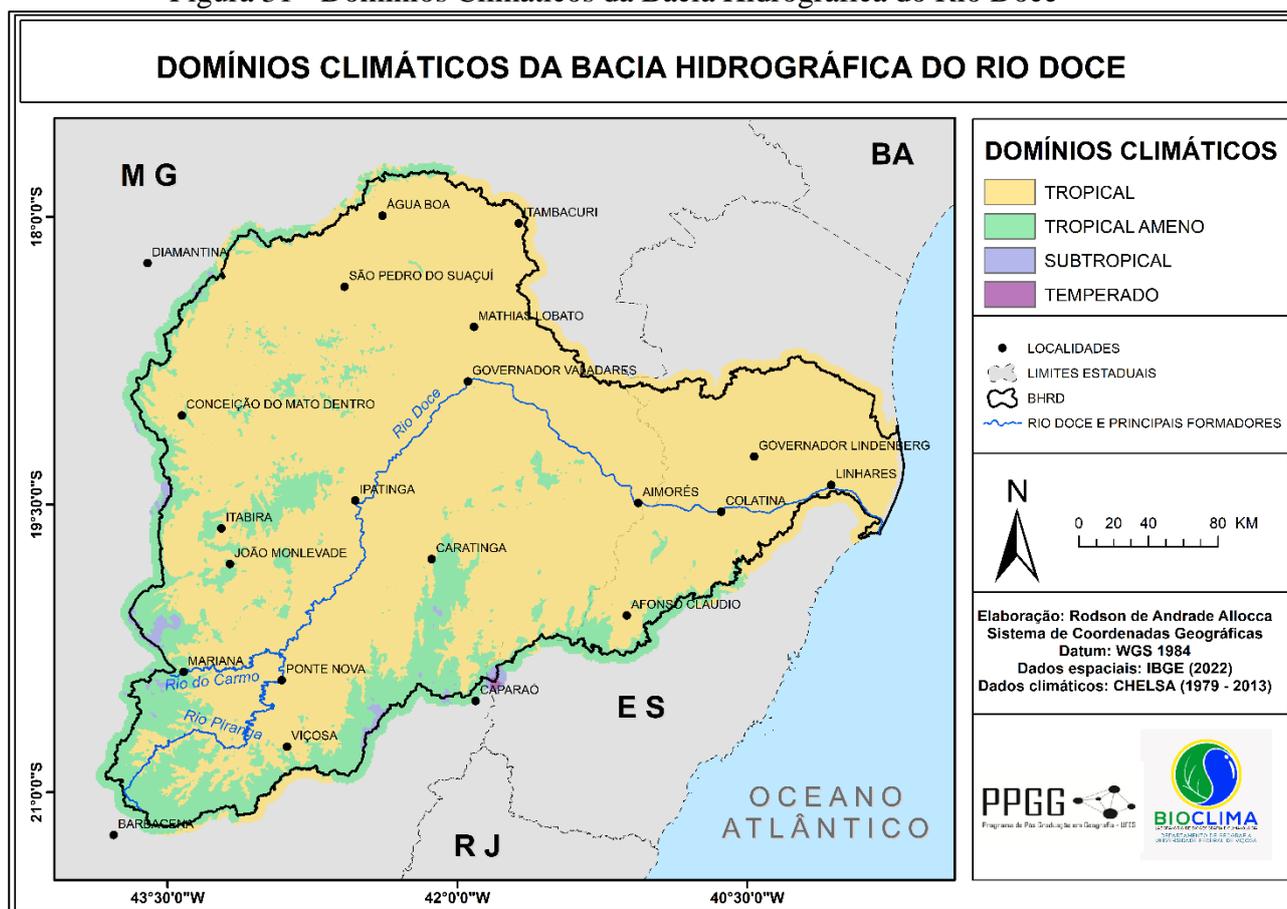
Domínios Climáticos

Representando o terceiro nível hierárquico da classificação, na Bacia Hidrográfica do Rio Doce foram identificados quatro Domínios Climáticos (Figura 29). Os Domínios são definidos tendo como referência a TMMMF e a atuação dos sistemas atmosféricos na área que está sendo classificada. Desse modo, temos a ocorrência:

- ✓ Domínio Tropical – caracterizado por uma TMMMF igual ou superior a 18°C, influenciado pela atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), do Anticiclone Polar Sul (APS) e sem influência Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Ocorre na maior parte da Bacia do Rio Doce, com uma abrangência que vai desde a foz, no Delta do Rio Doce, perfazendo grande parte da área central e da calha principal do rio, alongando-se para o norte e limitando-se pelas áreas mais elevadas da Serra da Mantiqueira e do Caparaó (ao sul) e da Serra do Espinhaço (a oeste).

- ✓ Domínio Tropical Ameno – caracterizado por uma TMMMF entre 15°C e 17,9°C, influenciado pela atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e do Anticiclone Polar Sul (APS). Ocorre em áreas elevadas da bacia, nas seguintes unidades geomorfológicas: a sudeste, nos Pontões das Bacias dos Rios Doce e Itapemirim; no centro, no Patamar do Divisor dos Rios Doce, Mucuri e São Mateus; ao sul, nas Serrarias da Zona da Mata Mineira; no centro-oeste, no Planalto da Zona Metalúrgica Mineira; a oeste e a sudoeste, na Serra do Espinhaço Meridional, nas Serras do Quadrilátero Ferrífero e nos Patamares do Alto Rio Doce; e, por fim, a noroeste, na extensão da Serra do Espinhaço Meridional.
- ✓ Domínio Subtropical – definido por uma TMMMF entre 10°C e 14,9°C, influência da passagem de frentes frias e pelo resfriamento adiabático do ar em razão da altitude, caracterizado pela possibilidade de ocorrência de geada (temperatura mínima absoluta <3,5°C) pelo menos um dia no ano. Essa unidade foi delimitada em localidades restritas, nas seguintes unidades geomorfológicas: a oeste, nas Serras do Quadrilátero Ferrífero e na Serras do Espinhaço Meridional; ao sul, nas Serrarias da Zona da Mata Mineira e na Serra do Caparaó. A ocorrência desse domínio apresenta grande aderência às maiores altitudes da área de estudos.
- ✓ Domínio Temperado – definido por uma TMMMF entre 0°C e 9,9°C, influência da passagem de frentes frias e pelo resfriamento adiabático do ar em razão da altitude, caracterizado pela possibilidade de ocorrência de geada (temperatura mínima absoluta <3,5°C) pelo menos um dia no ano. Ocorre pontualmente unidade geomorfológica da Serra do Caparaó, onde está localizado o Pico da Bandeira, com altitude superior aos 2.800 metros. Ressalta-se o fato de que na Classificação de Novais (2019) o Domínio Temperado era nomeado com Domínio Subtropical Frio, mas por uma questão de padronização da classificação para outras áreas do globo, o autor optou por uma atualização da nomenclatura.

Figura 31 - Domínios Climáticos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce

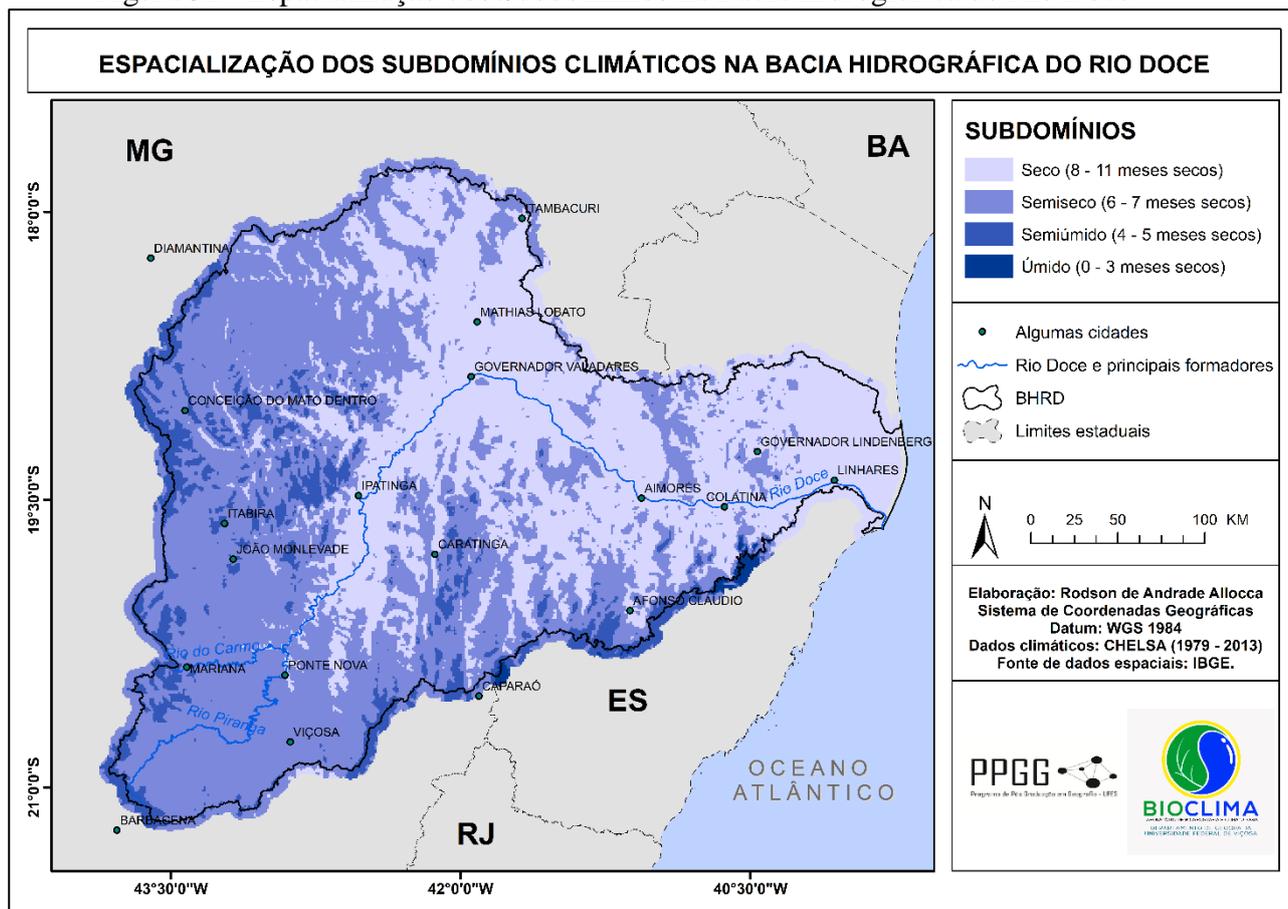


Fonte: Elaborado pelo autor.

Subdomínios Climáticos

Para mapear os limites dos Subdomínios Climáticos, foi gerado um outro mapa que especializava a quantidade de meses secos (Figura 30). Conforme a Classificação de Novais (2019), os meses secos são definidos pela diferença entre a precipitação (P) e a evapotranspiração potencial (ETP), sendo seco o mês em que o valor da ETP for superior ao valor de P.

Figura 32 - Espacialização dos Subdomínios na Bacia Hidrográfica do Rio Doce



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado no mapa, na Bacia Hidrográfica do Rio Doce podem ser encontrados quatro Subdomínios: Seco, caracterizado por apresentar entre 8 e 11 meses secos; Semiseco, com o número de meses secos entre 6 e 7; Semiúmido, apresentando entre 4 e 5 meses secos; e, Úmido, com uma variação entre 0 e 3 meses secos.

Nota-se um certo padrão na distribuição dos Subdomínios, pois nas áreas mais elevadas e de relevo movimentado da bacia apresentam-se os Subdomínios onde a precipitação é maior que a evapotranspiração potencial, configurando, portanto, áreas mais úmidas. Contrapondo-se a esse cenário, nas áreas mais baixas e de relevo menos acidentado as taxas de ETP são mais elevadas, fazendo com que nessas áreas ocorram os Subdomínios caracterizados por uma menor umidade.

A partir da espacialização dos meses secos, a informação gerada pôde ser sobreposta, através de processamento em ambiente SIG com o uso do *software* ArcMap, ao mapa de espacialização dos Domínios Climáticos, possibilitando, pela articulação das informações, gerar o mapa dos Domínios e Subdomínios da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (Figura 31).

Figura 33 - Domínios e Subdomínios Climáticos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce



Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando o mapa de Domínios e Subdomínios Climáticos, podemos verificar que o Domínio Tropical apresenta quatro Subdomínios:

- ✓ O Subdomínio úmido pode ser encontrado na unidade geomorfológica dos Morros e Montanhas do Centro-Sul Capixaba, mais a leste da bacia, onde, devido à maior proximidade com o litoral, esses morros e montanhas acabam barrando os ventos úmidos oceânicos, propiciando maiores volumes de precipitação por efeito da orografia.
- ✓ O Subdomínio semiúmido ocorre a oeste da bacia, na unidade geomorfológica do Planalto da Zona Metalúrgica Mineira, a barlavento das feições mais elevadas que ocorrem naquela área. Essa característica também pode ser associada à influência da atuação da umidade proveniente do Oceano Atlântico que se desloca adentrando o continente e ao se deparar com as áreas de relevo mais elevado, por efeito orográfico, causam um maior volume de precipitação. Um ponto de consideração importante é percebermos que quase sempre associado a esse Subdomínio temos uma transição do Domínio Tropical para Domínio Tropical Ameno.

- ✓ O Subdomínio semisseco pode ser verificado diferentes áreas da bacia. A oeste, na unidade geomorfológica do Planalto da Zona Metalúrgica Mineira, a sudoeste na unidade dos Patamares do Alto Rio Doce e a noroeste, no Planalto Dissecado Suaçuí Grande. Ao sul da bacia, nas áreas menos elevadas da unidade das Serrarias da Zona da Mata Mineira. Rumando no sentido leste-nordeste da bacia, pode ser verificado também na unidade do Bloco Montanhoso dos Pontões Capixabas e Mineiros e, por fim, a leste-sudeste nos Pontões das Bacias dos Rios Doce e Itapemirim. A disposição desse subdomínio marca claramente uma forte relação da quantidade de meses secos com a variabilidade do relevo e das cotas altimétricas.
- ✓ O Subdomínio seco ocupa as áreas menos elevadas da bacia, onde as cotas altimétricas são inferiores a 600 m. Nessas áreas, coincidentes, predominantemente, com os fundos de vale do interior da bacia, conforme já indicado por Strauch (1954) e reforçado por Cupolillo (2008), chove pouco, característica que aliada a elevadas temperaturas gera altos valores evapotranspiração. Conseqüentemente, os valores de ETP são maiores do que os de P na maioria dos meses.

O Domínio Tropical Ameno apresenta dois Subdomínios:

- ✓ O Subdomínio semiúmido está associado às áreas mais elevadas dos limites a oeste da bacia, perfazendo as unidades geomorfológicas das Serras do Espinhaço Meridional, das Serras do Quadrilátero Ferrífero e do Planalto dos Campos das Vertentes. É possível perceber que no alinhamento centro-sul das Serrarias da Zona da Mata Mineira, ao sul dos Patamares Escalonados da Serra do Caparaó, do Planalto da Pedra Azul Capixaba e dos Pontões das Bacias dos Rios Doce e Itapemirim, também há ocorrência desse subdomínio. Outra área de ocorrência do Subdomínio semiúmido está associada à região central do Planalto da Zona Metalúrgica Mineira onde as altitudes apresentam valores acima de 700 m. A distribuição nas áreas de ocorrência, mais uma vez, apresenta uma forte aderência à variabilidade do relevo que apresenta diferentes cotas altimétricas.
- ✓ O Subdomínio semisseco ocorre quase em associação ao Subdomínio semiúmido, pois à medida que as cotas altimétricas diminuem, aumenta a quantidade de meses secos. Podemos encontrar esse Subdomínio em áreas do Planalto da Zona Metalúrgica Mineira, das Serras do Quadrilátero Ferrífero, dos Patamares do Alto Rio Doce, das Serrarias da Zona da Mata Mineira, dos

Patamares Escalonados da Serra do Caparaó e dos Pontões das Bacias dos Rios Doce e Itapemirim.

O Domínio Subtropical também apresenta dois Subdomínios climáticos:

- ✓ O Subdomínios úmido ocorre em áreas elevadas a barlavento da Serra do Caparaó, localidades que apresentam maiores volumes de precipitação devido ao efeito da orografia no local. A serra funciona como uma barreira ao deslocamento de ventos úmidos provenientes do litoral. Por essa razão, os valores de P superam na maioria dos meses os valores de ETP.
- ✓ O Subdomínio semiúmido está pontualmente circunscrito nas áreas mais elevadas das Serrarias da Zona da Mata Mineira, das Serras do Quadrilátero Ferrífero e das Serras do Espinhaço Meridional. Nessas localidades, as cotas altimétricas são superiores aos 1000 m e a altimetria local é um fator importante na ocorrência das chuvas orográficas.

O Domínio Temperado, por sua vez, apresenta um único Subdomínio úmido. A ocorrência desse Domínio e Subdomínio climático está relacionado à Serra do Caparaó, nas áreas mais elevadas dessa formação.

A análise da distribuição dos Subdomínios Climáticos na bacia, pelo que foi apresentado, está relacionado fortemente ao relevo e sua diferenciação de características. De maneira geral, pôde ser estabelecida a seguinte relação, as áreas mais elevadas apresentam-se como áreas mais úmidas, condicionando, portando a ocorrência dos diferentes Subdomínios.

Tipos e Subtipos Climáticos

Prosseguindo na classificação climática da Bacia Hidrográfica do Rio Doce foi elaborado o mapa síntese contendo a classificação da bacia que abrange desde os Domínios até os Subtipos Climáticos (Figura 5.3.6).

Na bacia podemos observar a existência de áreas classificadas em quatro Tipos Climáticos distintos. A oeste, temos os limites do Tipo Centro-sul do Brasil que engloba áreas das unidades geomorfológicas das Serras do Espinhaço Meridional, das Serras do Quadrilátero Ferrífero e uma pequena porção do Planalto dos Campos das Vertentes. O Tipo Climático Centro-sul do Brasil, de acordo com Novais (2019), pode ser caracterizado por áreas onde há a possibilidade de ocorrência de geada pelo menos uma vez ao ano, ou seja, localidades onde há pelo menos um episódio em que foi registrada a temperatura mínima absoluta de 3,5°C em um período de 30 anos de observações.

Ao norte da bacia, temos a ocorrência do Tipo Climático Nordestino do Brasil que abrange uma pequena porção da unidade geomorfológica dos Patamares e Chapadas do Jequitinhonha. Esse Tipo Climático abrange grande parte do interior do Nordeste Brasileiro e o norte do estado de Minas Gerais, englobando Subdomínios secos dessa área e coincidindo, em sua maior parte, com o bioma da Caatinga (Novais e Machado, 2023).

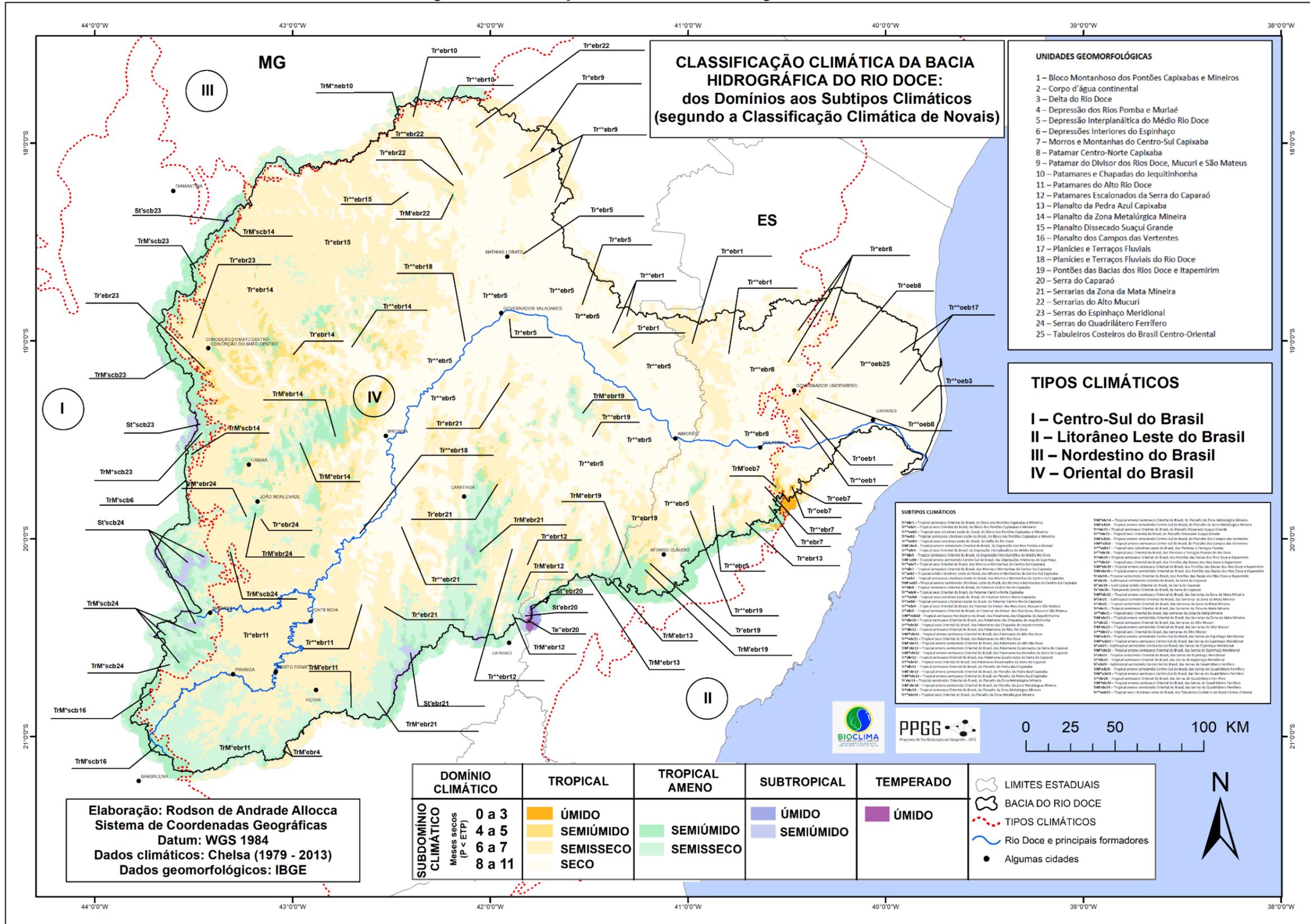
Na porção central, fazendo contato com os demais tipos identificados na bacia, temos a ocorrência do Tipo Climático Oriental do Brasil. Esse Tipo Climático apresenta maior extensão na área analisada, englobando diferentes unidades geomorfológicas e ocupando uma localização

[...] de transição entre tipos climáticos mais secos (Nordeste), de influência marinha (Litorâneo leste) e com possibilidade de geada (Centro-Sul), o tipo Oriental do Brasil é o mais variado em termos de domínios (Tropical, Tropical Ameno, Subtropical e Temperado) e subdomínios climáticos (úmido, semiúmido, semisseco e seco), mas sua vegetação predominante é a Mata Atlântica. (NOVAIS E MACHADO, 2023, p. 21).

A leste, onde localiza-se a foz da bacia hidrográfica, o Tipo Climático predominante é o Litorâneo Leste do Brasil que abrange as unidades geomorfológicas do Delta do Rio Doce, dos Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro-Oriental, das Planícies e Terraços Fluviais e partes do Patamar Centro-Norte Capixaba. De maneira geral, os limites desse tipo climático englobam as áreas de planícies marinhas e seus tabuleiros costeiros, indo até o limite com os planaltos (Novais e Machado, 2023).

Além da identificação dos Tipos Climáticos localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Doce, através do mapa de classificação climática (Figura 32), foram estabelecidos 76 Subtipos Climáticos. Para a definição dos Subtipos Climáticos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce foi utilizada como referência principal as unidades geomorfológicas presentes na área de estudos.

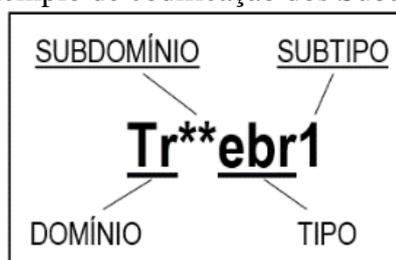
Figura 34 - Classificação Climática da Bacia Hidrográfica do Rio Doce



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os Subtipos Climáticos são representados por códigos indicando a unidade climática dentro dos Domínios, Subdomínios e do Tipo Climático. As letras iniciais são a referência para a identificação dos Domínios Climáticos e seguem o seguinte padrão: Tropical (Tr), Tropical ameno (TrM), Subtropical (St) e Temperado (Te). Para representar os Subdomínios são utilizados os seguintes caracteres: “ (úmido), ‘ (semiúmido), * (semisseco) e ** (seco); o Tipo Climático está indicado pela sequência de letras em caixa baixa e o numeral no final da codificação determina o Subtipo Climático com base na unidade geomorfológica, como pode ser verificado na Figura 33.

Figura 35 - Exemplo de codificação dos Subtipos Climáticos



Fonte: Adaptado de Novais (2022).

Nesse exemplo, está representado o Subtipo Tropical seco Oriental do Brasil, do Bloco dos Pontões Capixabas e Mineiros. As duas letras iniciais são a designação do Domínio Tropical (Tr); os caracteres ** indicam o Subdomínio seco; as letras em caixa baixa representam o Tipo (ebr – Oriental do Brasil); e o numeral, por sua vez, identifica a unidade geomorfológica onde ocorre (1 – Bloco dos Pontões Capixabas e Mineiros).

No Quadro 22 estão relacionados os Subtipos Climáticos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, separados pelos respectivos Domínios Climáticos e ordenados levando em consideração a numeração da unidade geomorfológica onde ocorrem. Nesse quadro pode ser identificado o código e o nome da unidade climática representada por cada subtipo.

Quadro 22 - Relação de Subtipos Climáticos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce

SUBTIPOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE	
SUBTIPOS DO DOMÍNIO TROPICAL	
Código	Unidade Climática
Tr*ebr1	Tropical semisseco Oriental do Brasil, do Bloco dos Pontões Capixabas e Mineiros
Tr**ebr1	Tropical seco Oriental do Brasil, do Bloco dos Pontões Capixabas e Mineiros
Tr*oeb1	Tropical semisseco Litorâneo Leste do Brasil, do Bloco dos Pontões Capixabas e Mineiros
Tr**oeb1	Tropical seco Litorâneo Leste do Brasil, do Bloco dos Pontões Capixabas e Mineiros
Tr**oeb3	Tropical seco Litorâneo Leste do Brasil, do Delta do Rio Doce
Tr*ebr5	Tropical semisseco Oriental do Brasil, da Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce
Tr**ebr5	Tropical seco Oriental do Brasil, da Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce

Tr*ebr7	Tropical semisseco Oriental do Brasil, dos Morros e Montanhas do Centro-Sul Capixaba
Tr**ebr7	Tropical seco Oriental do Brasil, dos Morros e Montanhas do Centro-Sul Capixaba
Tr*oeb7	Tropical semisseco Litorâneo Leste do Brasil, dos Morros e Montanhas do Centro-Sul Capixaba
Tr'oeb7	Tropical úmido Litorâneo Leste do Brasil, dos Morros e Montanhas do Centro-Sul Capixaba
Tr*ebr8	Tropical semisseco Oriental do Brasil, do Patamar Centro-Norte Capixaba
Tr**ebr8	Tropical seco Oriental do Brasil, do Patamar Centro-Norte Capixaba
Tr*oeb8	Tropical semisseco Litorâneo Leste do Brasil, do Patamar Centro-Norte Capixaba
Tr**oeb8	Tropical seco Litorâneo Leste do Brasil, do Patamar Centro-Norte Capixaba
Tr*ebr9	Tropical semisseco Oriental do Brasil, do Patamar do Divisor dos Rios Doce, Mucuri e São Mateus
Tr**ebr9	Tropical seco Oriental do Brasil, do Patamar do Divisor dos Rios Doce, Mucuri e São Mateus
Tr*ebr10	Tropical semisseco Oriental do Brasil, dos Patamares das Chapadas do Jequitinhonha
Tr**ebr10	Tropical seco Oriental do Brasil, dos Patamares das Chapadas do Jequitinhonha
Tr*ebr11	Tropical semisseco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce
Tr**ebr11	Tropical seco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce
Tr*ebr12	Tropical semisseco Oriental do Brasil, dos Patamares Escalonados da Serra do Caparaó
Tr**ebr12	Tropical seco Oriental do Brasil, dos Patamares Escalonados da Serra do Caparaó
Tr*ebr13	Tropical semisseco Oriental do Brasil, do Planalto da Pedra Azul Capixaba
Tr*ebr14	Tropical semisseco Oriental do Brasil, do Planalto da Zona Metalúrgica Mineira
Tr**ebr14	Tropical seco Oriental do Brasil, do Planalto da Zona Metalúrgica Mineira
Tr'embr14	Tropical semiúmido Oriental do Brasil, do Planalto da Zona Metalúrgica Mineira
Tr*embr15	Tropical semisseco Oriental do Brasil, do Planalto Dissecado Suaçuí Grande
Tr**embr15	Tropical seco Oriental do Brasil, do Planalto Dissecado Suaçuí Grande
Tr**oeb17	Tropical seco Litorâneo Leste do Brasil, das Planícies e Terraços Fluviais
Tr**ebr18	Tropical seco Oriental do Brasil, das Planícies e Terraços Fluviais do Rio Doce
Tr*embr19	Tropical semisseco Oriental do Brasil, dos Pontões das Bacias dos Rios Doce e Itapemirim
Tr**embr19	Tropical seco Oriental do Brasil, dos Pontões das Bacias dos Rios Doce e Itapemirim
Tr'embr19	Tropical semiúmido Oriental do Brasil, dos Pontões das Bacias dos Rios Doce e Itapemirim
Tr*embr21	Tropical semisseco Oriental do Brasil, das Serrarias da Zona da Mata Mineira
Tr**embr21	Tropical seco Oriental do Brasil, das Serrarias da Zona da Mata Mineira
Tr'embr21	Tropical semiúmido Oriental do Brasil, das Serrarias da Zona da Mata Mineira
Tr*embr22	Tropical semisseco Oriental do Brasil, das Serrarias do Alto Mucuri
Tr**embr22	Tropical seco Oriental do Brasil, das Serrarias do Alto Mucuri
Tr*embr23	Tropical semisseco Oriental do Brasil, das Serras do Espinhaço Meridional
Tr'embr23	Tropical semiúmido Oriental do Brasil, das Serras do Espinhaço Meridional
Tr*embr24	Tropical semisseco Oriental do Brasil, das Serras do Quadrilátero Ferrífero
Tr**oeb25	Tropical seco Litorâneo Leste do Brasil, dos Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro-Oriental
SUBTIPOS DO DOMÍNIO TROPICAL AMENO	
Código	Unidade Climática
TrM'embr4	Tropical ameno semiúmido Oriental do Brasil, da Depressão dos Rios Pomba e Muriaé
TrM'scb6	Tropical ameno semiúmido Centro-Sul do Brasil, das Depressões Interiores do Espinhaço
TrM'oeb7	Tropical ameno semiúmido Litorâneo Leste do Brasil, dos Morros e Montanhas do Centro-Sul Capixaba
TrM*neb10	Tropical semisseco Nordeste do Brasil, dos Patamares das Chapadas do Jequitinhonha
TrM*embr11	Tropical ameno semisseco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce
TrM'embr11	Tropical ameno semiúmido Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce
TrM*embr12	Tropical ameno semisseco Oriental do Brasil, dos Patamares Escalonados da Serra do Caparaó
TrM'embr12	Tropical ameno semiúmido Oriental do Brasil, dos Patamares Escalonados da Serra do Caparaó
TrM*embr13	Tropical ameno semisseco Oriental do Brasil, do Planalto da Pedra Azul Capixaba
TrM'embr13	Tropical ameno semiúmido Oriental do Brasil, do Planalto da Pedra Azul Capixaba

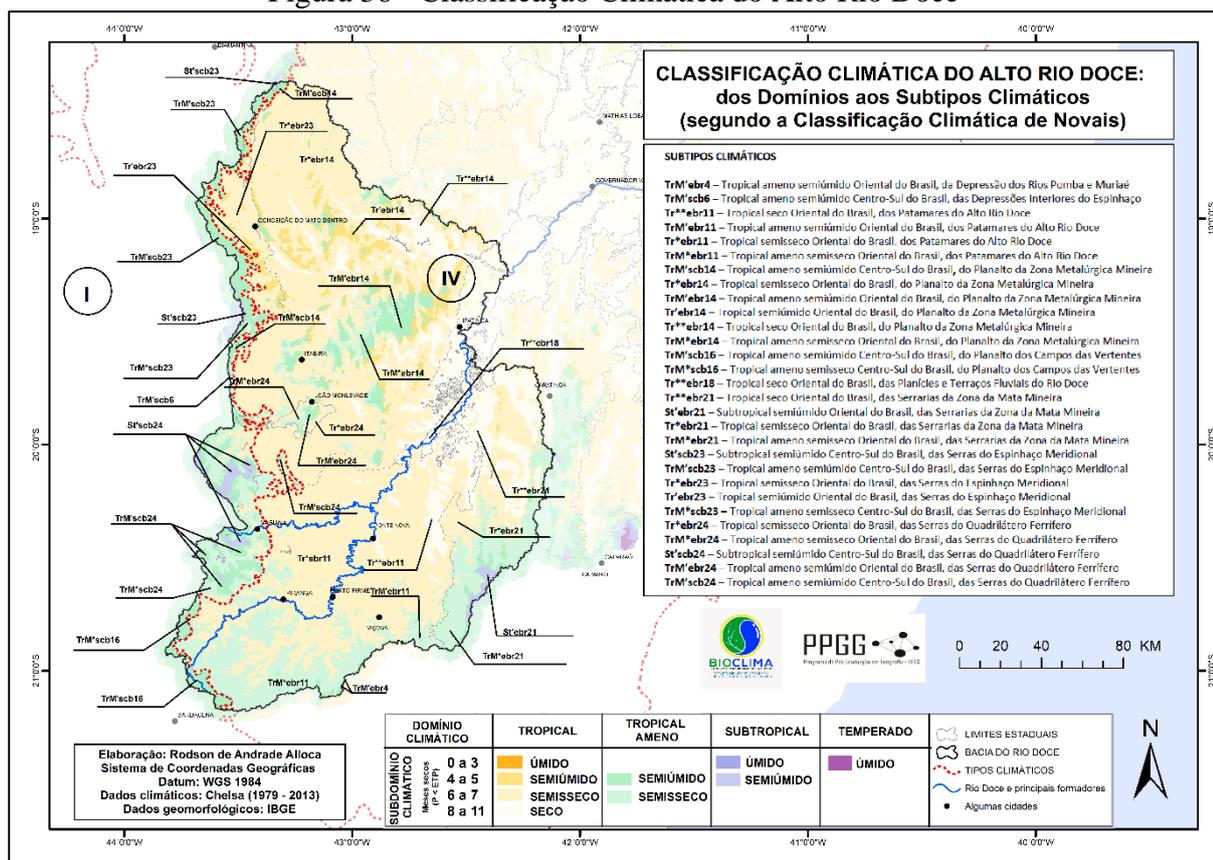
TrM*ebr14	Tropical ameno semisseco Oriental do Brasil, do Planalto da Zona Metalúrgica Mineira
TrM'ebr14	Tropical ameno semiúmido Oriental do Brasil, do Planalto da Zona Metalúrgica Mineira
TrM'scb14	Tropical ameno semiúmido Centro-Sul do Brasil, do Planalto da Zona Metalúrgica Mineira
TrM*scb16	Tropical ameno semisseco Centro-Sul do Brasil, do Planalto dos Campos das Vertentes
TrM'scb16	Tropical ameno semiúmido Centro-Sul do Brasil, do Planalto dos Campos das Vertentes
TrM*ebr19	Tropical ameno semisseco Oriental do Brasil, dos Pontões das Bacias dos Rios Doce e Itapemirim
TrM'ebr19	Tropical ameno semiúmido Oriental do Brasil, dos Pontões das Bacias dos Rios Doce e Itapemirim
TrM*ebr21	Tropical ameno semisseco Oriental do Brasil, das Serrarias da Zona da Mata Mineira
TrM'ebr21	Tropical ameno semiúmido Oriental do Brasil, das Serrarias da Zona da Mata Mineira
TrM'ebr22	Tropical ameno semiúmido Oriental do Brasil, das Serrarias do Alto Mucuri
TrM'scb23	Tropical ameno semiúmido Centro-Sul do Brasil, das Serras do Espinhaço Meridional
TrM*scb23	Tropical ameno semisseco Centro-Sul do Brasil, das Serras do Espinhaço Meridional
TrM*ebr23	Tropical ameno semisseco Oriental do Brasil, das Serras do Espinhaço Meridional
TrM*scb24	Tropical ameno semisseco Centro-Sul do Brasil, das Serras do Quadrilátero Ferrífero
TrM'scb24	Tropical ameno semiúmido Centro-Sul do Brasil, das Serras do Quadrilátero Ferrífero
TrM*ebr24	Tropical ameno semisseco Oriental do Brasil, das Serras do Quadrilátero Ferrífero
TrM'ebr24	Tropical ameno semiúmido Oriental do Brasil, das Serras do Quadrilátero Ferrífero
SUBTIPOS DO DOMÍNIO SUBTROPICAL	
Código	Unidade Climática
St'ebr20	Subtropical semiúmido Oriental do Brasil, da Serra do Caparaó
St"ebr20	Subtropical úmido Oriental do Brasil, da Serra do Caparaó
St'ebr21	Subtropical semiúmido Oriental do Brasil, das Serrarias da Zona da Mata Mineira
St'scb23	Subtropical semiúmido Centro-Sul do Brasil, das Serras do Espinhaço Meridional
St'scb24	Subtropical semiúmido Centro-Sul do Brasil, das Serras do Quadrilátero Ferrífero
SUBTIPO DO DOMÍNIO TEMPERADO	
Código	Unidade Climática
Te"ebr20	Temperado úmido Oriental do Brasil, da Serra do Caparaó

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser constatado tanto no mapa de classificação climática, como no quadro com a relação dos Subtipos Climáticos, a bacia hidrográfica apresenta uma grande variabilidade climática. Para possibilitar uma melhor identificação e compreensão da espacialização dos Subtipos Climáticos presentes na bacia, optou-se, nesse trabalho, por uma divisão da área estudada em três setores ou dos trechos: alto, médio e baixo curso.

A Figura 34 representa a divisão do trecho do Alto Rio Doce permitindo uma melhor visualização e identificação dos Subtipos Climáticos presentes nesse trecho.

Figura 36 - Classificação Climática do Alto Rio Doce



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Alto Rio Doce apresentou um total de 29 Subtipos Climáticos, cujas características relacionadas a altitude, TMMMf, precipitação média anual, ETP média anual e a quantidade de meses secos podem ser identificadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Caracterização dos Subtipos Climáticos do Alto Rio Doce

SUBTIPO	ALTITUDE (M)	TMMMf (°C)	PRECIPITAÇÃO (MM)	ETP (MM)	MESES SECOS
TrM'eb14	714 – 870	17,4 – 17,9	1436 – 1657	974 – 1043	4 – 5
TrM'scb6	941 – 1221	16,2 – 17,7	1812 – 1843	920 – 956	5
Tr**eb11	249 - 726	18,7 – 21,2	912 – 1319	1057 - 1330	8 – 9
TrM'eb11	737 – 1069	16,6 – 17,9	1410 – 1813	936 - 997	4 – 5
Tr*eb11	266 – 1045	18 – 21	976 – 1767	999 - 1308	6 – 7
TrM*eb11	625 – 1168	16,9 – 17,8	1047 – 1814	921 - 1010	6
TrM'scb14	636 - 1535	15,2 – 17,9	1385 – 1745	835 - 995	5
TrM'eb14	624 – 1574	15,8 – 17,9	1285 – 1943	835 - 1106	5
Tr*eb14	226 – 1082	18 – 21,3	999 – 1860	935 - 1348	6 – 7
Tr'eb14	372 – 1098	18 – 20	1231 – 1831	897 - 1183	5
Tr**eb14	198 – 917	18,3 – 21,7	907 – 1369	1020 - 1400	8 – 10
TrM*eb14	623 – 1207	16,8 – 17,9	1065 – 1930	923 – 1167	6 – 7
TrM'scb16	762 – 1342	15,1 – 17,6	1454 – 1907	843 – 982	4 – 5
TrM'scb16	761 – 1180	16,6 – 17,6	1163 – 1520	921 – 981	6

Tr**ebr18	185 – 410	20,8 – 21,8	945 – 1273	1286 – 1403	8 – 10
St'eb21	1051 – 1961	12 – 14,9	1285 – 1842	722 – 900	4 – 5
Tr**ebr21	236 – 901	18 – 21,4	881 – 1315	989 – 1348	8 – 10
Tr*eb21	276 – 1025	18 – 20,6	953 – 1582	899 – 1249	6 – 7
TrM'eb21	632 – 1471	15 – 17,9	952 – 1063	805 – 1065	6 – 7
St'scb23	1189 – 2032	13,3 – 14,9	1699 – 2005	758 – 975	5
TrM'scb23	695 – 1576	15 – 17,9	1297 – 2025	790 – 1067	5
Tr*eb23	526 – 1120	18 – 19,8	1018 – 1782	896 – 1165	6 – 7
Tr'eb23	632 – 1247	18 – 19	1435 – 1832	838 – 1083	5
TrM'scb23	685 – 1380	16 – 17,9	1148 – 1950	879 – 1098	6 – 7
Tr*eb24	563 – 1008	18 – 19,3	1030 – 1924	1001 – 1119	6 – 7
TrM'eb24	685 – 1677	15 – 17,9	1101 – 1994	830 – 1005	6 – 7
St'scb24	1042 – 2076	11,3 – 14,9	1485 – 2274	705 – 831	4 – 5
TrM'eb24	770 – 1713	15,7 – 17,8	1572 – 1899	788 – 1010	4 – 5
TrM'scb24	770 – 1252	15 – 17,9	1390 – 2134	791 – 995	4 – 5

Fonte: Elaborado pelo autor.

De uma maneira geral, pode ser percebida uma relação direta das características do relevo na espacialização dos Subtipos. Observando o mapa, podemos verificar que os Domínios Tropical ameno e Subtropical, que apresentam os valores de TMMMF relativamente mais baixas, ocorrem nas áreas mais elevadas do recorte espacial da bacia.

A leitura das informações da tabela dos Subtipos, nos permite identificar, por exemplo, a ocorrência de dois Subtipos do Domínio Subtropical. O primeiro, o Subtropical semiúmido Centro-Sul do Brasil, das Serras do Quadrilátero Ferrífero (St''scb24) apresenta altitudes elevadas (entre 1042 e 2076 metros), e o menor valor mínimo de TMMMF (11,3°C). Os valores de precipitação média anual são superiores aos valores médios de ETP anual, configurando a condição de maior umidade. O segundo Subtipo, o Subtropical semiúmido Centro-Sul do Brasil, das Serrarias da Zona da Mata Mineira (St'scb21) também ocorre em cotas altimétricas elevadas (entre 1051 e 1961) e apresenta a segunda menor média mínima de TMMMF da área (12°C). Os valores de precipitação média anual também superam os valores médios de ETP anual, fazendo com que seja considerado semiúmido.

Por outro lado, ao tomarmos como referência as áreas mais baixas do trecho da bacia selecionado, temos um aumento dos valores térmicos e predomínio dos Subtipos do Domínio Tropical. Para ilustrar, podemos observar o Subtipo Tropical seco Oriental do Brasil, das Planícies e Terraços Fluviais do Rio Doce (Tr**ebr18) que está localizado em área onde as cotas altimétricas variam entre 185 e 410 metros, apresentando a maior média máxima de TMMMF de toda a área analisada (21,8°C). Nesse Subtipo, os valores médios anuais de precipitação variam entre 945 e 1273 mm, já os valores médios anuais de ETP variam entre

1286 e 1403 mm, como consequência temos uma variação entre 8 e 10 meses secos por ano, configurando um Subdomínio seco.

Na porção centro-norte do Alto Rio Doce, temos a unidade geomorfológica do Planalto da Zona Metalúrgica Mineira onde contrastam diferentes unidades climáticas. Predominando no norte da referida área temos o Subtipo Tr*ebr14 que pode ser caracterizado como semisseco, apresenta uma variação altimétrica entre 226 e 1082 metros, valores da TMMMF variando entre 18°C e 21,3°C, pluviosidade média anual entre 999 e 1860 mm, e uma média anual de ETP entre 935 e 1348 mm. Na direção sul, nessa mesma porção do Alto Rio Doce, encontramos o Subtipo Tr'ebr14 que apresenta características semelhantes ao Subtipo supracitado, contudo, apresentando maior umidade. Em termos altimétricos há pouca variação, mas ao compararmos os valores médios mínimos de precipitação é possível identificar a existência de uma variação superior a 200 mm anuais, fato que somado a uma menor taxa média anual de ETP, faz com que esse Subtipo seja semiúmido.

Ainda no sentido sul, onde há um aumento das cotas altimétricas, podemos verificar a ocorrência do Domínio Tropical ameno, com dois Subtipos, um semisseco e outro semiúmido. O TrM*ebr14 apresenta o valor médio mínimo da TMMMF mais elevada (16,8°C) quando comprado ao Subtipo TrM'ebr14 que apresenta um valor médio mínimo da TMMMF de 15,8°C. Em termos altimétricos a área de ocorrência do Subtipo TrM'ebr14 atinge uma cota máxima de 1574 metros, enquanto o Subtipo TrM*ebr14 atinge no máximo a cota de 1207 metros.

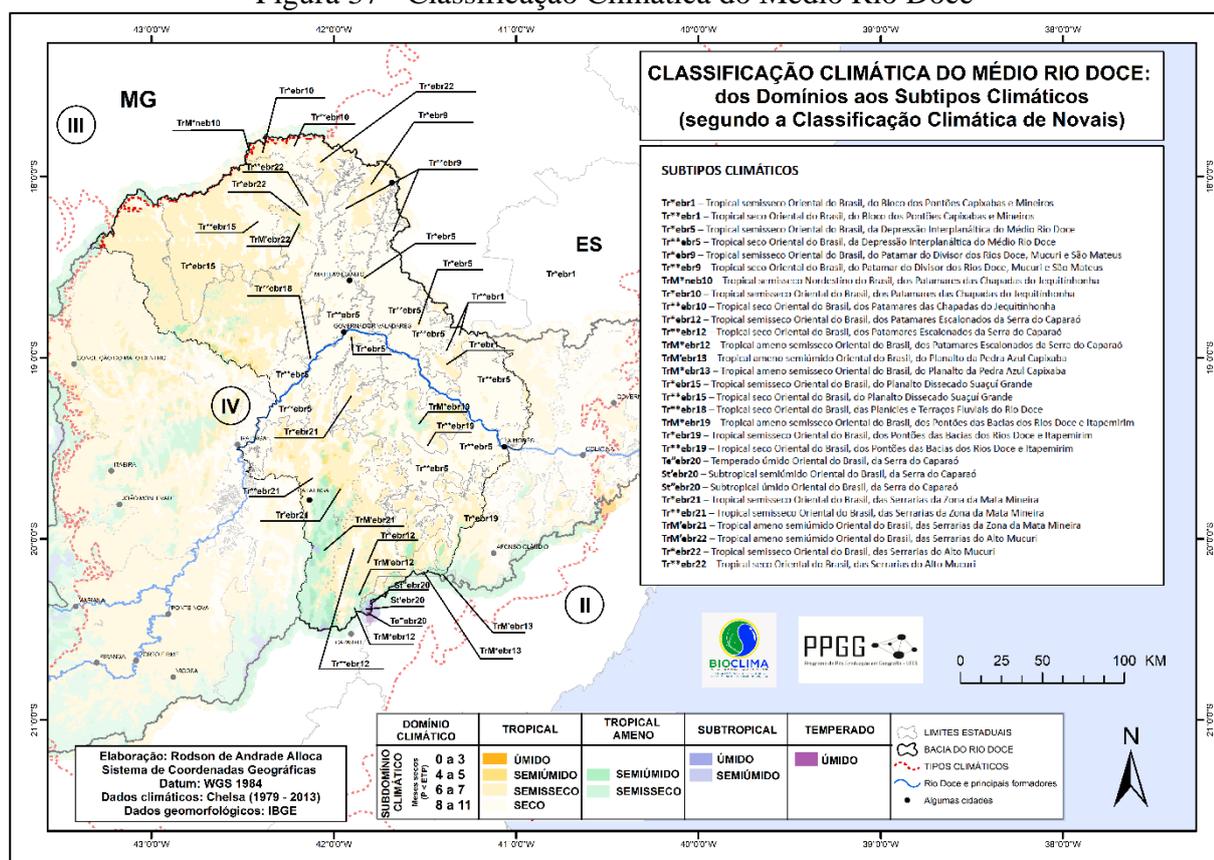
A orografia desempenha um importante papel no regime pluviométrico local. Ao observarmos no mapa o posicionamento dos Subtipos do Domínio Tropical ameno e, também dos Subtipos do Domínio Tropical citados anteriormente, fica evidente que aqueles classificados como semiúmidos encontram-se a barlavento das formações mais elevadas do relevo local, estando sob ação das massas úmidas que adentram o continente vindas do oceano Atlântico. Já os classificados como semissecos encontram-se a sotavento, onde a influência dessas massas úmidas é relativamente reduzida.

As diferenças das características encontradas entre os Subtipos apresentados, embora sutis, provocam mudanças nas unidades climáticas, pois o método de Novais (2019) fornece possibilidades para análise de parâmetros que interferem na temperatura do ar, na precipitação, na ETP e, conseqüentemente nos meses secos. Tais diferenças podem ser justificadas pela presença de formas de relevo que condicionam terrenos com grande rugosidade, marcados pela presença de colinas em forma de “meia laranja” de diferentes cotas altimétricas e vales de largura variável, característicos do domínio dos Mares de Morro (AB'SABER, 2003). Esse

fator, configura condições que irão interferir diretamente no balanço de energia, em decorrência da variabilidade de orientação das encostas, da profundidade e largura dos vales e da declividade do terreno, influenciando, dentre outros aspectos, nas condições de temperatura do ar, na circulação atmosférica local e na dinâmica hidrológica.

O Médio Rio Doce (Figura 35) é o segundo trecho analisado. Como pode ser verificado no mapa, nessa área também foram classificados 29 Subtipos Climáticos, indicando a ocorrência de grande variabilidade.

Figura 37 - Classificação Climática do Médio Rio Doce



Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando os aspectos geomorfológicos, a área do Médio Rio Doce é predominantemente marcada pela presença dos mares de morro e apresenta uma elevação gradual das cotas altimétricas no sentido oeste, característica que também marca a porção do Alto Rio Doce.

A caracterização dos Subtipos classificados no Médio Rio Doce pode ser verificada na Tabela 8.

Tabela 8 - Caracterização dos Subtipos Climáticos do Médio Rio Doce

SUBTIPO	ALTITUDE (M)	TMMMF (°C)	MÉDIA ANUAL DE PRECIPITAÇÃO (MM)	MÉDIA ANUAL DE ETP (MM)	MESES SECOS
Tr*ebr1	141 – 915	18 – 20,9	1019 – 1408	985 – 1255	6 – 7
Tr**ebr1	63 – 938	18,4 – 22,1	764 – 1287	1003 – 1401	8 – 11
Tr*ebr5	148 – 1089	18 – 21,4	1045 – 1546	985 – 1349	6 – 7
Tr**ebr5	59 – 904	18,5 – 22,2	741 – 1400	1012 – 1423	8 – 11
Tr*ebr9	304 – 946	18 – 20,7	1031 – 1417	991 – 1250	6 – 7
Tr**ebr9	216 – 912	18,4 – 21,6	784 – 1350	1016 – 1368	8 – 10
TrM*neb10	716 – 1187	17 – 17,9	1038 – 1390	926 – 1029	6 – 7
Tr*ebr10	455 – 1067	18 – 20,2	1002 – 1428	954 – 1191	6 – 7
Tr**ebr10	364 – 1010	18 – 20,9	834 – 1207	988 – 1277	8 – 9
Tr*ebr12	223 – 1022	18 – 20,8	977 – 1530	917 – 1262	6 – 7
Tr**ebr12	204 – 884	18,2 – 21,3	813 – 1241	1007 – 1326	8 – 10
TrM*ebr12	618 – 1512	15 – 17,9	1003 – 1565	808 – 1099	6 – 7
TrM*ebr13	750 – 1306	15,5 – 17,7	1516 – 1645	840 – 966	5
TrM*ebr13	685 – 1136	16,6 – 17,9	1265 – 1543	898 – 1015	6
Tr*ebr15	335 – 1099	18 – 20,8	970 – 1551	968 – 1268	6 – 7
Tr**ebr15	270 – 915	18,3 – 21,4	836 – 1360	1014 – 1348	8 – 10
Tr**ebr18	41 – 407	20,2 – 22,1	740 – 1264	1188 – 1425	8 – 11
TrM*ebr19	324 – 1440	15,8 – 17,9	1007 – 1532	853 – 983	6 – 7
Tr*ebr19	177 – 1182	18 – 21,1	933 – 1498	939 – 1293	6 – 7
Tr**ebr19	95 – 959	18 – 22,1	767 – 1279	984 – 1413	8 – 10
Te**ebr20	2068 – 2605	8,1 – 9,9	1661 – 1858	624 – 702	3
St*ebr20	1124 – 2347	10 – 14,9	1433 – 1817	655 – 871	4 – 5
St**ebr20	1597 – 2317	10 – 12,2	1743 – 1848	664 – 723	3
Tr*ebr21	230 – 1080	18 – 21,2	941 – 1587	983 – 1325	6 – 7
Tr**ebr21	169 – 950	18 – 21,7	787 – 1352	993 – 1389	8 – 10
TrM*ebr21	670 – 1580	15 – 17,9	1210 – 1724	822 – 988	4 – 5
TrM*ebr22	785 – 1037	17,6 – 17,9	1557 – 1585	961 – 996	5
Tr*ebr22	283 – 1010	18 – 20,9	1059 – 1582	963 – 1283	6 – 7
Tr**ebr22	223 – 962	18,3 – 21,7	839 – 1385	1011 – 1384	8 – 10

Fonte: Elaborado pelo autor.

Comparativamente ao Alto Rio Doce, de maneira geral, os Subtipos classificados no Médio Rio Doce podem ser considerados mais secos, sobretudo nas áreas do entorno da calha do Rio Doce onde o relevo é menos elevado e mais plano. Como exemplo podemos indicar o Subtipo Tropical seco Oriental do Brasil, da Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce (Tr**ebr5) que pode ser caracterizado por altitudes entre 59 e 904 metros, valores da TMMMF variando entre 18,5°C e 22,2°C, precipitação média anual entre 741 e 1400 mm e ETP média anual entre 1012 e 1423 mm. Na relação entre a precipitação e a ETP, podemos verificar que os valores de ETP são maiores e, por essa razão, temos entre 8 e 11 meses secos ao ano, caracterizando o Subdomínio como seco.

Outro exemplo que podemos indicar é o Subtipo Tropical seco Oriental do Brasil, das Planícies e Terraços Fluviais do Rio Doce (Tr**ebr18). Nesse Subtipo as altitudes variam entre 41 e 407 metros, a TMMMF registras estão entre 20,2°C e 22,1°C, a precipitação média anual entre 740 e 1264 mm e a ETP varia entre 1188 e 1425 mm. Nesse caso, a ETP também supera os valores de precipitação média anual, fazendo com que ao longo do ano ocorram de 8 a 11 meses secos, caracterizando um Subdomínio seco.

Esses dois Subtipos do Domínio Tropical, embora apresentem características semelhantes, se distinguem em certos pontos. O Subtipo Tr**ebr18 ocorre em cotas altimétricas mais baixas, possui valor mínimo da TMMMF cerca de 3,7°C mais elevado e valor médio máximo de precipitação anual 200 mm menor do que o Subtipo Tr**ebr5. As diferenças encontradas podem ser relacionadas a variação da altimetria e a forma do vale, permitindo, por exemplo que a radiação incidente seja mais efetiva no processo de aquecimento das Planícies e Terraços Fluviais do Rio Doce, influenciando nas médias de temperatura.

Ao nos afastarmos do entorno da calha do Rio Doce, podemos notar a ocorrência de outros Subtipos Climáticos que se tornam mais úmidos em razão da variação altimétrica, apresentando cotas mais elevadas. Podemos constatar essa condição ao observarmos o Subtipo Tropical ameno semisseco Oriental do Brasil, dos Pontões das Bacias dos Rios Doce e Itapemirim (TrM*ebr19) que ocorre nas proximidades do Subtipo Tr**ebr5, mas ocupa uma área de maiores cotas altimétricas e, por essa razão, temos menores valores da TMMMF (15,8°C – 17,9°C), maior volume de precipitação média anual (1007 – 1532 mm) e menores valores médios de ETP anual (853 – 983 mm). Na comparação entre esses dois Subtipos Climáticos, conseguimos evidenciar o efeito da topografia na conformação da complexidade climática da área analisada, fato que também se replica para a totalidade da Bacia Hidrográfica do Rio Doce. Analisando a disposição dos Subtipos Climáticos e a variação da altimetria podemos perceber total aderência entre o comportamento dos elementos do clima e o relevo local, reforçando a relação de que nas áreas mais elevadas são registradas as menores TMMMF, os maiores índices de pluviosidade e os menores valores médios de ETP.

No norte do Médio Rio Doce, temos o único Subtipo representante do Tipo Nordeste do Brasil, dos Patamares das Chapadas do Jequitinhonha (TrM*neb10). O TrM*neb10 apresenta um altimetria que varia de 716 a 1187 metros, valores da TMMMF entre 17°C e 17,9°C, precipitação média anual entre 1038 e 1390 mm, ETP média entre 926 e 1029 mm e uma variação de 6 a 7 meses secos por ano, configurando sua classificação como semisseco.

Na porção sudoeste da área do Médio Rio Doce, foi classificado o Subtipo Tropical semiúmido Oriental do Brasil, das Serrarias da Zona da Mata Mineira (TrM'ebr21). Esse Subtipo ocorre em altitudes que variam entre 670 e 1580 metros, apresenta TMMMF entre 15°C e 17,9°C, uma precipitação média anual que varia entre 1210 e 1724 mm, além de valores médios anuais de ETP variando entre 822 e 988 mm. Os valores de precipitação são expressivamente superiores aos valores de ETP garantindo sua classificação no Subdomínio semiúmido.

Entre as unidades geomorfológicas das Serrarias da Zona da Mata Mineira e da Serra do Caparaó, temos uma área de altitudes, relativamente, mais modestas. Nessa área os Subtipos Tropical seco Oriental do Brasil, dos Patamares Escalonados da Serra do Caparaó (Tr**ebr12) e o Tropical semisseco Oriental do Brasil, dos Patamares Escalonados da Serra do Caparaó (Tr*ebr12) são predominantes. O Tr**ebr12, por estar em cotas altimétricas mais baixas apresenta maiores TMMMF, menor pluviosidade e maior ETP média anual.

O Subtipo Tropical ameno semisseco Oriental do Brasil, dos Patamares Escalonados da Serra do Caparaó (TrM*ebr12) também pode ser encontrado nessa área de transição entre as unidades geomorfológicas. Esse domínio está sob influência de maiores altitudes e apresenta TMMMF mais baixas, precipitação um pouco mais elevada e valores médios anuais de ETP variando entre 808 e 1099 mm. Sua classificação como Subdomínio semiúmido está associado à sua posição em relação à Serra do Caparaó. Mesmo estando em maiores cotas altimétricas encontra-se a sotavento dessa importante formação do relevo, acarretando, conseqüentemente, uma condição em que são registrados menores valores de precipitação quando comparado aos Subtipos localizados a barlavento.

No sul do Médio Rio Doce encontram-se os Subtipos dos Domínios Subtropical e Temperado. Nessa área vamos dar destaque aos Subtipos Subtropical semiúmido Oriental do Brasil, da Serra do Caparaó (St'ebr20), Subtropical úmido Oriental do Brasil, da Serra do Caparaó (St''ebr20) e ao único Subtipo pertencente ao Domínio Temperado de toda a Bacia Hidrográfica do Rio Doce, o Temperado úmido Oriental do Brasil, da Serra do Caparaó (Te''ebr20).

Os Subtipos St'ebr20 e St''ebr20 apresentam características semelhantes, contudo se diferenciam na quantidade de meses secos, o que faz com que sejam classificados em Subdomínios distintos. A justificativa para que o Subtipo St'ebr20 seja semiúmido é o fato de estar a sotavento da Serra do Caparaó e conseqüentemente apresentar menores médias anuais de precipitação, apresentando entre 4 e 5 meses secos enquanto o Subtipo St''ebr20, por estar

em uma posição de maior influência da orografia na ocorrência das chuvas, apresenta apenas 3 meses secos por ano.

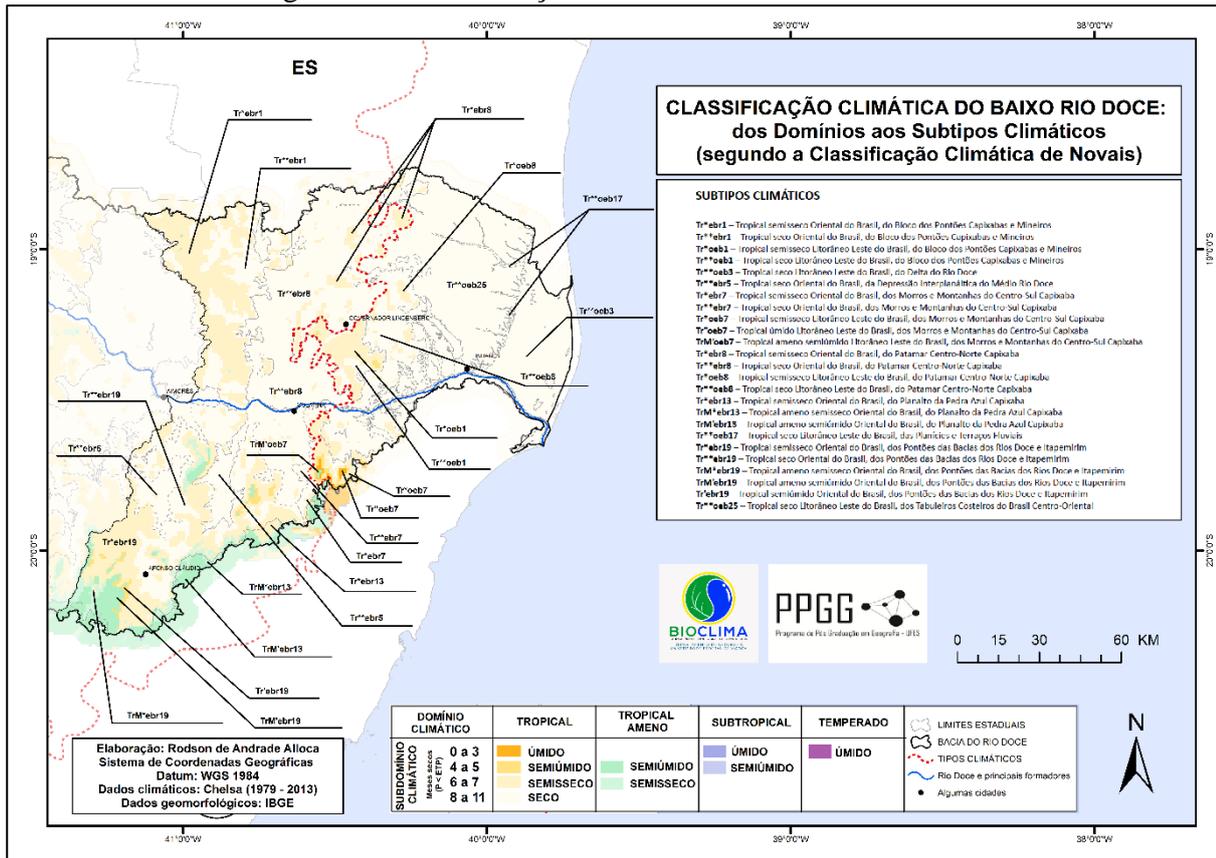
O Subtipo Temperado úmido Oriental do Brasil, da Serra do Caparaó (Te’abr20), por sua vez, é o único representante do Domínio Temperado. Esse Subtipo está circunscrito às áreas que apresentam as maiores cotas altimétricas dentre todos os Subtipos classificados, com altitudes superiores a 2000 metros. Caracteriza-se por apresentar os valores da TMMMF também são os mais baixos de toda a bacia, com médias entre 8,1°C e 9,9°C, precipitação média anual entre 1661 e 1858 mm, ETP média anual entre 624 e 702 mm, e apenas 3 meses secos ao ano. Essas características estão diretamente relacionadas às condições de relevo.

No sentido de finalizar a análise dos Subtipos Climáticos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, vamos abordar o terceiro trecho da bacia, o Baixo Rio Doce (Figura 36). Nessa porção da bacia foram classificados 25 Subtipos Climáticos, cujas características podem ser verificadas na Tabela 9, além da identificação dos Subtipos, no Baixo Rio Doce temos o limite entre os Tipos Climáticos Oriental do Brasil e o Litorâneo Leste do Brasil, considerando a área total da bacia. Trata-se de uma área da bacia em que o relevo apresenta feições mais rebaixadas em relação aos outros trechos da bacia, fator que reduz a rugosidade do terreno. Nesse sentido, temos, de maneira geral, temperaturas mais elevadas, alteração no regime pluviométrico e, conseqüentemente, diferente padrão de evapotranspiração.

No limite oeste desse trecho temos Subtipos semelhantes aos classificados na porção central do Médio Rio Doce, inclusive, o Tr**abr5 é um Subtipo comum a esses dois trechos. Na porção sudoeste da área do Baixo Rio Doce, podemos destacar a ocorrência de Subtipos dos Domínios Tropical e Tropical ameno. O Subtipo Tropical ameno semiúmido Oriental do Brasil, dos Pontões das Bacias dos Rios Doce e Itapemirim (TrM’abr19) localizado em cotas altimétricas que variam entre 614 e 1434 metros, apresenta TMMMF entre 15,3°C (menor valor médio registrado no Baixo Rio Doce) e 17,9°C, a precipitação média anual varia entre 1220 e 1735 mm e a ETP média anual entre 828 e 975 mm, por apresentar entre 4 e 5 meses secos por ano, é considerado semiúmido.

Posicionado a barlavento da localização do TrM’abr19, temos o Subtipo Tropical semiúmido Oriental do Brasil, dos Pontões das Bacias dos Rios Doce e Itapemirim (Tr’abr19). Os valores de precipitação média anual desse Subtipo são, relativamente, elevados (entre 1200 e 1523 mm) e favorecidos pelo efeito orográfico do relevo local que provoca chuvas decorrentes do avanço das massas úmidas advindas do Atlântico que adentram a área da bacia em direção ao interior do continente. Com uma ETP média anual menor do que os valores médios de precipitação, o Subtipo é classificado como semiúmido por apresentar 5 meses secos no ano.

Figura 38 - Classificação Climática do Baixo Rio Doce



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 9 - Caracterização dos Subtipos Climáticos do Baixo Rio Doce

SUBTIPO	ALTITUDE (M)	TMMMF (°C)	MÉDIA ANUAL DE PRECIPITAÇÃO (MM)	MÉDIA ANUAL DE ETP (MM)	MESES SECOS
Tr*ebr1	49 – 917	18 – 22	979 – 1552	966 – 1342	6 – 7
Tr**ebr1	40 – 871	18,4 – 22,2	762 – 1356	1003 – 1372	8 – 11
Tr*oeb1	122 – 508	18 – 22,1	1103 – 1558	1018 – 1253	6 – 7
Tr**oeb1	125 – 493	18 – 22,6	1029 – 1267	1018 – 1316	8 – 11
Tr**oeb3	1 – 85	22,3 – 23	1101 – 1287	1376 – 1407	8 – 10
Tr**abr5	23 – 835	20,3 – 22,2	732 – 1220	1179 – 1413	8 – 11
Tr*abr7	57 – 904	18 – 21,8	1030 – 1560	941 – 1327	6 – 7
Tr**abr7	40 – 705	19,2 – 22,2	891 – 1359	1053 – 1388	8 - 10
Tr*oeb7	43 – 895	18 – 22,3	1052 – 1565	952 – 1404	6 – 7
Tr”oeb7	284 – 942	18 – 19,8	1501 – 1644	932 – 1092	3
TrM’oeb7	620 – 1009	17,3 – 17,9	1236 – 1687	911 – 1001	4
Tr*abr8	71 – 682	19,4 – 22	1174 – 1443	1069 – 1337	6 – 7
Tr**abr8	20 – 602	19,9 – 22,5	841 – 1340	1114 – 1420	8 – 11
Tr*oeb8	49 – 593	20,3 – 22,2	1235 – 1512	1133 – 1346	6 – 7
Tr**oeb8	8 – 516	20,3 – 22,6	958 – 1398	1146 – 1413	8 – 11
Tr*abr13	493 – 935	18 – 19,4	1030 – 1439	925 – 1071	6 – 7
TrM*abr13	613 – 1187	16,2 – 17,9	892 – 1478	864 - 1025	6 – 7

TrM'eb13	706 – 1296	15,3 – 17,9	1093 – 1695	829 – 961	4 – 5
Tr**oeb17	1 – 245	21,3 – 22,8	790 – 1308	1305 – 1413	8 – 11
Tr*eb19	105 – 1058	18 – 21,4	884 – 1493	964 – 1298	6 – 7
Tr**eb19	27 – 933	18 – 22,3	739 – 1245	975 – 1414	8 – 11
TrM*eb19	460 – 1340	16,2 – 17,9	902 – 1485	864 – 977	6 – 7
TrM'eb19	614 – 1434	15,3 – 17,9	1220 – 1735	828 – 975	4 – 5
Tr'eb19	444 – 1100	18 – 19,1	1200 – 1523	964 – 1053	5
Tr**oeb25	1 – 223	21,7 – 22,8	968 – 1384	1306 – 1412	8 – 11

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda tendo como referência a posição em que ocorre o Subtipo TrM'eb19, a sotavento temos o Subtipo Tropical ameno semisseco Oriental do Brasil, dos Pontões das Bacias dos Rios Doce e Itapemirim (TrM*eb19). Ocorrendo em área relativamente mais baixa, esse Subtipo apresenta entre 6 e 7 meses secos por ano e, por essa razão é classificado como semisseco, diferenciando-se do TrM'eb19 em termos de valores de precipitação e ETP.

Ainda na porção sudoeste do Baixo Rio Doce, temos a unidade geomorfológica do Planalto da Pedra Azul Capixaba onde foram identificados dois Subtipos do Domínios Tropical ameno, associados às áreas mais elevadas da unidade, e um Subtipo do Domínios Tropical, associado a áreas de menores cotas altimétricas.

O Subtipo Tropical ameno semiúmido Oriental do Brasil, do Planalto da Pedra Azul Capixaba (TrM'eb13) é identificado em áreas onde as cotas altimétricas estão compreendidas entre 706 e 1296 metros, a precipitação média anual varia entre 1093 e 1695 mm, a ETP média anual entre 829 e 961 mm. O Subtipo Tropical ameno semisseco Oriental do Brasil, do Planalto da Pedra Azul Capixaba (TrM*eb13), por sua vez, ocorre em cotas mais baixas (entre 613 e 1187 metros) onde a precipitação média anual varia entre 892 e 1478 mm, e a ETP média anual varia entre 864 e 1025 mm. A principal diferença entre os dois Subtipos está relacionada a quantidade de meses secos, pois o TrM'eb13 apresenta entre 4 e 5 meses e o TrM*eb13 apresenta entre 6 e 7 meses.

O Subtipo do Domínio Tropical presente na unidade geomorfológica do Planalto da Pedra Azul Capixaba é o Tropical semisseco Oriental do Brasil, do Planalto da Pedra Azul Capixaba (Tr*eb13) que apresenta, na comparação com os outros Subtipos dessa unidade, maiores temperaturas, menor precipitação média anual e maior taxa de ETP média anual. Esse Subtipo encontra-se em cotas altimétricas mais baixas e sua altitude máxima não ultrapassa os 935 metros. Além das características citadas, a área de ocorrência desse Subtipo encontra-se a sotavento de feições de relevo que influenciam no regime de chuvas.

Na porção centro-norte do Baixo Rio Doce, no limite do Tipo Climático Oriental do Brasil, temos o Subtipo Tropical seco Oriental do Brasil, do Patamar Centro-Norte Capixaba (Tr**ebr8) que pode ser caracterizado por cotas altimétricas entre 20 e 602, valores da TMMMF entre 19,9°C e 22,5°C, precipitação média anual entre 841 e 1340 e ETP média anual entre 1114 e 1420 mm. Nas áreas de ocorrência desse Subtipo, podemos perceber que a ETP supera os valores de precipitação, condicionando a ocorrência de 8 a 11 meses secos por ano. Analisando as condicionantes ambientais, pode ser percebida uma redução das chuvas e, ao mesmo tempo, uma elevação da ETP nos terrenos mais baixos e planos.

Na porção sul do Baixo Rio Doce, já nos limites do Tipo Climático Litorâneo Leste do Brasil, foram classificados Subtipos do Domínio Tropical e Tropical ameno com variações de características, sobretudo no que diz respeito a quantidade de meses secos.

Apresentando maiores cotas altimétrica, menores valores relativos da TMMMF, precipitação média anual entre 1236 e 1687 mm, ETP média anual entre 911 e 1001 mm e 4 meses secos por ano, temos o Subtipo Tropical ameno semiúmido Litorâneo Leste do Brasil, dos Morros e Montanhas do Centro-Sul Capixaba (TrM'oeb7).

O Subtipo Tropical úmido Litorâneo Leste do Brasil, dos Morros e Montanhas do Centro-Sul Capixaba (Tr'oeb7) está situado em cotas altimétricas entre 284 e 942, apresentando TMMMF entre 18°C e 19,8°C, precipitação média anual entre 1501 e 1644 mm e ETP média anual entre 932 e 1092 mm. Mais uma vez, o efeito orográfico pode ser considerado condicionante dos valores de precipitação registrados.

Com valores da TMMMF entre 18°C e 22,3°C, altitudes variando entre 43 e 895 metros, precipitação entre 1052 e 1565 mm, ETP média anual entre 952 e 1404 mm, foi classificado o Subtipo Tropical semisseco Litorâneo Leste do Brasil, dos Morros e Montanhas do Centro-Sul Capixaba (Tr*oeb7), esse Subtipo apresenta entre 6 e 7 meses secos por ano.

No centro da área do Baixo Rio Doce na unidade do Bloco dos Pontões Capixabas e Mineiros, no limite inicial do Tipo Litorâneo Leste do Brasil, temos a ocorrência de dois Subtipos do Domínio Tropical.

O Subtipo Tropical seco Litorâneo Leste do Brasil, do Bloco dos Pontões Capixabas e Mineiros (Tr**oeb1) situa-se em cotas altimétricas baixas que variam entre 125 e 493 metros. Os valores de ETP médios anuais superam os valores de precipitação média anual e a quantidade de meses secos varia entre 8 e 11 meses por ano. Já o Subtipo Tropical semisseco Litorâneo Leste do Brasil, do Bloco dos Pontões Capixabas e Mineiros (Tr*oeb1) é caracterizado por apresentar valores de precipitação superiores aos de ETP, contudo, sem

grandes diferenças. As cotas altimétricas estão entre 122 e 508 metros e a quantidade de meses secos varia entre 6 e 7 meses por ano.

Nas áreas mais próximas ao litoral, predominantemente, os Subtipos são do Subdomínio seco. O Subtipo Tropical seco Litorâneo Leste do Brasil, dos Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro-Oriental (Tr**oeb25) apresenta TMMMF entre 21,7°C e 22,8°C, os valores de ETP média anual são elevados, variando entre 1306 e 1412 mm. Por essa razão, apresenta entre 8 e 11 meses secos por ano.

Com características semelhantes temos os Subtipos Tropical seco Litorâneo Leste do Brasil, das Planícies e Terraços Fluviais (Tr**oeb17) e o Tropical seco Litorâneo Leste do Brasil, do Delta do Rio Doce (Tr**oeb3). Nessa área, temos baixas cotas altimétricas, valores de TMMMF elevadas e elevadas taxas de ETP média anual. O Tr**oeb3 apresenta entre 8 e 10 meses secos por ano e o Tr**oeb17 apresenta entre 8 e 11 meses secos.

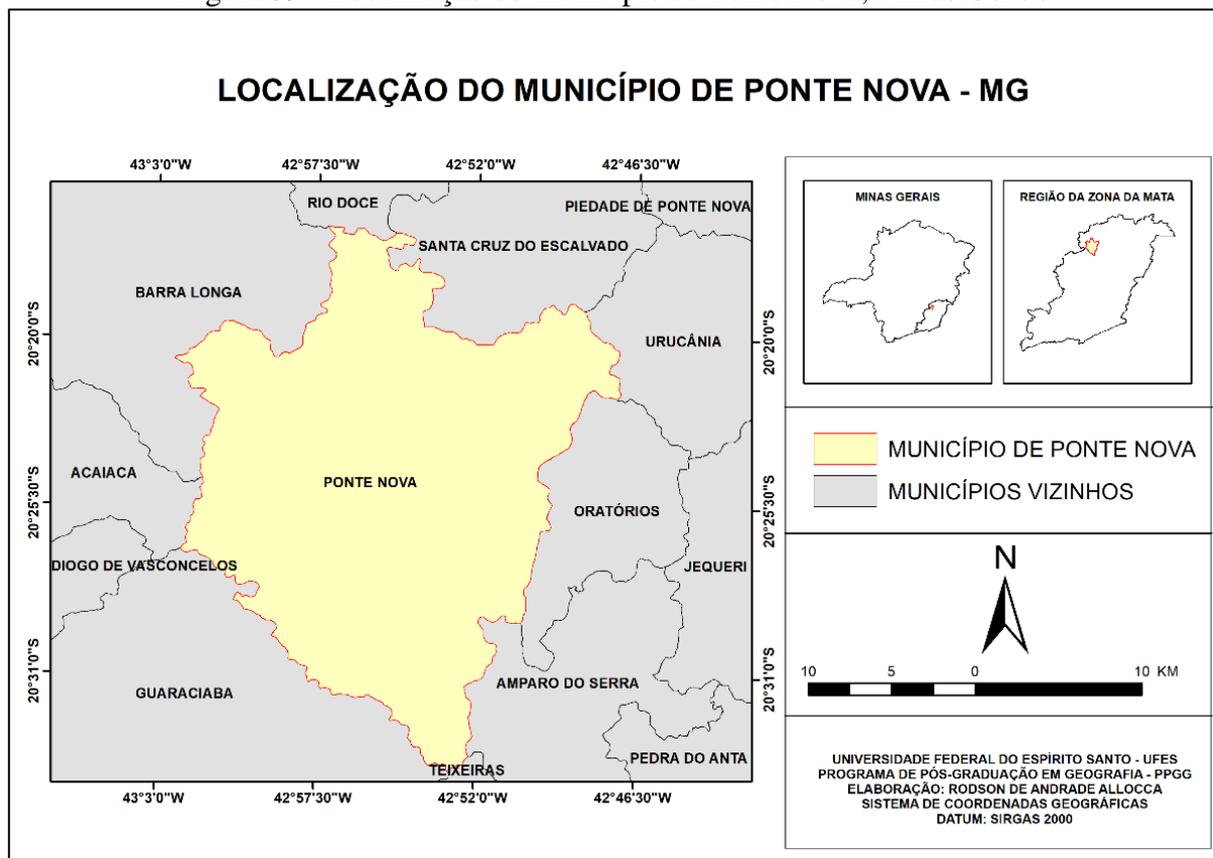
O Baixo Rio Doce, por apresentar um relevo menos complexo, com menor rugosidade que os demais trechos da bacia, apresenta um padrão de características de Subtipos Climáticos menos divergente, onde a variabilidade é menor. Nesse sentido, e de forma extensiva à toda Bacia Hidrográfica do Rio Doce, fica evidenciada a relação direta do relevo com a delimitação e definição das unidades climáticas definidas pela classificação elaborada.

Mesoclimas e Topoclimas

Correspondendo aos dois últimos níveis hierárquicos da classificação, os Mesoclimas e Topoclimas possibilitam uma abordagem do clima em escala local. Como forma de demonstrar o detalhamento possibilitado pela aplicação da Classificação Climática de Novais (2019), serão estabelecidos Mesoclimas e Topoclimas no município de Ponte Nova, Minas Gerais.

O município de Ponte Nova (Figura 37) está situado a aproximadamente 200 quilômetros de Belo Horizonte, na Mesorregião da Zona da Mata, em Minas Gerais.

Figura 39 - Localização do município de Ponte Nova, Minas Gerais



Fonte: (ALLOCCA, 2021, p. 1514).

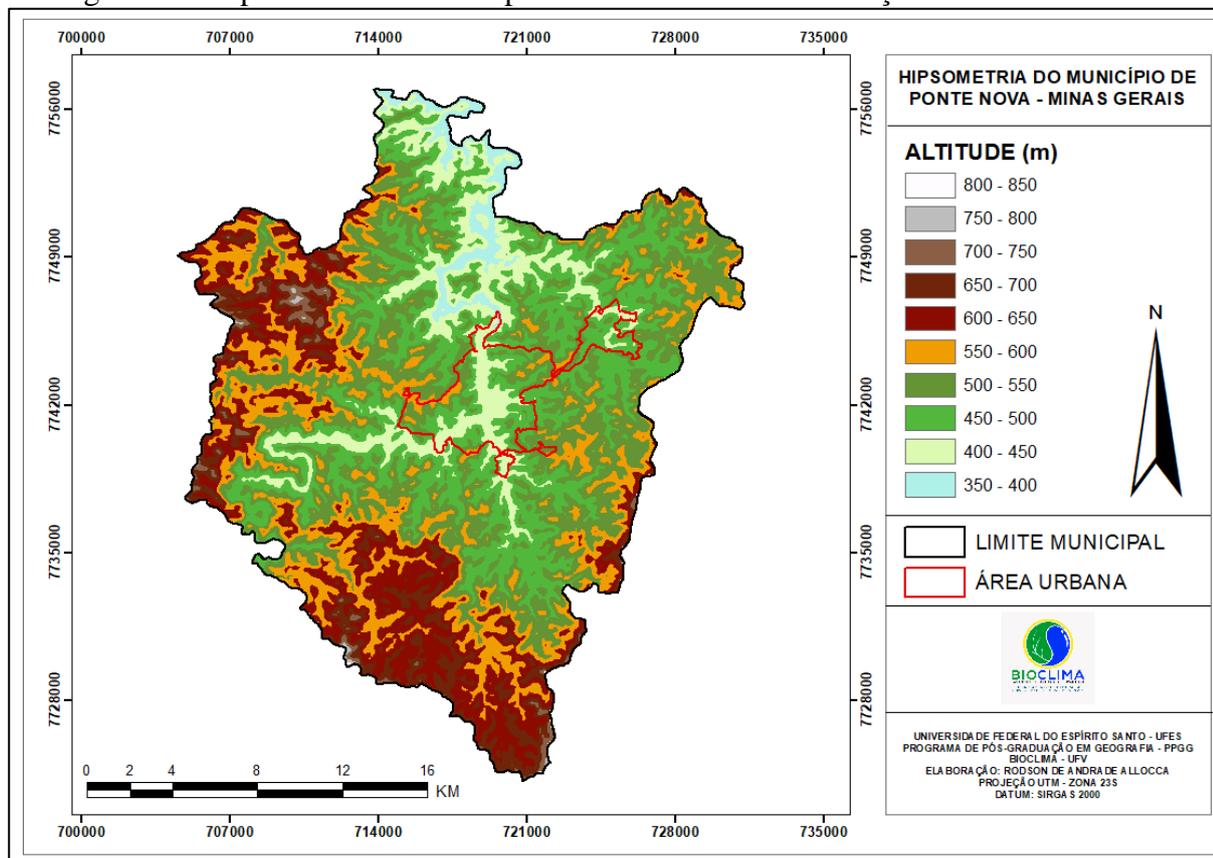
Inserido na área da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, apresenta formas do relevo classificado como Domínio Morfoclimático dos Mares de Morros Florestados, conforme a classificação proposta por AB' SABER (2003). Essa região possui uma variedade de morros mamelonares e vales dissecados pela ação dos rios, apresentando dimensões diversas. Observando a Figura 38, pode ser percebida a complexidade das formas do relevo local.

De acordo com Marchi et al. (2005), em Ponte Nova, o relevo exibe uma distribuição de características que pode ser descrita como cerca de 20% de áreas planas, 60% de áreas com formas onduladas e 20% de áreas montanhosas, considerando toda a extensão do município, que abrange aproximadamente 470 km². Conforme destacado pelos mesmos autores (Marchi et al., 2005, p. 43), "nas cabeceiras, os vales são encaixados, embora sejam mais comuns vales abertos com fundos planos".

A topografia onde se encontra o município, bem como de toda a Região Sudeste do Brasil, conforme descrito por Nimer (1989), desempenha um papel estático na influência do clima em escala regional, e também influencia as variações climáticas nas escalas

mesoclimáticas e/ou topoclimáticas na região do Alto Rio Doce, como demonstrado em estudos realizados por Allocca (2018), Fialho et al. (2018), Prado et al. (2018) e Fialho (2021).

Figura 40 - Hipsometria do município de Ponte Nova e delimitação de sua área urbana



Fonte: (ALLOCCA, 2021, p. 1515).

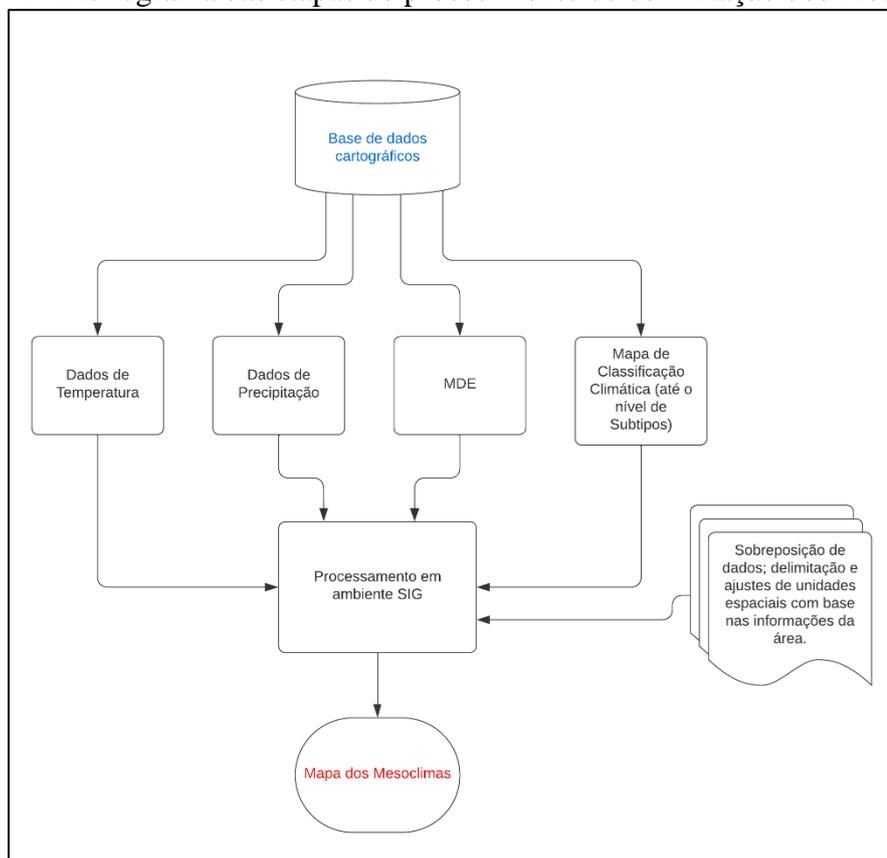
Para a definição dos Mesoclimas, assim como nas etapas anteriores, foram utilizados os dados de precipitação média anual e de TMMMF do CHELSA, além de serem considerados a distribuição da quantidade de meses secos, bem como as características topográficas locais, para identificar áreas onde havia um certo padrão de comportamento dos elementos climáticos. No âmbito municipal, o relevo apresenta bastante rugosidade, destacando-se a presença de vales pluviais e áreas de altitude variável onde predominam as feições características do domínio dos mares de morros.

A delimitação dos Mesoclimas no município de Ponte Nova, teve como base a distribuição dos Subtipos Climáticos identificados na Bacia Hidrográfica do Rio Doce. A ocorrência de dois Subdomínios Climáticos, um seco e outro semisseco, foram considerados como referência inicial, contudo, para estabelecer os limites dos Mesoclimas foram necessários ajustes na definição dos limites das unidades espaciais. Recomenda-se, para maior acurácia nesse processo, se possível, o monitoramento de dados em campo como informações

complementares aos dados do CHELSA, devido a sua resolução espacial (aproximadamente 1 km²).

Os procedimentos para a delimitação dos Mesoclimas em Ponte Nova, estão organizados no fluxograma (Figura 39).

Figura 41 - Fluxograma das etapas do procedimento de delimitação dos Mesoclimas



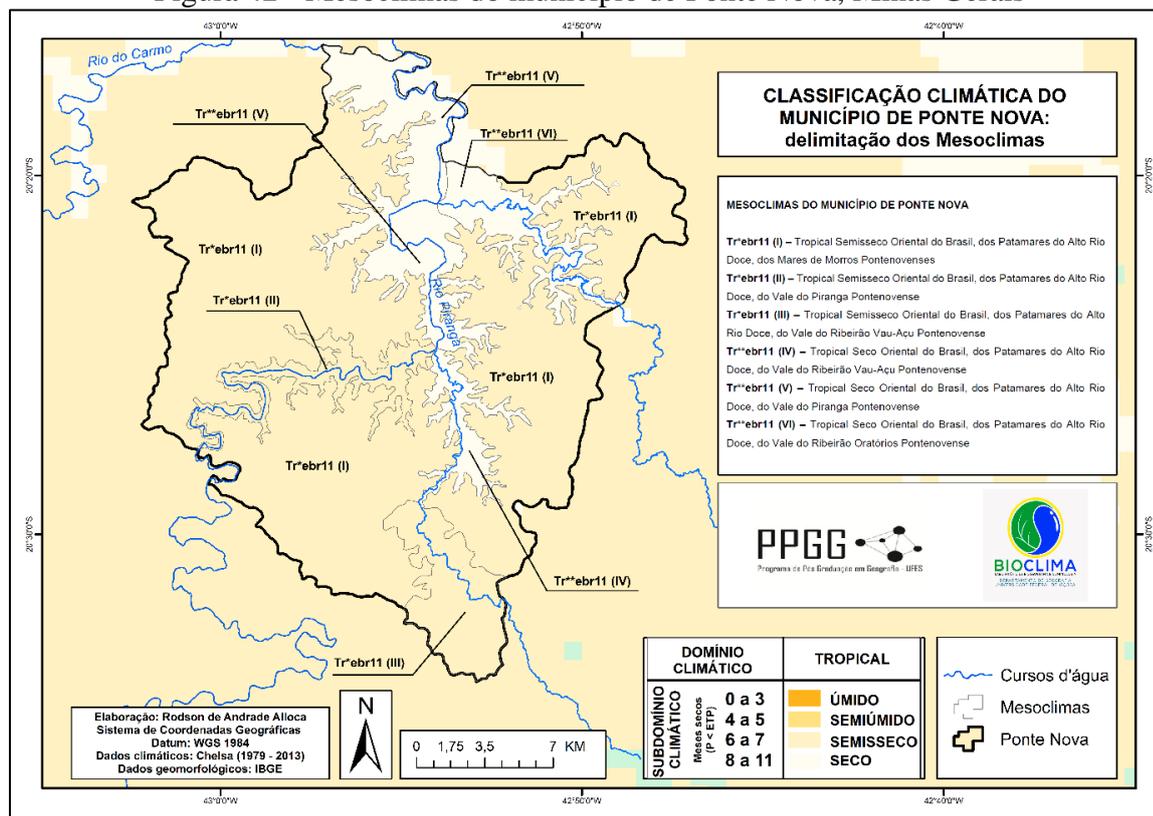
Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos procedimentos descritos acima, foi possível elaborar o mapeamento das unidades Mesoclimáticas para o município (Figura 40). Na área abarcada pelo estudo, foram identificados seis Mesoclimas distintos, definidos com base na espacialização do comportamento dos elementos climáticos e sua relação com a topografia local. São eles:

- ✓ Tr*ebr11 (I) – Tropical Semisseco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce, dos Mares de Morros Pontenovenses.
- ✓ Tr*ebr11 (II) – Tropical Semisseco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce, do Vale do Piranga Pontenovense.
- ✓ Tr*ebr11 (III) – Tropical Semisseco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce, do Vale do Ribeirão Vau-Açu Pontenovense.

- ✓ Tr**ebr11 (IV) – Tropical Seco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce, do Vale do Ribeirão Vau-Açu Pontenovense.
- ✓ Tr**ebr11 (V) – Tropical Seco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce, do Vale do Piranga Pontenovense.
- ✓ Tr**ebr11 (VI) – Tropical Seco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce, do Vale do Ribeirão Oratórios Pontenovense.

Figura 42 - Mesoclimas do município de Ponte Nova, Minas Gerais



Fonte: Elaborado pelo autor.

As informações sobre cada dos Mesoclimas foram organizadas na Tabela 11.

Tabela 10 - Características dos Mesoclimas do município de Ponte Nova

SUBTIPO / MESOClima	ALTITUDE (M)	TMMMF (°C)	MÉDIA ANUAL DE PRECIPITAÇÃO (MM)	MÉDIA ANUAL DE ETP (MM)	MESES SECOS
Tr*ebr11 (I)	476 – 840	18,4 – 19,8	1021 – 1640	1033 – 1168	6 – 7
Tr*ebr11 (II)	407 – 480	19,2 – 20	1065 – 1386	1105 – 1189	6 – 7
Tr*ebr11 (III)	476 – 749	18,6 – 19,5	1339 – 1361	1051 – 1122	6 – 7
Tr**ebr11 (IV)	408 – 475	19,6 – 20	1007 – 1112	1136 – 1193	8 – 11
Tr**ebr11 (V)	357 – 475	19,9 – 20,4	1007 – 1479	1132 – 1235	8 – 11
Tr**ebr (VI)	376 – 480	19,6 – 20,3	1008 – 1264	1131 – 1223	8 – 11

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Mesoclima Tr*ebr11 (I) – Tropical Semisseco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce, dos Mares de Morros Pontenovenses foi identificado nas porções oeste, sudoeste, leste e nordeste do município, nas áreas de Subdomínio Semisseco. Nessas áreas, onde a altitude varia entre 476 e 840 metros, as TMMMF variaram entre 18,4°C e 19,8°C, a precipitação média anual entre 1021 e 1640 mm e a ETP média anual entre 1033 e 1168 mm. As áreas de ocorrência encontram-se divididas pelos cursos d'água do rio Piranga e dos ribeirões Vau-Açu e Oratórios, tratam-se de áreas afastadas dos vales, coincidindo com as porções com as maiores cotas altimétricas do terreno.

O Mesoclima Tr*ebr11 (II) – Tropical Semisseco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce, do Vale do Piranga Pontenovense, por sua vez, foi identificado no vale do rio Piranga, em seu seguimento inicial dentro do município. Nessas áreas, as TMMMF variaram entre 19,2°C e 20°C, a altimetria variou entre 407 e 480 metros, a precipitação média anual entre 1065 e 1386 mm e a ETP média anual entre 1105 e 1089 mm. Embora, predominantemente no município os fundos de vales tenham correspondido às áreas do Subdomínio Seco, o Mesoclima em questão encontra-se no Subdomínio Semisseco, possivelmente, em decorrência da orientação do vale, pois na comparação com o trecho central do vale do Piranga e o trecho final do ribeirão Vau-Açu, que se encontram com orientação sul-norte, esse trecho inicial do Piranga está orientado no sentido oeste-leste.

Mendonça e Danni-Oliveira (2007), discutem a importância da orientação das vertentes na dinâmica de aquecimento em razão da incidência de radiação solar e, nesse sentido, os autores indicam que no hemisfério Sul, as vertentes voltadas para o Norte serão as mais aquecidas. O mesmo princípio podemos aplicar quando analisamos a abertura do vale do rio Piranga, em seu trecho central, e do ribeirão Vau-Açu no trecho de sua confluência com o Piranga, nesses trechos a orientação sul-norte favorece a incidência de radiação e, por essa razão, justificando a ocorrência maiores temperaturas do que o trecho de orientação oeste-leste do Piranga, bem como a predominância do Subdomínio Seco.

O Mesoclima Tr*ebr11 (III) – Tropical Semisseco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce, do Vale do Ribeirão Vau-Açu Pontenovense foi identificado na porção sul do município. Nessa área de vale, o ribeirão apresenta uma orientação de fluxo no sentido sudeste-noroeste, até o limite com as áreas do Subdomínio Seco, que se inicia quando a orientação do vale muda para o sentido sul-norte. As altitudes da área de ocorrência do Mesoclima variam entre 476 e 749 metros, correspondendo ao trecho onde o ribeirão percorre suas maiores altitudes dentro do município. Essa área apresenta bons volumes médios de chuva, variando

entre 1339 e 1361 mm, a média mínima de precipitação é a maior dentre os demais mesoclimas, e os valores de ETP média variam entre 1051 e 1122 mm.

O quarto Mesoclima delimitado foi o Tr**ebr11 (IV) – Tropical Seco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce, do Vale do Ribeirão Vau-Açu Pontenovense, que tem seu início no limite do Tr*ebr11 (III), na porção centro-sul do município, na continuidade do ribeirão Vau-Açu. Esse Mesoclima estende-se até a confluência entre o ribeirão e o rio Piranga, na porção central do município e pode ser caracterizado por altitudes entre 408 e 475 metros, por TMMMF entre 19,6°C e 20°C, precipitação média anual entre 1007 e 1112 mm e ETP média anual variando entre 1136 e 1193 mm. O Mesoclima, na comparação com os demais, de maneira geral, apresenta os menores valores de precipitação média, fator que contribui para a caracterização do Subdomínio Seco no município, com a ocorrência de 8 a 11 meses secos.

O Mesoclima Tr**ebr11 (V) – Tropical Seco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce, do Vale do Piranga Pontenovense inicia-se na confluência do ribeirão Vau-Açu com o rio Piranga, percorre toda a região central e estende-se até os limites do município, ao norte, onde irá juntar-se ao ribeirão do Carmo e formar o Rio Doce. Essa unidade pode ser caracterizada por altitudes médias entre 357 e 480 metros, representando as menores cotas altimétricas do município, TMMMF entre 19,9°C e 20,4°C, representando as maiores médias térmicas, precipitação média anual entre 1007 e 1479 mm, e uma variação entre 1132 e 1235 mm de ETP média anual. O vale do rio nessa área é amplo e com abertura orientada para o norte, favorecendo, de maneira geral a incidência de radiação solar, fator que justifica encontrarmos nessa unidade as maiores médias de temperatura do ar. Trata-se de uma área onde a precipitação é menor e a ETP média mais elevada, na comparação com os demais Mesoclimas, predominando o Subdomínio Seco, com uma variação entre 8 e 11 meses secos por ano.

Por fim, temos o Mesoclima Tr**ebr11 (VI) – Tropical Seco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce, do Vale do Ribeirão Oratórios Pontenovense que pode ser caracterizado por uma variação altimétrica entre 376 e 475 metros, precipitação média anual entre 1008 e 1264 mm e ETP média anual entre 1131 e 1223 mm. Assim como o Tr**ebr11 (V), o Mesoclima encontra-se em porções mais baixas do município, em áreas onde relativamente as médias de precipitação são menores. O ribeirão Oratórios, semelhantemente ao ribeirão Vau-Açu, em seu trecho inicial dentro do município, tem orientação sudeste-noroeste, contudo, difere-se do ponto de vista altimétrico. Por estar em porções mais baixas e planas, o processo de aquecimento do ar e de ETP são mais intensos, fazendo com que o Subdomínio Seco predomine nessa unidade, diferentemente do que é observado no Mesoclima Tr*ebr11 (III).

Ao analisarmos o comportamento dos elementos climáticos nos diferentes Mesoclimas, podemos dizer que mesmo as diferenças não sendo tão expressivas em valores absolutos, não significa que essas diferenças possam ser negligenciadas, sobretudo no que diz respeito ao fornecimento de informações na escala de planejamento local das atividades que são desenvolvidas no município.

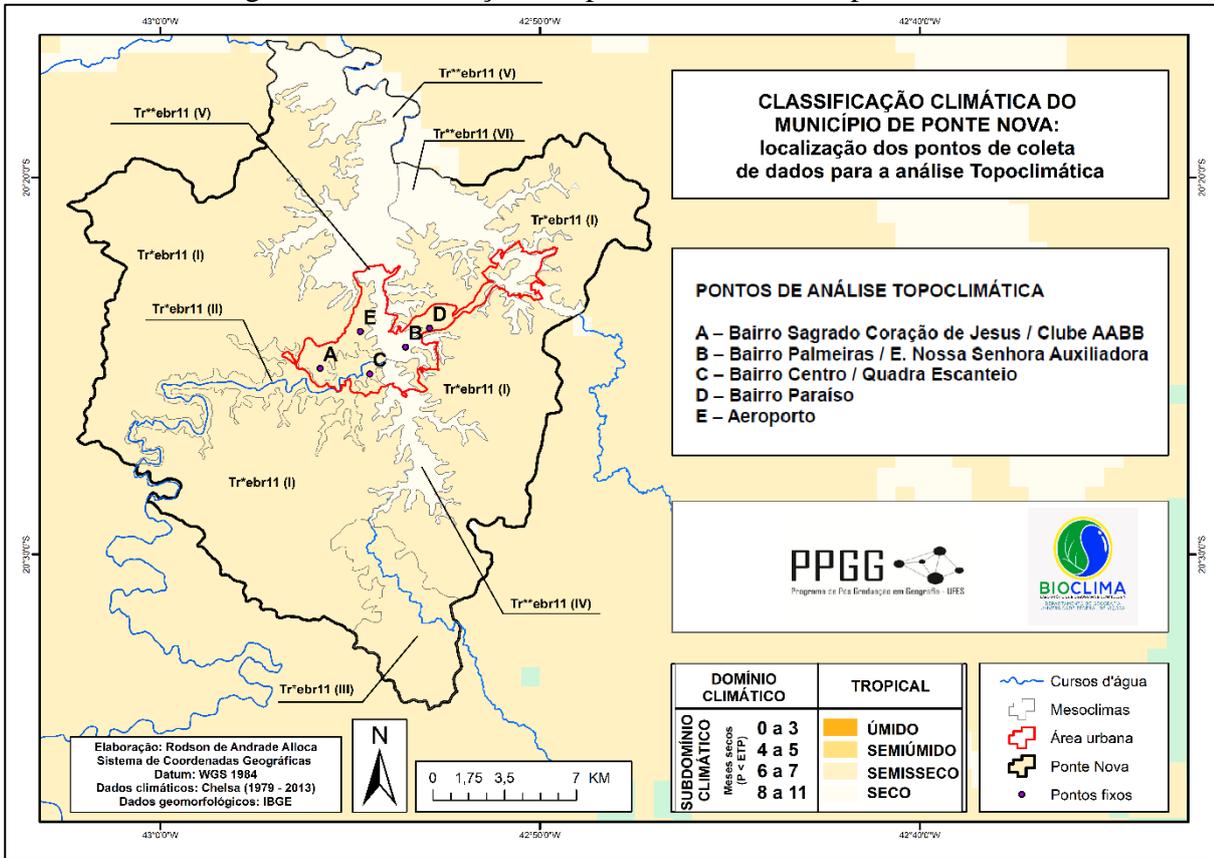
No sentido de avançar ainda mais no detalhamento das características do clima na escala local, conforme sugere a Classificação Climática de Novais (2019), serão estabelecidas unidades topoclimáticas para o município. Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), em termos escalares, o clima local e o Topoclima são subunidades do Mesoclima, sendo o Topoclima definido pelas características do relevo. O intuito dessa abordagem é proporcionar uma adequação escalar de forma mais particularizada para verificar o comportamento dos elementos climáticos em pontos específicos da área de estudos, para tanto a unidade topoclimática é analisada numa perspectiva de aproximação entre o conceito apresentado por Monteiro (1976) e o conceito apresentado por Ribeiro (1993). Com base nos autores, toma-se como referência a ideia de um Topoclima como unidade com variação espacial que vai de dezenas de metros a cinco quilômetros, situando-se entre o clima local e uma unidade microclimática, que pode sofrer a influência da rugosidade do terreno e de outros elementos locais (a arquitetura urbana, por exemplo) configurando-se como uma variação do clima local. Desse modo, por sua particularização, uma análise topoclimática pode contribuir no planejamento de ações pontuais, sendo um ajustamento da classificação para uma área menor e até mesmo pontual, em uma escala geográfica de maior proximidade e detalhamento, para que os dados forneçam informações que possam ser mais representativas.

Para a delimitação dos Topoclimas em Ponte Nova, serão comparados dados primários, coletados por Allocca (2018) em sua pesquisa de mestrado e também dados secundários, do banco do CHELSA. É importante ressaltar que a metodologia de classificação proposta por Novais (2019) ainda não foi aplicada nesse nível de detalhamento, não havendo, portanto, um caminho metodológico já definido. O autor, ao dizer que o método se encontra em construção, possibilita que os pesquisadores proponham novas formas de abordagem para essa etapa e, desse modo, espera-se que a proposta desenvolvida no âmbito dessa tese possa representar uma contribuição para a construção e a aplicação do método de Classificação Climática de Novais (2019) no território brasileiro até sua última hierarquia.

Na análise topoclimática desenvolvida como exemplo, foram utilizados cinco pontos distintos, distribuídos em diferentes localidades na área urbana de Ponte Nova, conforme pode

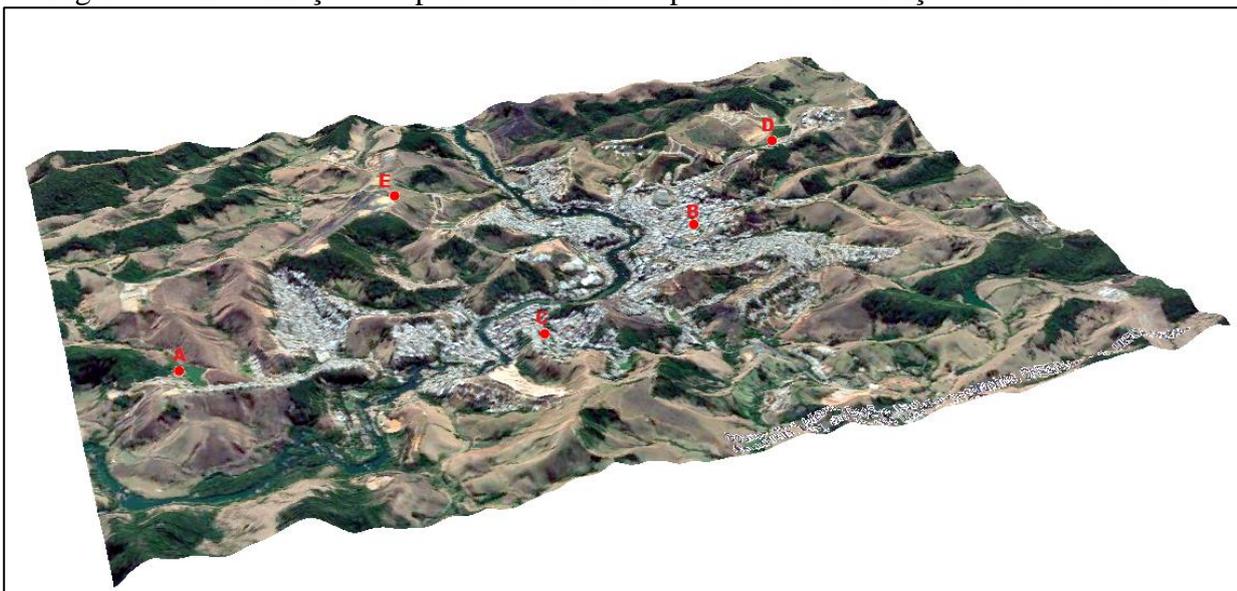
ser observado na Figura 41 e na Figura 42, onde, inclusive, é possível visualizar, a partir de um modelo elaborado no *software* ArcScene 10.5, a variabilidade e a rugosidade do relevo local.

Figura 43 - Localização dos pontos da análise Topoclimática



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 44 - Localização dos pontos de análise topoclimática nas feições do relevo local



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além de apresentar o mapeamento indicando a localização dos pontos de coleta de dados que serão utilizados na análise topoclimática, cada um dos pontos foi caracterizado para melhor exemplificar a definição de cada Topoclima. As características e imagens dos locais de onde foram extraídos os dados analisados estão organizadas na Figura 43.

Figura 45 - Caracterização da localização dos pontos de coleta de dados para análise topoclimática

PONTO	CARACTERÍSTICAS	IMAGEM (AEREA/SOLO)	
A - Bairro Sagrado Coração de Jesus / Clube AABB	Intensidade de tráfego alto no entorno; Baixa presença de edificações; Presença de vegetação arbórea e rasteira; Sensor fixado sobre superfície recoberta por gramíneas.		
B - Bairro Palmeiras / Escola Nossa Senhora Auxiliadora	Intensidade de tráfego moderada no entorno; Elevada presença de edificações no entorno; Ausência de vegetação; Sensor fixado sobre gramíneas e com calçamento de bloquete cimentício no entorno.		
C - Bairro Centro / Bar Escanteio	Ausência de tráfego no entorno; Baixa presença de edificações; Presença moderada de vegetação (arbórea e rasteira); Sensor fixado sobre gramíneas.		
D - Bairro Paraíso	Intensidade de tráfego baixa no entorno; Baixa presença de edificações; Presença de vegetação; Sensor fixado sobre gramíneas.		
E - Aeroporto	Intensidade de tráfego baixa no entorno; Baixa presença de edificações; Ausência de vegetação; Sensor fixado sobre o solo exposto.		

Fonte: Adaptado de Allocca (2018).

Os valores de temperatura do ar que, inicialmente, seriam utilizados como parte das informações para o estabelecimento dos Topoclimas foram registrados através da coleta realizada por termo-higrômetros digitais modelo *datalogger* (Hobo – U – 012), instalados por Allocca (2018) em sua pesquisa de mestrado. Na ocasião os equipamentos foram cedidos pelo laboratório Bioclima da Universidade Federal de Viçosa – UFV e, antes da instalação, submetidos a um processo de aferição em laboratório e, posteriormente, na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, localizada no campus da universidade, no município de Viçosa, Minas Gerais.

Os dados coletados no processo de aferição foram comparados com os registros oficiais do INMET e apontaram, através de análise estatística, alta correlação entre os dados coletados pelos equipamentos e os dados oficiais da estação meteorológica. Os equipamentos foram instalados em Ponte Nova no mês de fevereiro de 2017 e efetuaram registros horários de temperatura do ar e umidade relativa do ar entre os dias 15/02/2017 e 09/01/2018.

Numa primeira etapa da análise, os dados coletados pelos termo-higrômetros digitais *datalogger* (Hobo – U – 012), foram organizados em uma tabela (Figura 44) e comparados aos dados extraídos da imagem *raster* obtida através de *download* do banco de dados do CHELSA.

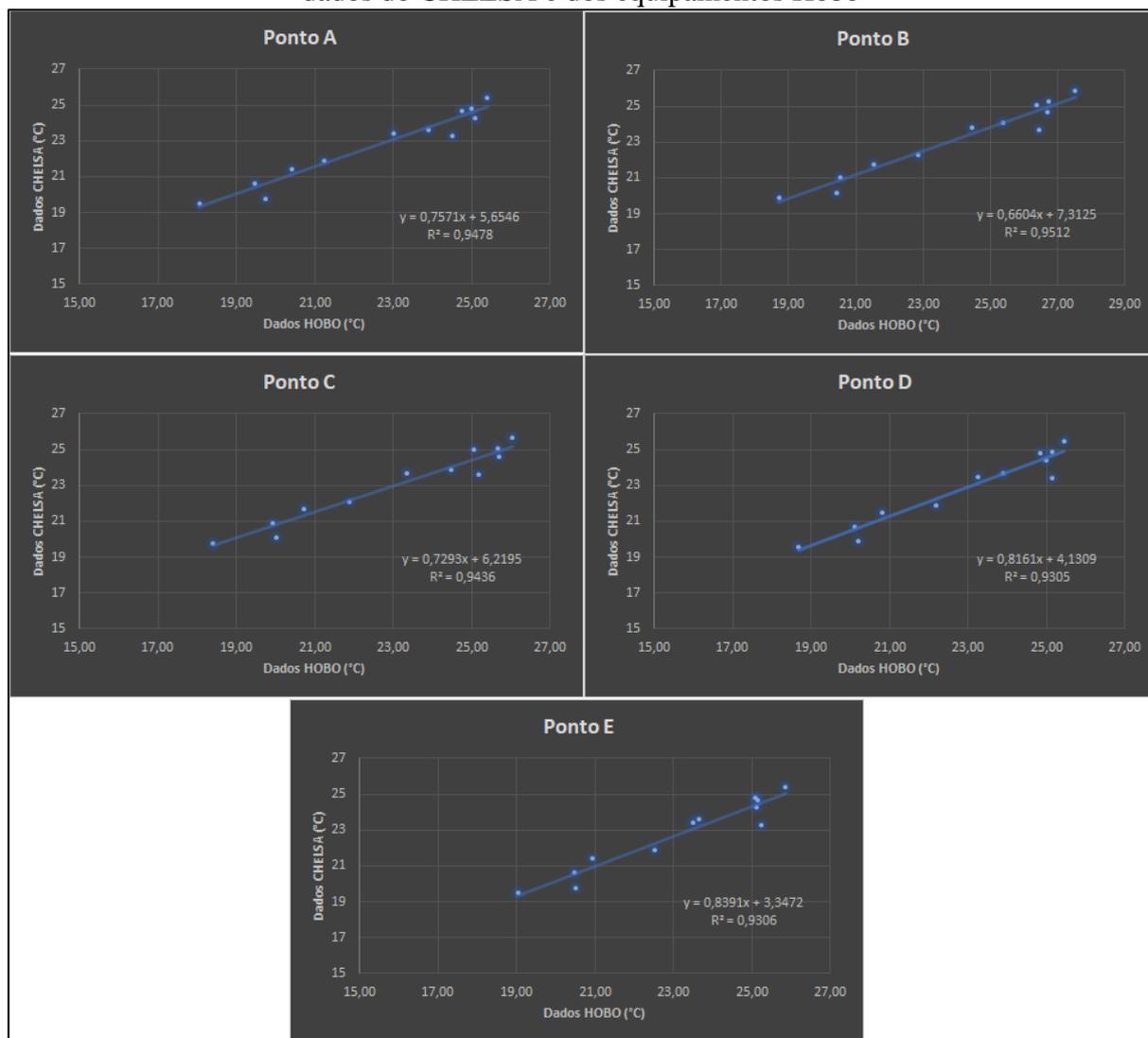
Figura 46 - Comparação dos dados de temperatura média mensal entre os termo-higrômetros e os dados extraídos do CHELSA

COMPARAÇÃO DOS DADOS MÉDIOS MENSAIS										
	A		B		C		D		E	
	Hobo	Chelsa								
Jan	24,98	24,79	26,74	25,29	25,66	25,1	25,14	24,9	25,09	24,79
Fev	25,39	25,4	27,53	25,9	26,04	25,7	25,44	25,5	25,85	25,4
Mar	24,74	24,7	26,38	25,1	25,06	25	24,83	24,79	25,14	24,7
Abr	23,00	23,4	24,45	23,79	23,33	23,7	23,27	23,5	23,51	23,4
Mai	20,41	21,4	21,55	21,79	20,72	21,7	20,83	21,5	20,93	21,4
Jun	19,75	19,79	20,43	20,2	20,02	20,1	20,19	19,9	20,51	19,79
Jul	18,05	19,5	18,71	19,9	18,40	19,79	18,68	19,6	19,04	19,5
Ago	19,46	20,6	20,53	21	19,91	20,9	20,12	20,7	20,48	20,6
Set	21,25	21,9	22,86	22,29	21,89	22,1	22,18	21,9	22,53	21,9
Out	24,50	23,29	26,46	23,7	25,16	23,6	25,15	23,4	25,23	23,29
Nov	23,90	23,6	25,39	24,1	24,49	23,9	23,89	23,7	23,64	23,6
Dez	25,07	24,29	26,71	24,7	25,71	24,6	25,00	24,4	25,12	24,29

Fonte: Organizado pelo autor.

Os dados foram correlacionados no *software* Excel onde, utilizando gráficos de dispersão, foi possível estabelecer o coeficiente de determinação (R^2) na comparação entre os eles, tomando uma variável como dependente (dados Hobo) e outra como independente (dados CHELSA). Os resultados podem ser verificados nos gráficos da Figura 45.

Figura 47 - Correlação linear e coeficiente de determinação (R^2) da comparação entre os dados do CHELSA e dos equipamentos Hobo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise estatística demonstrou que os valores dos coeficientes de determinação (R^2), obtidos em todos os casos de comparação, estavam acima de 0,93. Segundo Paulo (2017), os valores entre 0,81 e 0,99 representam fortíssima correlação.

Com base nos resultados, considerando a maior abrangência temporal dos dados de reanálise, optou-se pela utilização dos dados do algoritmo para representar os valores térmicos e pluviométricos dos Topoclimas. Segundo Monteiro (1976), Ribeiro (1993) e Novais (2019), para as análises na escala topoclimática devem ser utilizados dados climatológicos obtidos a partir de estações locais e postos não convencionais de coleta (fixos ou móveis), contudo, pelos resultados obtidos na comparação entre os dados coletados nos pontos pelos termo-higrômetros e os dados de reanálise, fica indicada a possibilidade do uso dos dados do CHELSA no levantamento de informações climáticas para esse tipo de estudo, representando uma nova

opção para a realização da caracterização do comportamento dos elementos do clima onde não há recursos disponíveis para a coleta a partir dos instrumentos convencionais sugeridos pela literatura.

Conforme já informado anteriormente, ainda não há um método definitivo para os estudos Topoclimáticos e, nesse sentido, propõe-se que quando as áreas em análise forem menores do que a resolução espacial dos dados do CHELSA, em que cada pixel do *raster* representa 1 km², faz-se necessário verificar se os dados de reanálise são representativos. Nesses casos, o discernimento do produto que precisa ser alcançado pela pesquisa deve estar bem evidente para o pesquisador, pois caberá a ele decidir se os dados de reanálise poderão substituir um levantamento primário para subsidiar as análises. Por exemplo, para se comparar o desempenho térmico de duas vertentes com características de orientação distintas, em uma mesma unidade do relevo que seja inferior a 1 km², possivelmente, os dados de reanálise poderão ser pouco representativos para se verificar as diferenças, pois nesse caso as duas vertentes estarão representadas em um mesmo pixel da imagem *raster* que disponibiliza os dados climáticos. Deve-se, portanto, utilizar outros meios para obtenção das informações.

Prosseguindo na análise topoclimática, após a definição do banco de dados para levantamento das variáveis de temperatura e precipitação (algoritmo CHELSA), foram estabelecidos os demais aspectos que seriam considerados na análise. Com base em algumas análises desenvolvidas por Oliveira et al. (2018), além das variáveis já indicadas anteriormente, serão comparados os valores médios de ETP, os resultados do balanço hídrico climatológico (déficit ou excedente hídrico), a altitude, a orientação do relevo e a radiação solar, obtida a partir de um mapa gerado pela ferramenta *Area Solar Radiation* do *software* ArcMap 10.5, em cada um dos pontos da análise topoclimática. Na Figura 46 é possível verificar o mapa de radiação solar dos pontos analisados.

Os valores de temperatura, foram utilizados para duas finalidades ou etapas de análise, a primeira, para realizar o enquadramento do Topoclima dentro de um Mesoclima a partir da TMMMMF, e a segunda, para extrair as médias mensais utilizadas na elaboração do balanço hídrico a fim de ser identificada a distribuição da condição de déficit ou excedente hídrico ao longo dos meses. Na metodologia proposta por Novais (2019) o balanço hídrico é utilizado para o estabelecimento dos Subdomínios Climáticos através do quantitativo dos meses secos (P – ETP). No caso da análise topoclimática, haverá um detalhamento das informações e não somente a quantificação dos meses secos, já contemplada em outra escala e etapa da classificação.

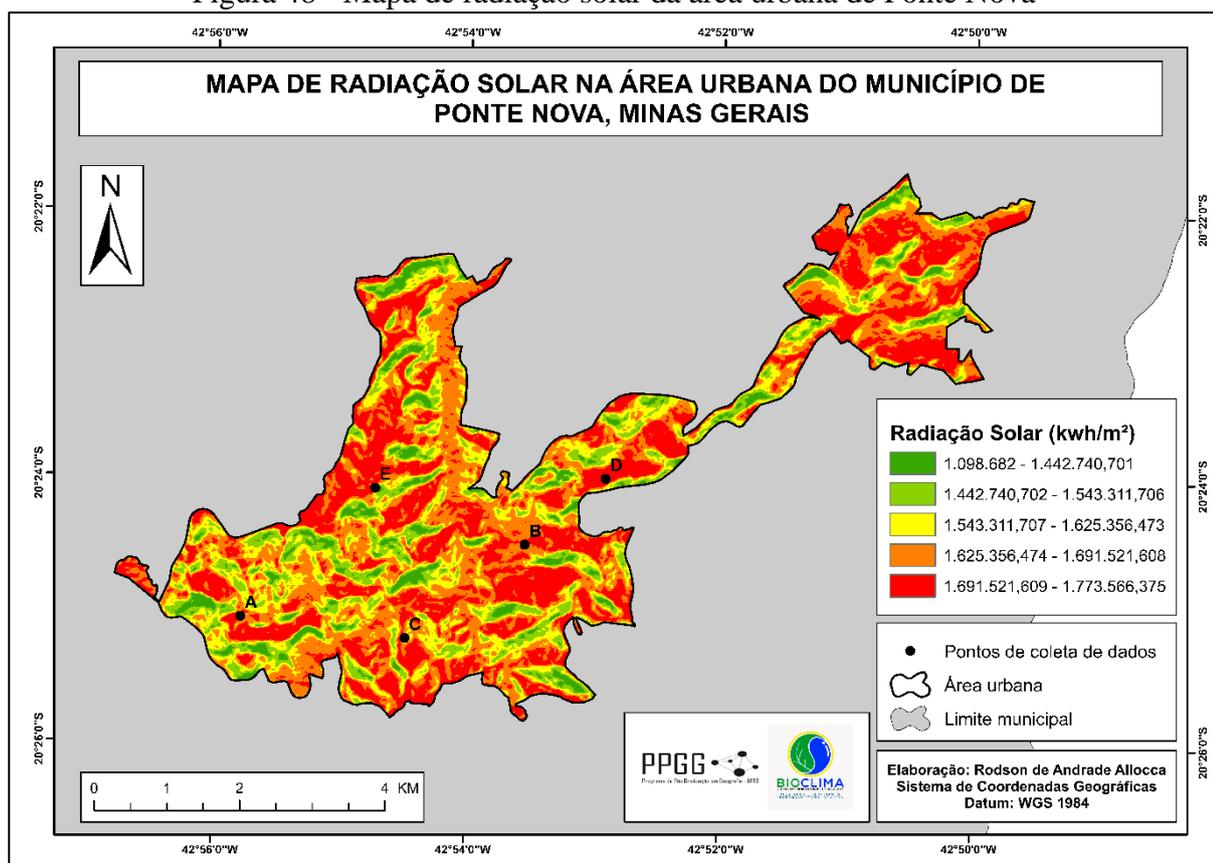
Para facilitar a análise, algumas informações são apresentadas na Tabela 11. As informações que não constam na tabela, serão apresentadas no decorrer da análise comparativa entre os diferentes Topoclimas.

Tabela 11 - Caracterização dos Topoclimas

CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS DE ANÁLISE						
TOPOCLIMA	ALTIMETRIA (M)	TMMMF (°C)	PPT MÉDIA ANUAL (MM)	ETP MÉDIA ANUAL (MM)	ORIENTAÇÃO	RADIAÇÃO KWH/M ²
A	497	19,5	1272	1137	Nordeste	1630905
B	414	20,1	1008	1181	Oeste	1665724
C	478	20	1126	1167	Nordeste	1587292
D	488	19,6	1201	1146	Norte	1750236
E	567	20	1336	1137	Leste	1675860

Fonte: Organizado pelo autor.

Figura 48 - Mapa de radiação solar da área urbana de Ponte Nova



Fonte: Elaborado pelo autor.

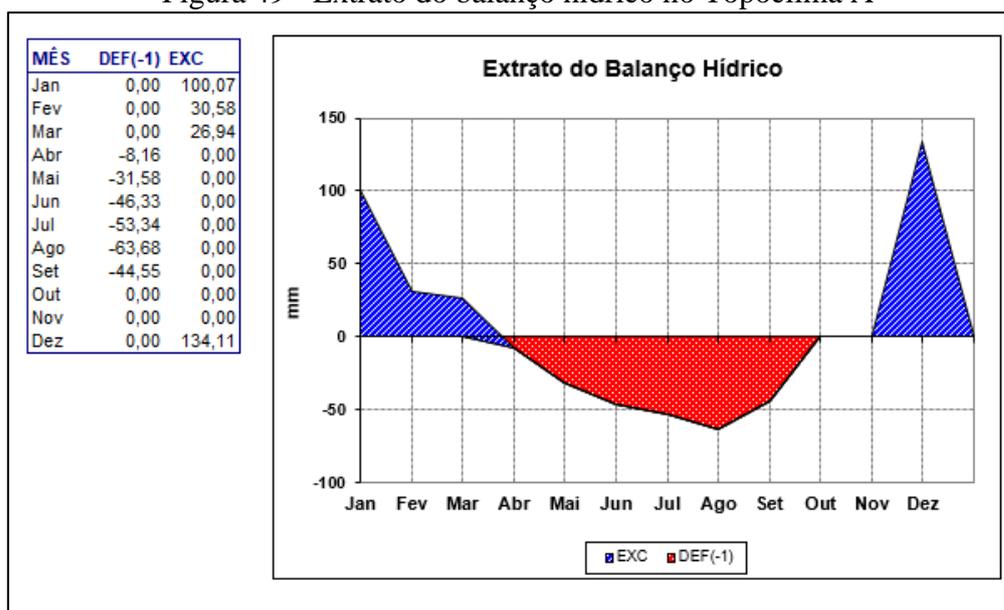
O Topoclíma A, situado no bairro Sagrado Coração de Jesus, encontra-se a uma altitude de 497 metros, fora da porção mais baixa do vale do Piranga e inserido na unidade

mesoclimática Tr*ebr11 (I) – Tropical Semisseco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce, dos Mares de Morros Pontenovenses.

Mesmo estando em uma condição de relevo com orientação nordeste, fator que favorece o processo de aquecimento pela intensa incidência de radiação solar ao longo do ano, apresenta, dentre os demais Topoclimas, a menor TMMM (19,5°C). Condição que pode estar associada à sua localização em área em cotas altimétricas elevadas em relação ao fundo do vale.

A aplicação do Balanço Hídrico Normal por Thornthwaite & Mather (1955) através da planilha elaborada por Sentelhas et al. (1998), que foi feita em todos os pontos de análise, demonstrou que o Topoclima A apresenta 6 meses de déficit hídrico, período que vai de abril a setembro. De janeiro a março e depois novamente em dezembro temos excedente hídrico, já nos meses de outubro e novembro não há nem déficit, nem excedente, conforme pode ser observado na Figura 47. Nesse Topoclima a precipitação média anual é de 1272 mm, a ETP média anual é de 1137 mm e a radiação solar média anual é de 1630905 kwh/m².

Figura 49 - Extrato do balanço hídrico no Topoclima A



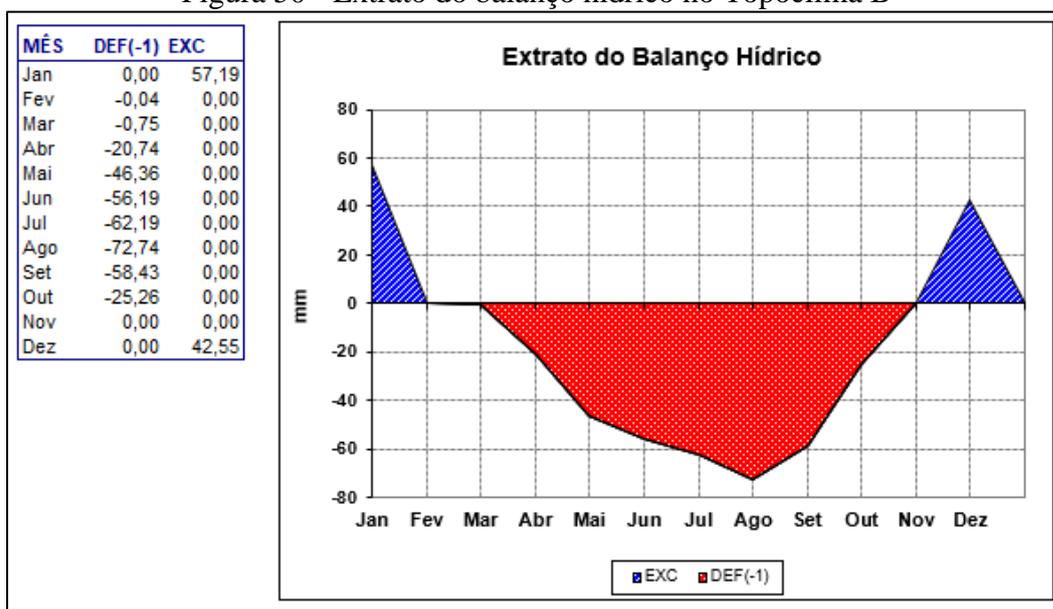
Fonte: Organizado pelo autor.

O Topoclima B, pertencente ao Mesoclima Tr**ebr11 (V) – Tropical Seco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce, do Vale do Piranga Pontenovense e localizado no bairro Palmeiras, é o que se encontra em área de maior concentração de edificações e menor altitude (414 metros) dentre os demais pontos da análise topoclimática. Nesse Topoclima, situado na porção próxima ao fundo do vale do rio Piranga, com orientação do relevo oeste e

ausência de vegetação no entorno, a TMMMF é mais elevada ($20,1^{\circ}\text{C}$) sendo condicionada pela alta incidência média anual de radiação solar, que corresponde a 1665724 kwh/m^2 .

A aplicação do balanço hídrico possibilitou a verificação da ocorrência de 9 meses de déficit hídrico no ano, período que vai de fevereiro a outubro. Os meses de janeiro e dezembro, por sua vez, apresentaram excedente hídrico, já o mês de novembro não apresentou nem déficit, nem excedente, conforme pode ser verificado na Figura 48. A média de precipitação é de 1008 mm e a média de ETP anual é de 1181 mm, sendo, respectivamente, o menor e o maior valor médio dentre os pontos analisados.

Figura 50 - Extrato do balanço hídrico no Topoclíma B

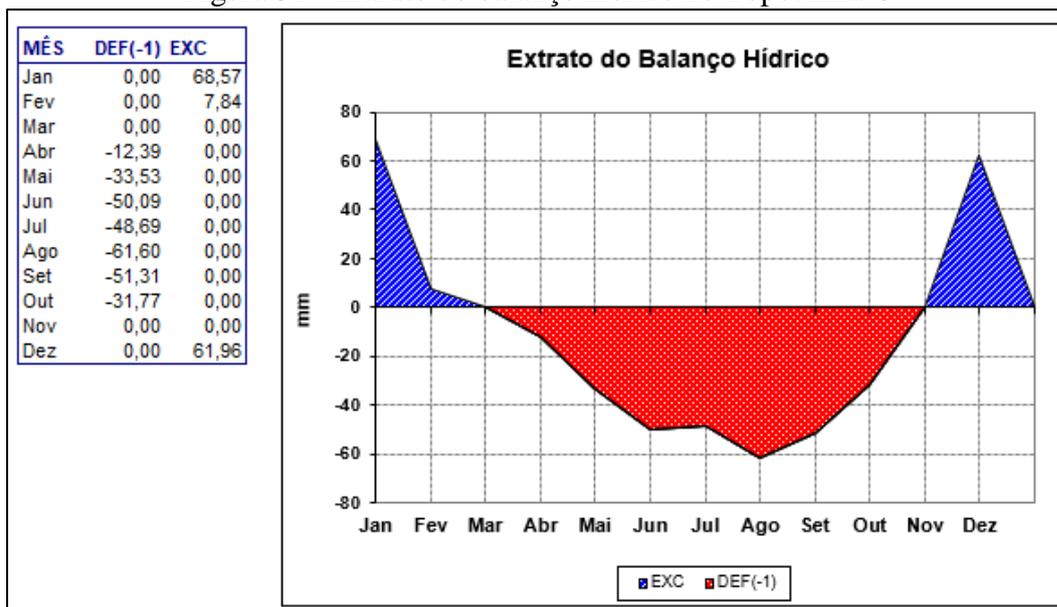


Fonte: Organizado pelo autor.

O Topoclíma C, está situado em uma área do bairro Centro, localizado no Mesoclíma Tr*ebr11 (II) – Tropical Semisseco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce, do Vale do Piranga Pontenovense. O ponto de onde foram extraídos os dados encontra-se em uma altitude de 478 metros e em porção do relevo orientada para nordeste, a precipitação média anual é de 1126 mm e a ETP média anual de 1167 mm. O balanço hídrico realizado nesse Topoclíma (Figura 49), indicou a ocorrência de déficit hídrico em 7 meses, período que vai de abril a outubro. Os meses de janeiro, fevereiro e dezembro apresentam excedente hídrico, já nos meses de março e novembro não temos nem excedente, nem déficit.

No Topoclíma em questão, a TMMMF é de 20°C e a radiação solar média é de 1587292 kwh/m^2 . Nesse ponto, mesmo com uma orientação nordeste, foi registrada a menor taxa de radiação média dentre os pontos utilizados para as análises topoclimáticas.

Figura 51 - Extrato do balanço hídrico no Topoclíma C

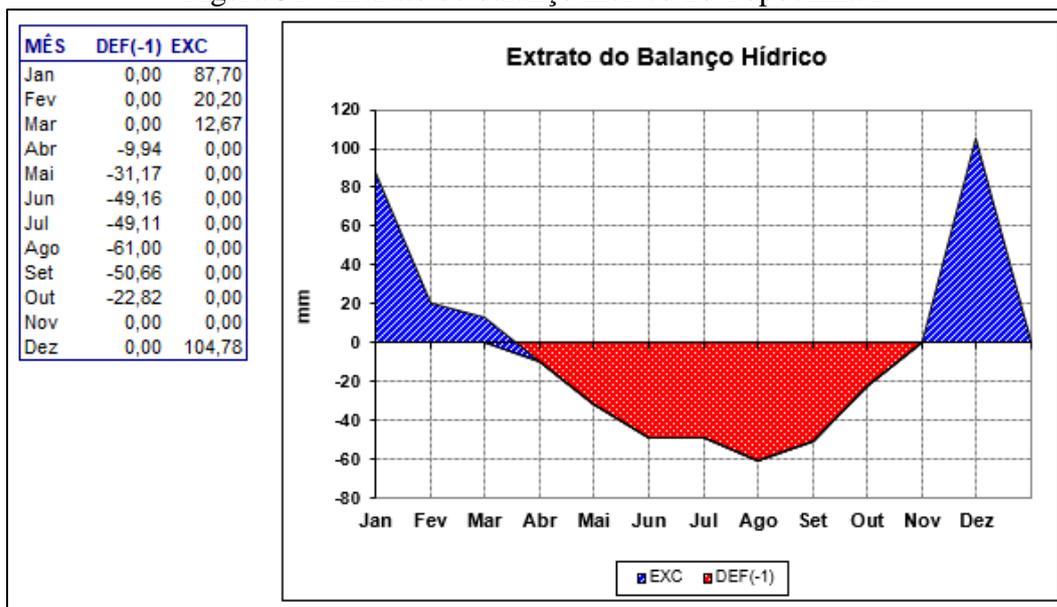


Fonte: Organizado pelo autor.

O Topoclíma D, localizado no bairro Paraíso, está inserido no Mesoclíma Tr*ebr11 (I) – Tropical Semisseco Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce, dos Mares de Morros Pontenovenses, a uma altitude de 488 metros. Apresenta TMMMF de 19,6°C, representando o segundo Topoclíma mais frio analisado. Com orientação norte, tem uma radiação solar média registrada de 1750236 kwh/m², a mais elevada na comparação com os demais. Contudo, mesmo com essa elevada radiação solar média, as características do local onde o ponto se encontra mantiveram a média térmica mais baixa.

O balanço hídrico apontou para a ocorrência de 7 meses com déficit hídrico, período que vai de abril a outubro. De janeiro a março e, posteriormente, em dezembro temos excedente hídrico e, conforme pode ser verificado na Figura 50, o mês de novembro não apresentou nem déficit, nem excedente. A precipitação média anual foi de 1201 mm e a ETP média anual foi de 1146 mm.

Figura 52 - Extrato de balanço hídrico no Topoclíma D

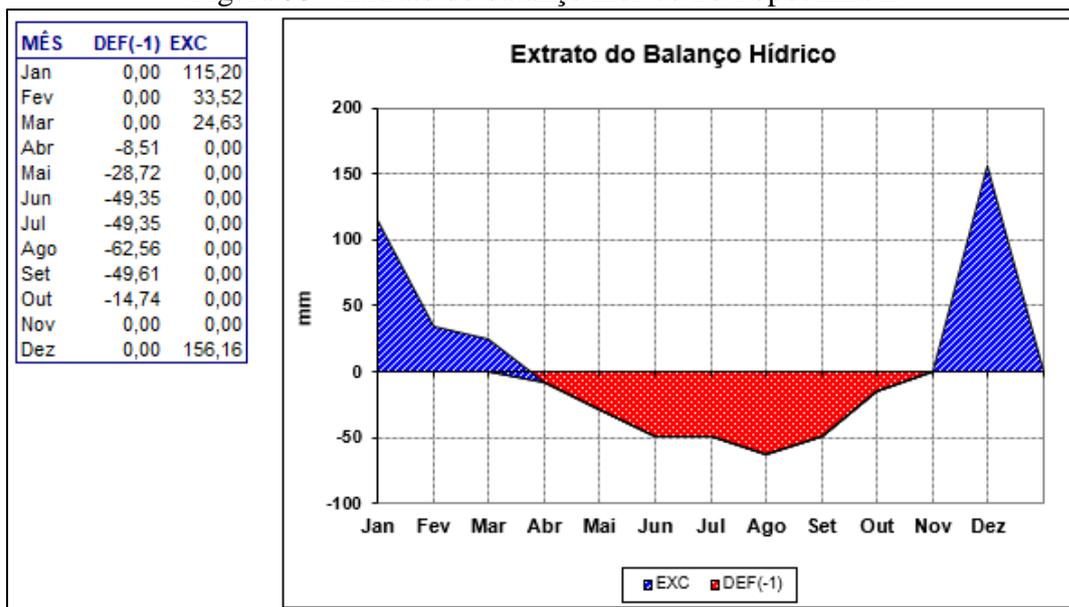


Fonte: Organizado pelo autor.

Finalizando o exemplo de análise topoclimática no município, temos o Topoclíma E. Esse Topoclíma localiza-se na base do Corpo de Bombeiros da cidade, situada no aeroporto, na porção do topo de uma das vertentes do vale do rio Piranga. Inserido, assim como os Topoclimas A e D, no Mesoclíma Tr*ebr11 (I) – Tropical Semissecado Oriental do Brasil, dos Patamares do Alto Rio Doce, dos Mares de Morros Pontenovenses, apresenta uma altitude de 567 metros, o ponto mais elevado dentre os Topoclimas analisados.

A precipitação média anual é de 1336 mm, representando, na comparação com os demais Topoclimas, a média mais alta, e a ETP média anual é de 1137 mm. Através do balanço hídrico (Figura 51), foi possível verificar a ocorrência de 7 meses com déficit hídrico, período que vai de abril a outubro. Assim como no Topoclíma D, de janeiro a março e, posteriormente, em dezembro foi registrado excedente hídrico, já no mês de novembro não houve nem déficit, nem excedente. Com orientação leste, o ponto foi o que apresentou uma média de radiação solar de 1675860 kwh/m².

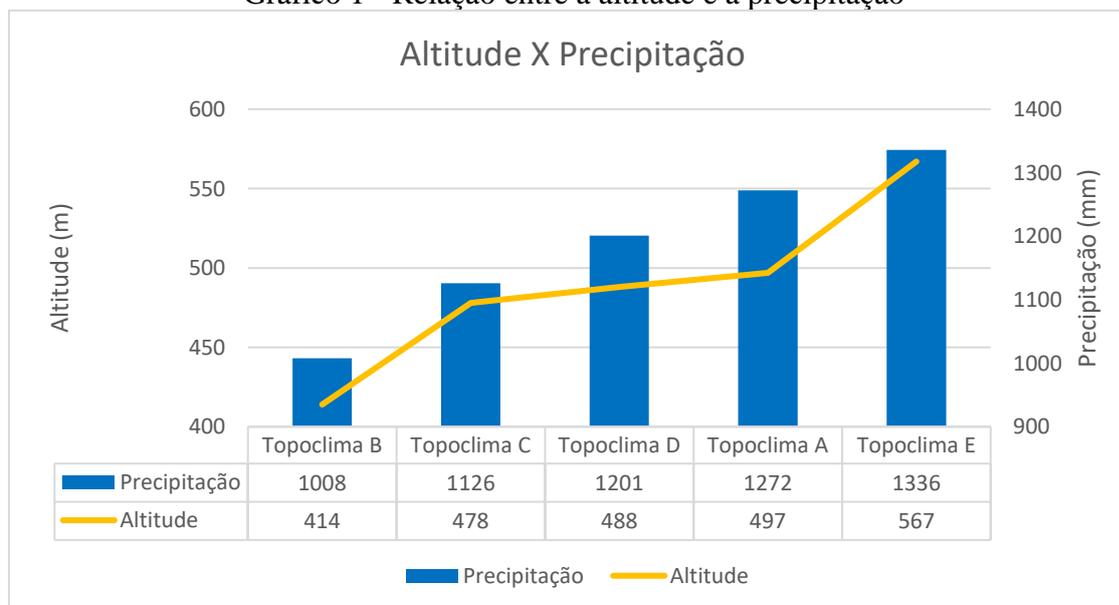
Figura 53 - Extrato do balanço hídrico no Topoclíma E



Fonte: Organizado pelo autor.

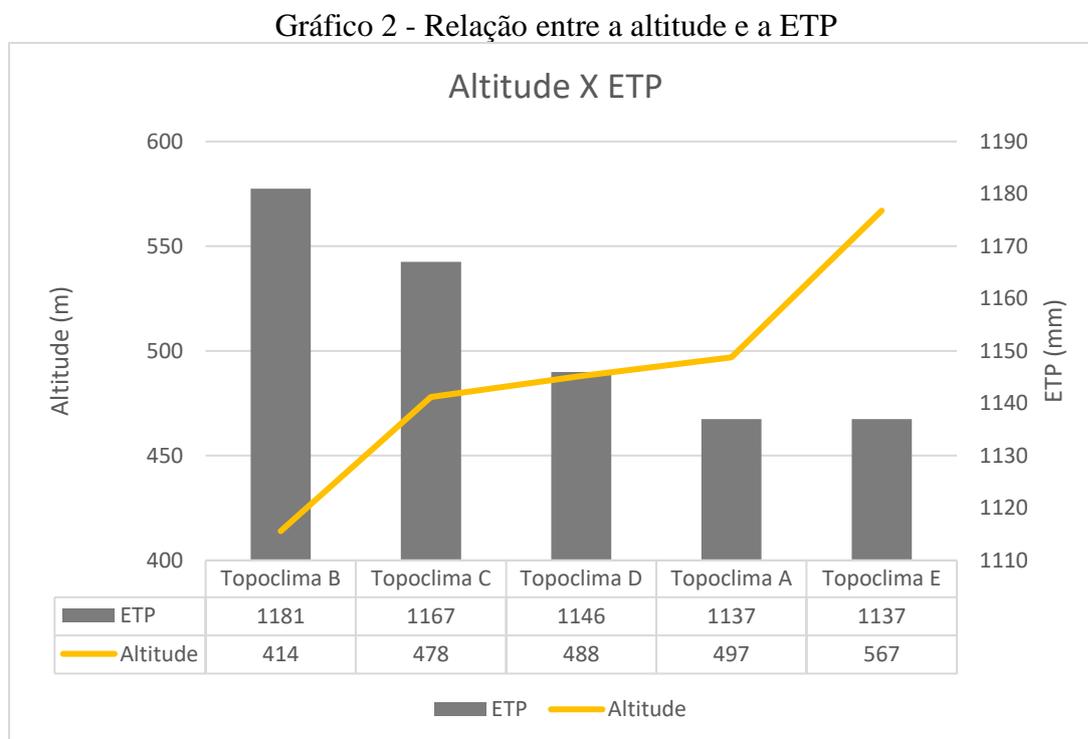
A análise topoclimática permitiu observar algumas relações. A precipitação média anual apresenta uma variação positiva de acordo com a variação de altitude, sendo que nos pontos mais elevados, temos os maiores registros médios dos valores de precipitação, conforme pode ser observado no Gráfico 1. Relação semelhante também foi verificada por Oliveira *et al.* (2018) ao analisar os aspectos topoclimáticos na Serra de Itatiaia.

Gráfico 1 - Relação entre a altitude e a precipitação



Fonte: Organizado pelo autor.

Ao analisarmos a variação da ETP média anual podemos verificar uma relação inversa. Como pode ser observado no Gráfico 2, a Evapotranspiração Potencial diminui à medida que a altimetria aumenta.

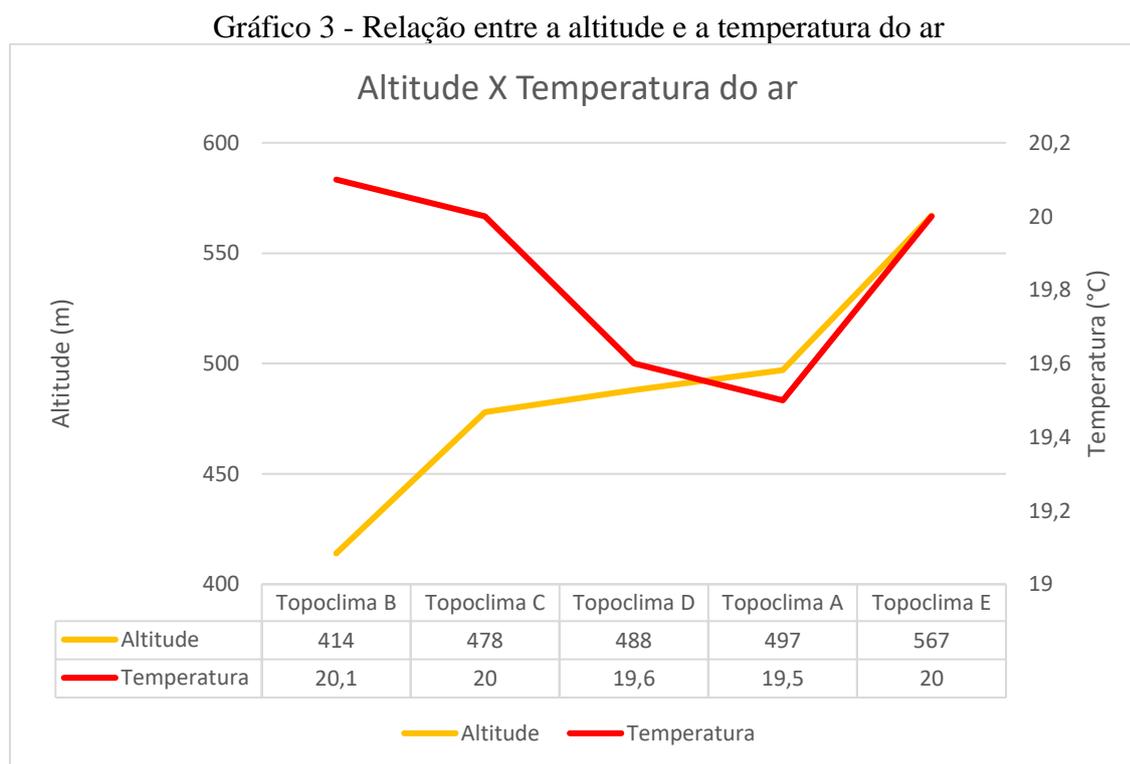


Fonte: Organizado pelo autor.

Ao considerarmos a relação entre a altitude e a TMMMF, podemos observar que, embora seja relativamente pequena a variação altimétrica, os pontos de menor altimetria apresentaram as maiores médias térmicas (Gráfico 3). Contudo, o Topoclima E não seguiu o mesmo padrão relacionado ao comportamento da TMMMF observado nos demais Topoclimas. Possivelmente, fatores locais fizeram com que as médias registradas fossem superiores aos demais Topoclimas mesmo estando em maior altitude.

A morfologia local, devido à existência de diversos morros, gera uma condição de variabilidade no tempo de incidência de radiação solar direta nos diferentes pontos analisados devido ao efeito de sombreamento. Desse modo, a compreensão do comportamento das médias de TMMMF torna-se complexa. Partindo desse pressuposto, se destacarmos os pontos de maior TMMMF e analisarmos as características dos locais de coleta de dados, podemos dizer que no Topoclima B, que apresentou a maior TMMMF, sua localização em uma porção do vale do Piranga com maior abertura, favorece o registro de maiores médias. Já no Topoclima E, por estar em uma posição de topo de morro, na maior cota altimétrica dentre os pontos, o efeito

de sombreamento não é efetivo, possibilitando que esse ponto receba radiação solar direta durante todo fotoperíodo, fator que propicia o registro de médias térmicas elevadas. Por fim, no Topoclima C, por sua posição em área mais elevada em relação ao fundo do vale e também sem encostas que possam obstruir a radiação, a TMMMF registrada foi semelhante aos outros dois Topoclimas que registraram médias mais elevadas, destacando que, nesses casos, o papel da morfologia é mais influente no comportamento dos elementos climáticos, sendo capaz de alterar o padrão esperado se considerarmos o gradiente térmico na atmosfera.



Fonte: Organizado pelo autor.

A identificação e a análise dos Topoclimas, portanto, contribuiu para que fossem identificadas variações no comportamento dos elementos climáticos entre os pontos observados, evidenciando que nas áreas de relevo movimentado, como é o caso do relevo dos mares de morros, onde se encontra o município de Ponte Nova e grande parte da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, faz-se necessário uma abordagem na escala do detalhe. Mesmo não sendo tão discrepantes, as diferenças existem e são influenciadas pela complexa relação entre os elementos climáticos e morfologia do relevo local. Tais diferenças, mesmo que sejam sutis, podem ser entendidas como aspectos relevantes para embasar ações locais de planejamento.

5.4 COMPARAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE COM OUTRAS CLASSIFICAÇÕES EXISTENTES

Nesse tópico serão comparadas a classificação elaborada para a BHRD a partir do método de Novais (2019) com as classificações de Köppen, Nimer e Sthraler. O objetivo é demonstrar as potencialidades do uso do método de classificação em questão e contribuir para as análises climáticas no âmbito bacia.

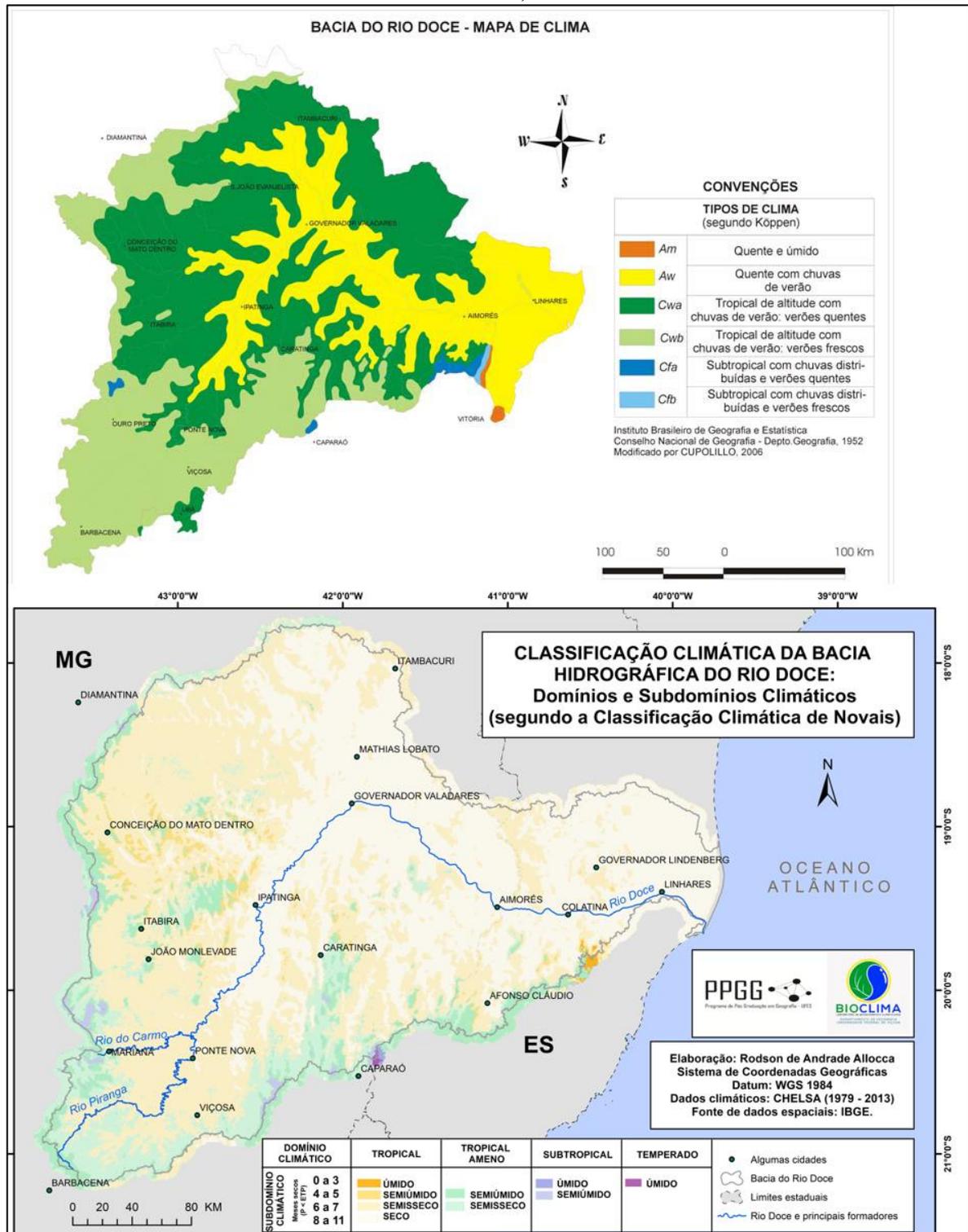
A primeira classificação que será utilizada como parâmetro de comparação com a classificação resultante desse trabalho, é a classificação de Köppen, que pode ser considerada uma das mais aplicadas no mundo todo. Embora a Bacia Hidrográfica do Rio Doce tenha grande importância, não existem muitos trabalhos que se dedicam exclusivamente à sua classificação climática. Contudo, é possível encontrar alguns autores que aplicaram a classificação de Köppen na área da bacia.

Em um dos trabalhos sobre a temática, Cupolillo (2008) apresenta, com base em Strauch (1955), a espacialização da classificação de Köppen na área da BHRD. O autor demonstra a ocorrência de seis tipos de clima na área de estudos: Am (quente e úmido), Aw (quente com chuvas de verão), Cwa (Tropical de altitude com chuvas de verão; verões quentes), Cwb (Tropical de altitude com chuvas de verão; verões frescos), Cfa (Subtropical com chuvas distribuídas e verões quentes) e Cfb (Subtropical com chuvas distribuídas e verões frescos).

Na classificação de Köppen, por seu método, não há um detalhamento da quantidade de meses secos, sendo considerado o comportamento das chuvas nas diferentes estações do ano. Na classificação da bacia, em que são estabelecidas as hierarquias dos Domínios e Subdomínios Climáticos, elaborada com base em Novais (2019), por sua vez, a quantidade de meses de meses secos é apresentada, possibilitando uma espacialização com um maior detalhamento das informações climáticas. A partir da classificação dos Subdomínios Climáticos, pode ser observado o estabelecimento de nove unidades climáticas, superando em número e em precisão de limites na espacialização das informações quando comparada à classificação de Köppen, conforme pode ser verificado na Figura 52.

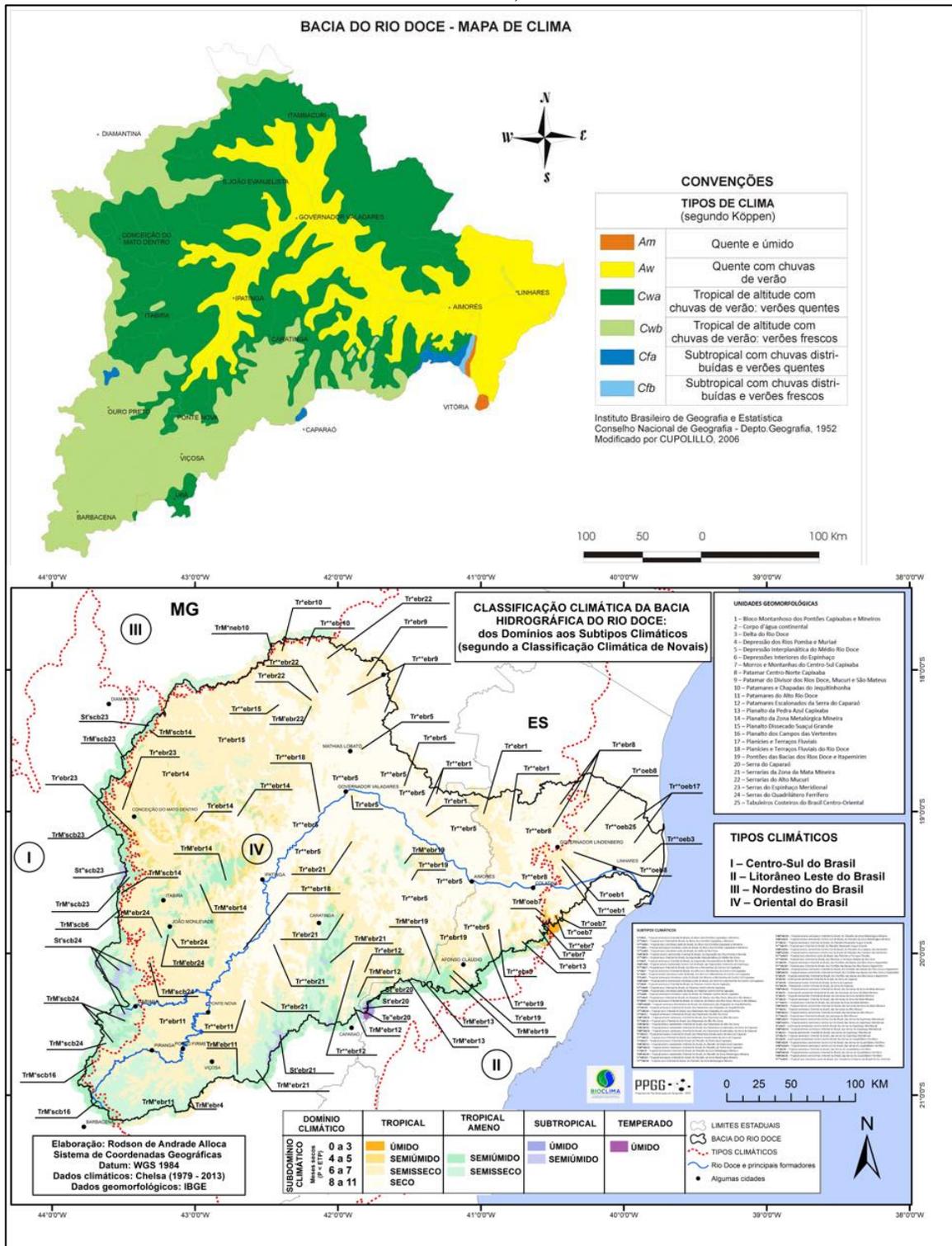
Se avançarmos na comparação e tomarmos como referência os Subtipos Climáticos estabelecidos para a BHRD a partir do método de Novais (2019), as diferenças em termos de disponibilidade de informações ficam ainda mais evidenciadas, pois foram definidos 76 Subtipos Climáticos, representando um número ainda maior de unidades climáticas, conforme pode ser verificado na Figura 53.

Figura 54 – Comparação entre a classificação de Köppen e o mapa de Classificação Climática da BHRD (dos Domínios aos Subdomínios Climáticos segundo a Classificação Climática de Novais)



Fonte: Organizado pelo autor.

Figura 55 - Comparação entre a classificação de Köppen e o mapa de Classificação Climática da BHRD (dos Domínios aos Subtipos Climáticos segundo a Classificação Climática de Novais)



Fonte: Organizado pelo autor.

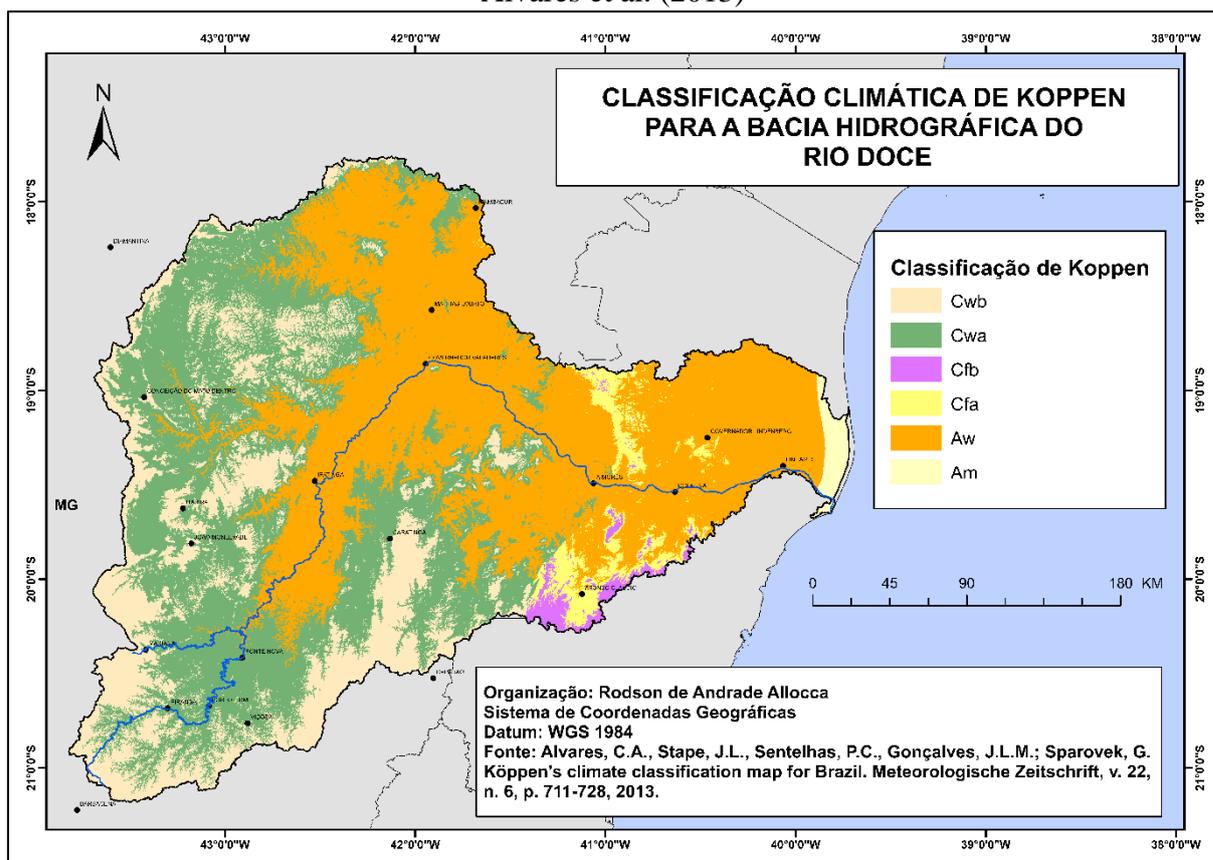
Ainda considerando como referência a classificação de Köppen, foi elaborada por Alvares et al. (2013) uma atualização dessa classificação para o Brasil. Segundo os autores o

modelo de construção do mapa é fechado e completo, sendo impossível encontrar um local com mais de um tipo de clima. Pode-se dizer que o mapeamento gerado apresenta uma alta resolução espacial (1 ha), garantindo grande riqueza de informações com base no método utilizado.

Como já informado anteriormente, a maioria das classificações que utilizam o método de Köppen não foram aplicadas especificamente para a área da BHRD, tratam-se de recortes das aplicações para o Brasil e, em alguns casos, recortes da aplicação para o mundo. Essa condição gera dificuldades para uma leitura das informações de forma detalhada em áreas menores em razão de sua escala.

Para fins de comparação, através do *software* ArcMap 10.5, a área da bacia foi recortada do mapeamento climático do Brasil, segundo a classificação de Köppen, produzido por Alvares et al. (2013). Esse recorte pode ser observado na Figura 54.

Figura 56 – Recorte da Classificação Climática de Köppen para a BHRD com base em Alvares et al. (2013)

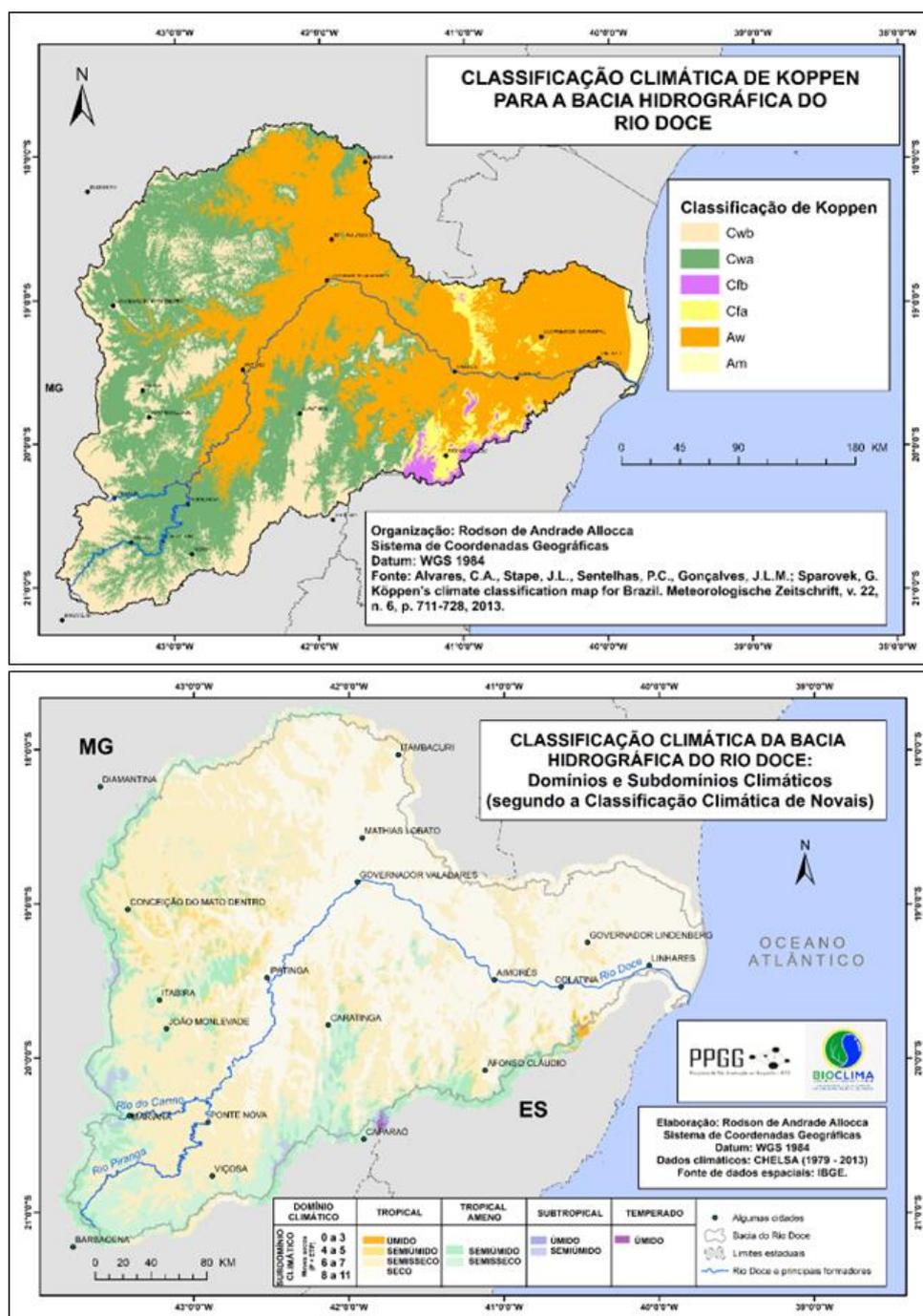


Fonte: Alvares et al. (2013). Modificado pelo autor.

Não há diferenças na quantidade de tipos climáticos mapeados por Cupolillo (2008) e Alvares *et al.* (2013), contudo existem diferenças na espacialização das informações, considerando que o mapa mais atual é também mais preciso.

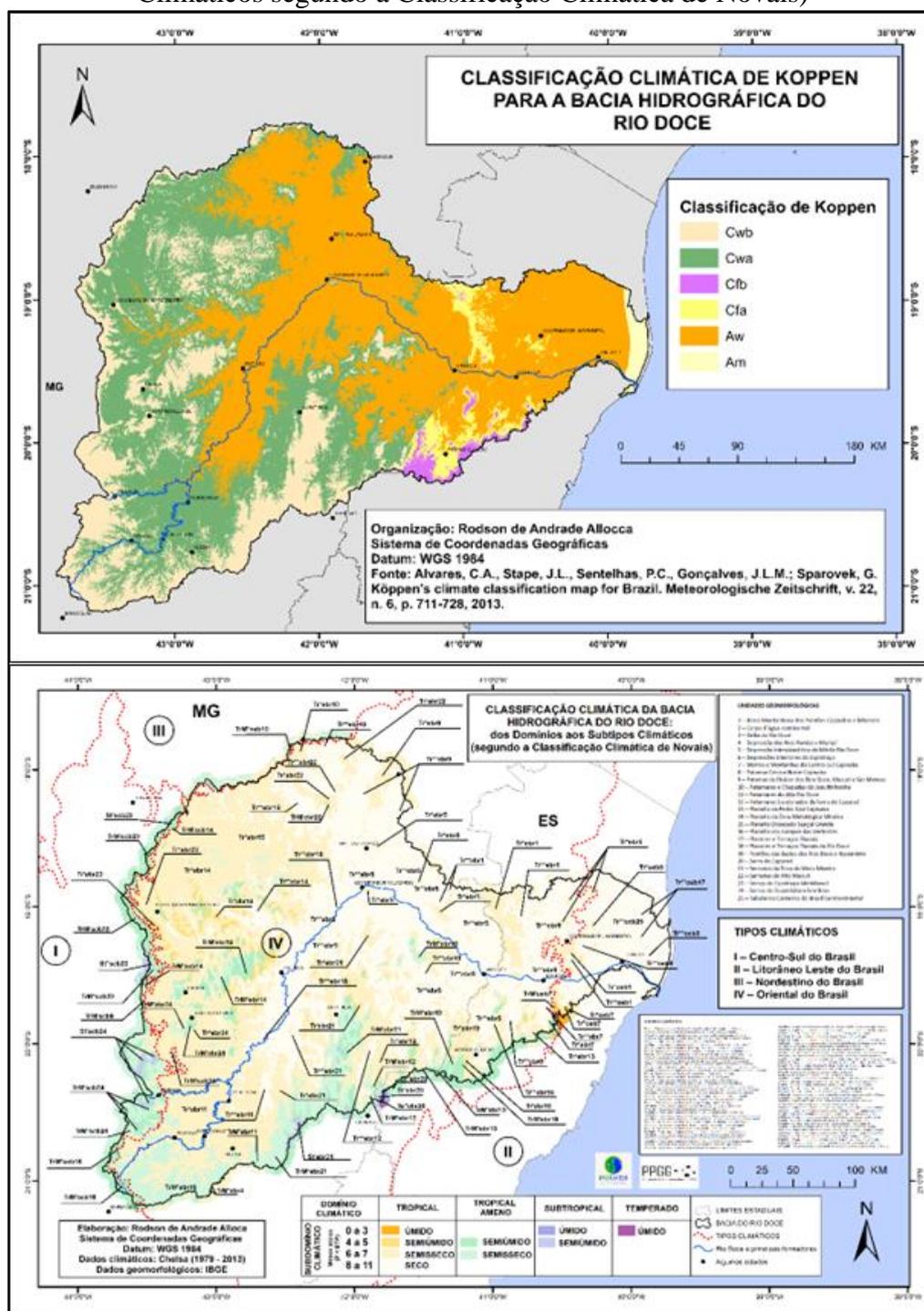
Ao compararmos o mapa gerado a partir de Alvares *et al.* (2013) e os mapeamentos gerados nesse trabalho, conforme pode ser observado nas Figuras 55 e 56 pode-se perceber que aqueles elaborados com base no método de Novais (2019), por razões de método, conseguem oferecer mais informações aos leitores.

Figura 57 - Comparação entre o recorte da classificação para BHRD com base em Alvares *et al.* (2013) e o mapa de Classificação Climática da BHRD (dos Domínios aos Subdomínios Climáticos segundo a Classificação Climática de Novais)



Fonte: Organizado pelo autor.

Figura 58 - Comparação entre o recorte da classificação para BHRD com base em Alvares *et al.* (2013) e o mapa de Classificação Climática da BHRD (dos Domínios aos Subtipos Climáticos segundo a Classificação Climática de Novais)

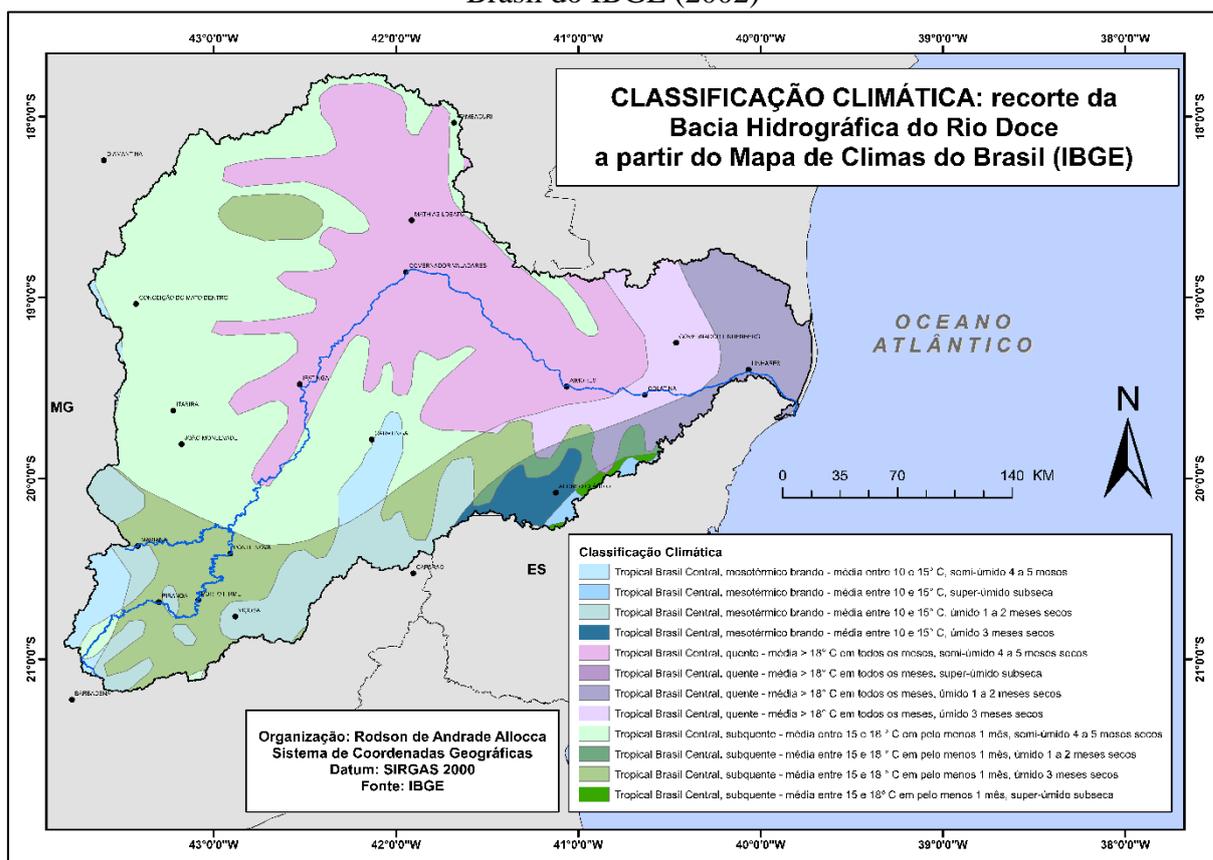


Fonte: Organizado pelo autor.

Outra classificação muito utilizada na caracterização climática do território nacional, o mapa de Climas do Brasil publicado pelo IBGE em 2002, foi elaborada com base no método de classificação climática proposto por Nimer. Para podermos comparar os produtos desse

trabalho com a classificação do IBGE foi necessário aplicar o mesmo processamento de recorte utilizado na comparação com o mapa elaborado por Alvares *et al.* (2013). A partir do arquivo *shapefile* do mapa de Climas do Brasil, disponível para *download* no site do IBGE, foi recortada nossa área de interesse, gerando a classificação da BHRD (Figura 57).

Figura 59 – Recorte da Classificação Climática da BHRD com base no mapa de Climas do Brasil do IBGE (2002)



Fonte: IBGE (2002). Modificado pelo autor.

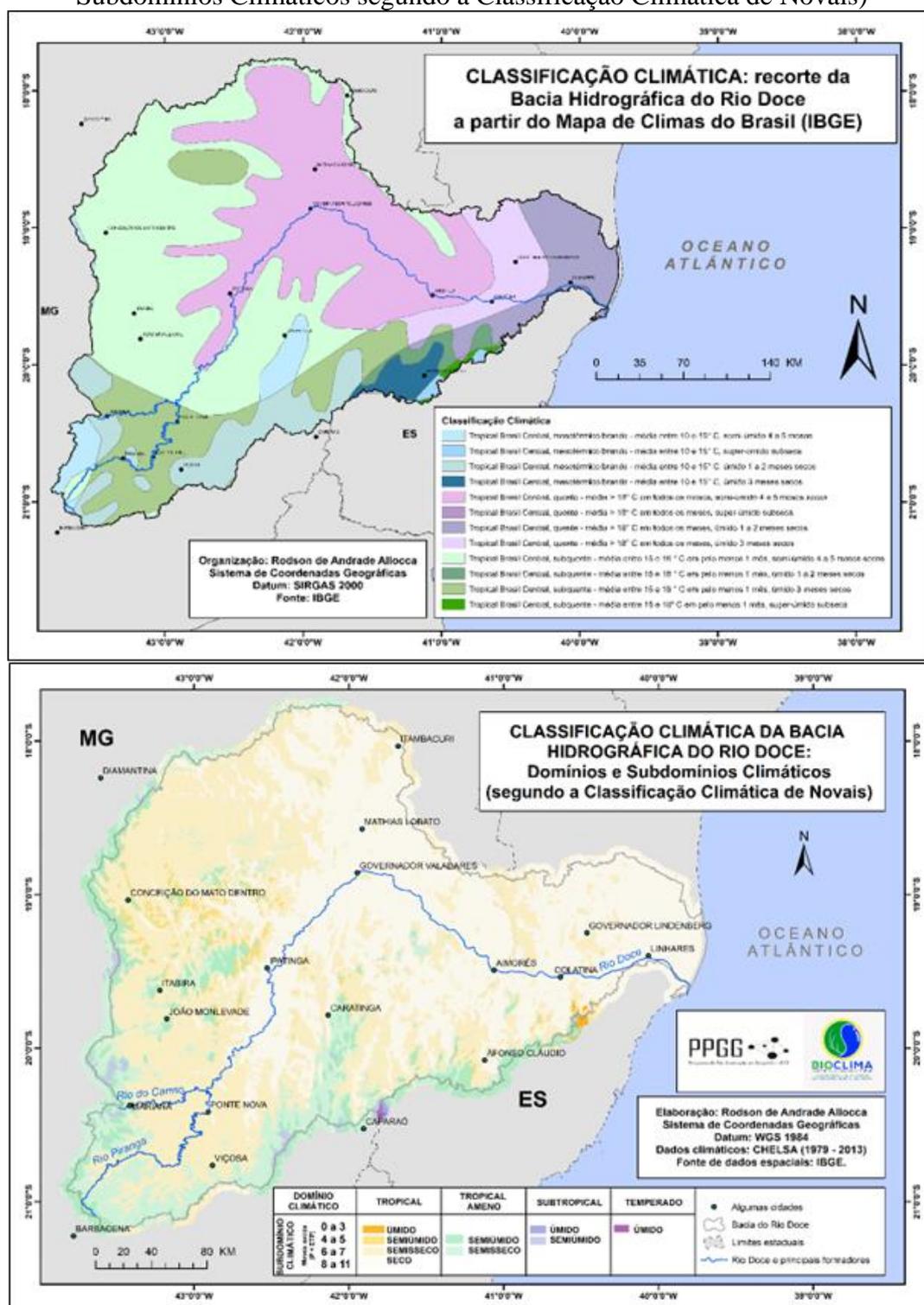
Nesse mapeamento, foram indicadas 12 unidades climáticas, estabelecidas tendo como referências principais as informações dos padrões de circulação atmosférica, da TMMMF e dos valores de umidade. O método de Novais também estrutura-se nas informações analisadas no método de Nimer, contudo, há uma diferença importante na consideração das condições de umidade. Nimer baseou-se na definição de meses secos proposta por Gausson e Bagnouls, na qual era considerado seco o mês em que os totais mensais de precipitação fossem iguais ou menores do que o dobro da média de temperatura em graus celsius ($P \leq 2T$). Na classificação de Novais (2019) é considerado mês seco aquele em que a precipitação for menor que a evapotranspiração potencial.

Na Figura 58 temos a comparação entre a classificação do IBGE e a classificação elaborada nesse trabalho ao nível de Domínios e Subdomínios Climáticos. Como pode ser verificado, o mapa do IBGE, embora apresente um maior número de unidades climáticas, não consegue nessa escala apresentar grande definição dos limites das áreas representadas. Ao contrário, pela classificação elaborada com base em Novais (2019), podemos perceber com mais clareza a disposição e os limites das unidades. Assim como nas outras comparações já apresentadas, como a classificação de Köppen, quando avançamos para o nível dos Subtipos Climáticos o número de unidades da classificação com base em Novais (2019) é muito superior, bem como o detalhamento das informações.

O método de Novais (2019) baseia-se em dados de reanálise do CHELSA, cuja representatividade já foi validada, garantindo uma espacialização com maior acurácia das informações sobre o comportamento dos elementos climáticos, pois os pixels tem resolução de 1 km². Na classificação do IBGE os dados foram obtidos em estações climatológicas presentes no território brasileiro e, devido à capacidade de cobertura de monitoramento da rede nacional, houve a necessidade de que esses dados fossem interpolados para abranger a totalidade do Brasil, condição que pode sub ou superestimar o valor dos dados.

Não se trata de uma crítica ao método, mas sim de uma constatação de que com a evolução das técnicas e tecnologias é possível gerar informações com mais qualidade e precisão.

Figura 60 – Comparação entre o recorte da classificação climática da BHRD do Mapa de Climas do Brasil e o mapa de Classificação Climática da BHRD (dos Domínios aos Subdomínios Climáticos segundo a Classificação Climática de Novais)



Fonte: Organizado pelo autor.

Encerrando as comparações no escopo desse trabalho, vamos comparar a classificação climática da BHRD com base em Novais (2019) e a classificação climática de Strahler (1969) aplicada ao território brasileiro. Diferentemente do que foi apresentado nas comparações anteriores, utilizaremos uma imagem que traz a classificação para todo o território brasileiro na qual foi feito um retângulo para destacar a área aproximada da bacia. O procedimento adotado não compromete a possibilidade de comparação e, como pode ser verificado na Figura 59, na classificação de Strahler temos a ocorrência de apenas dois climas: o Litorâneo úmido exposto às massas tropicais marítimas e o Tropical alternadamente úmido e seco.

Figura 61 - Classificação de Strahler para o Brasil, com destaque para a área aproximada da BHRD

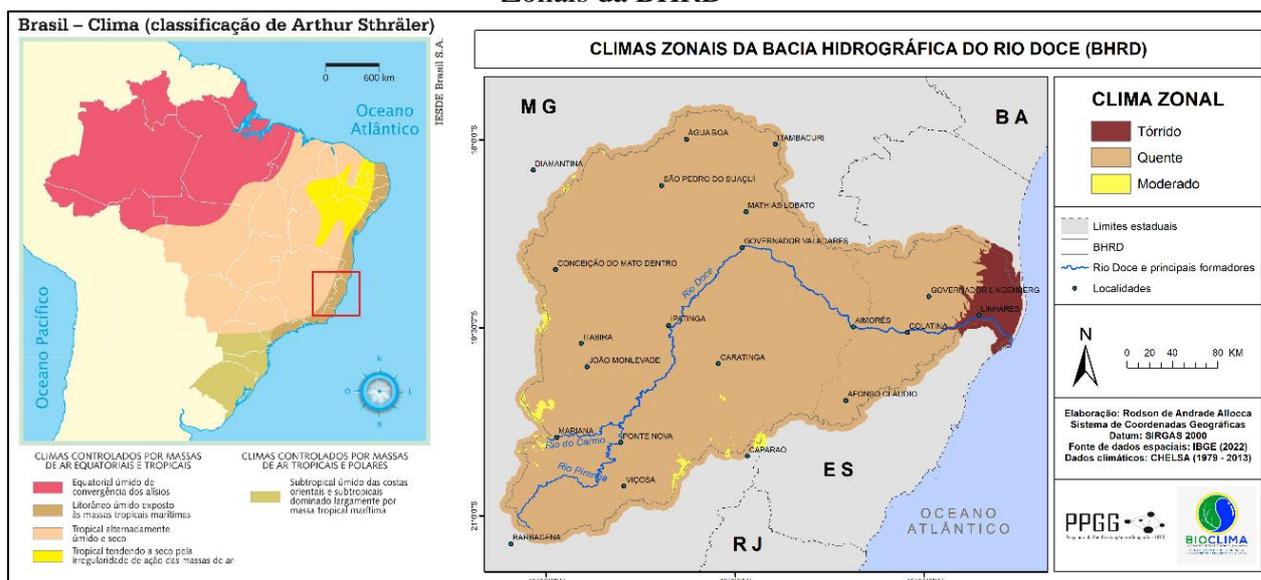


Fonte: geografalando.blogspot.com/2013/05/clima-classificacao-climatica-brasileira.html.
Acesso:16/07/2023. Modificado pelo autor.

Considerando as diferenças de escala, vamos utilizar para as comparações os níveis hierárquicos de Climas Zonais e Domínios Climáticos (Figura 5.4.10) da proposta de Novais (2019), representando, respectivamente, a 2ª e a 3ª hierarquia da classificação. Contudo, cabe ressaltar que já foram estabelecidos por Novais e Machado (2023) a classificação do território brasileiro até a 5ª hierarquia (Tipos Climáticos).

Comparando os climas da classificação de Strahler com os Climas Zonais da BHRD (Figura 60) já é possível verificar um maior detalhamento do mapeamento elaborado com base no método de Novais (2019), pois podem ser verificadas a ocorrência de três Climas Zonais: Tórrido, Quente e Moderado.

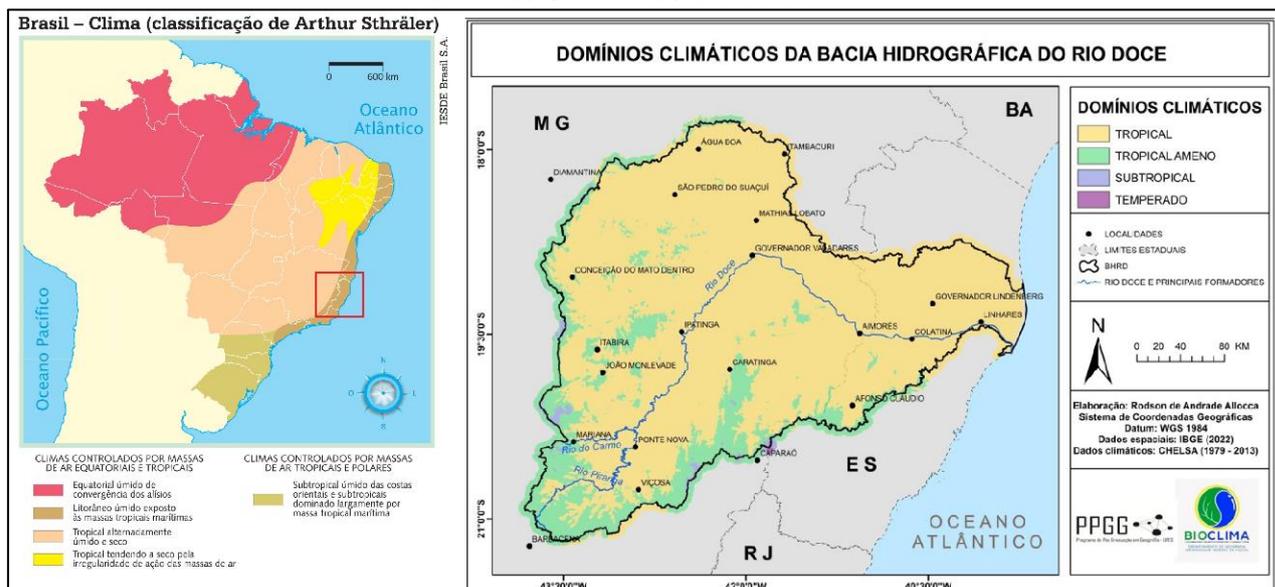
Figura 62 – Comparação da classificação de Strahler para o Brasil e o mapa dos Climas Zonais da BHRD



Fonte: Organizado pelo autor.

Ao compararmos a classificação de Strahler com o mapa de Domínios Climáticos da BHRD, podemos perceber que a partir do método utilizado nesse trabalho, foram estabelecidas quatro unidades climáticas distintas: Domínio Tropical, Domínios Tropical Ameno, Domínios Subtropical e Domínio Temperado (Figura 61).

Figura 63 – Comparação entre a classificação de Strahler para o Brasil e o mapa dos Domínios Climáticos da BHRD



Fonte: Organizado pelo autor.

A partir das comparações, podemos dizer que aplicação do método de classificação climática elaborado por Novais (2019), por sua proposta hierárquica, permite que através de um ajuste em termos escalares seja alcançado um grande detalhamento nas informações. Nesse sentido, a classificação climática da Bacia Hidrográfica do Rio Doce proposta por esse trabalho representa uma importante contribuição para os estudos do clima da área analisada.

5.5 APONTAMENTOS SOBRE O USO DA CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO

Esse tópico, embora não busque um aprofundamento da temática do planejamento, o que de alguma forma representaria uma fuga da temática principal da pesquisa, traz uma breve discussão e alguns apontamentos sobre a utilização da classificação climática e sua relevância para a proposição de ações adequadas ao manejo dos recursos, sobretudo os hídricos, no âmbito da bacia.

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce representa uma das regiões hidrográficas mais significativas do Brasil, exercendo um papel crucial para o desenvolvimento das atividades econômicas e o abastecimento da população em suas áreas de influência. Compreender a relevância desse recurso hídrico é fundamental para o planejamento sustentável e a preservação ambiental da região.

A agricultura, por exemplo, é uma atividade econômica de destaque em diferentes áreas da bacia, sendo o recurso hídrico fundamental para a irrigação de lavouras e o desenvolvimento

de culturas variadas. Além disso, indústrias de diversos setores, como siderurgia, papel e celulose e mineração, encontram nas águas do Rio Doce uma fonte essencial para suas operações. A disponibilidade de água nessa bacia contribui para o crescimento econômico regional e a geração de empregos, tornando-se um pilar estratégico para o desenvolvimento de múltiplos setores.

Outro aspecto fundamental da Bacia Hidrográfica do Rio Doce é sua importância para o abastecimento da população local. Inúmeras cidades e comunidades ribeirinhas dependem dessas águas para o consumo humano e serviços públicos. A água do rio é captada para abastecer sistemas de tratamento, fornecendo água potável para milhões de pessoas. Em algumas localidades as águas do Rio Doce também são utilizadas para usos recreativos e turísticos, gerando receitas e empregos na área do turismo.

Em 2015, uma tragédia ambiental ocorreu na BHRD quando na localidade de Bento Rodrigues, município de Mariana (MG), houve o rompimento de uma barragem de rejeitos de mineração, liberando uma grande quantidade de lama tóxica na região. O desastre causou uma grave contaminação da água ao longo do rio Doce, afetando diretamente a disponibilidade de água para as comunidades locais.

Os danos econômicos, sociais, culturais e ambientais causados pelo rompimento da barragem ainda persistem em toda bacia. Ainda há insegurança quanto à potabilidade da água captada no Rio Doce para o abastecimento urbano. Ainda há populações indígenas sem condições de voltar a sobreviver e se sustentar do rio. Ainda há pescadores desempregados. Ainda há agricultores que perderam solos produtivos e água de qualidade para sua irrigação. Ainda há cidades praianas que não recuperaram a totalidade de seu turismo. (CUNHA, 2020, p. 46).

Houve disputas e tensões entre diferentes usuários de água, como agricultores, indústrias, comunidades ribeirinhas e fornecedores de água potável, devido à escassez e à contaminação da água. Por exemplo, agricultores que dependiam da água para irrigação tiveram suas lavouras comprometidas, enquanto a indústria de mineração enfrentou restrições e pressões para minimizar os impactos ambientais. Considerando todo esse cenário, há a necessidade de um manejo adequado dos recursos hídricos no âmbito da bacia.

Muitas vezes, as ações de planejamento que regem o manejo dos recursos são baseadas em informações generalizadas sobre as áreas de interesse, em especial quando se trata de grandes áreas, como é o caso da bacia do Rio Doce. Há, nesse sentido, uma incompatibilidade escalar entre o planejamento e o que se espera alcançar a partir dele. Cabe sempre ao corpo técnico estar atento ao levantamento de informações adequadas nos estudos da área para a qual se quer propor o plano de ações. Tomando como referência a abrangência da bacia do Rio Doce,

podemos dizer que uma caracterização climática superficial ou em escala regional, pode generalizar demais aspectos locais que carecem ou careceriam de maior atenção, podendo comprometer a eficiência das ações propostas e desenvolvidas.

A partir dos estudos realizados nesse trabalho, sobretudo nas escalas geográficas menores que conseguem disponibilizar dados detalhados, podemos dizer que a classificação climática é uma importante fonte de informações para o desenvolvimento de ações de planejamento ambiental e dos recursos hídricos da bacia. Com base nas características climáticas é possível a implementação de medidas de conservação, como o uso sustentável da água, o controle de desperdício e a promoção de práticas de agricultura e irrigação mais eficientes, de forma ajustada as necessidades particulares de cada localidade. A utilização da classificação, pode também auxiliar no planejamento de infraestruturas de captação e armazenamento de água, como barragens e sistemas de retenção, levando em consideração os padrões climáticos e as demandas hídricas locais.

A aplicação do método de Novais (2019) possibilitou a elaboração da Classificação Climática da Bacia do Rio Doce com grande grau de detalhamento, fazendo com que ela se configure como um relevante subsídio para compreender o comportamento dos elementos climáticos e fornecer informações sobre a disponibilidade hídrica, devendo ser utilizada no manejo ambiental dos recursos e, dessa forma, auxiliar na mitigação da escassez hídrica e na promoção do uso sustentável da água, aspectos fundamentais, principalmente quando nos referenciamos nas possíveis demandas surgidas após a ocorrência do desastre em 2015.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento das condições ambientais é fundamental para a organização das atividades humanas. Nesse sentido, as classificações climáticas podem ser compreendidas como importantes fontes de informações para o planejamento dessas diversas ações. A pesquisa desenvolvida no âmbito desse trabalho é uma contribuição aos estudos do clima e teve como área de abordagem a Bacia Hidrográfica do Rio Doce, uma das mais importantes da Região Sudeste do Brasil.

O objetivo geral da pesquisa visava proporcionar uma classificação climática da bacia com maior riqueza de detalhes, para que as informações sobre as diferentes unidades climáticas pudessem ser compreendidas com maior clareza. Para tanto, foi escolhido o método de classificação elaborado por Novais (2019).

Através da classificação climática da Bacia Hidrográfica do Rio Doce resultante desse trabalho, ficou demonstrada a grande capacidade do método utilizado em detalhar o clima das áreas onde é aplicado. Esse resultado, confirmou a hipótese da pesquisa que tinha como perspectiva gerar um refinamento da classificação climática na área da bacia.

A classificação, por sua proposta hierarquizada, que variou das Zonas Climáticas até os Topoclimas, permitiu a verificação do comportamento dos elementos climáticos em diferentes níveis escalares, característica que possibilita que sua utilização atenda a diferentes finalidades, que vão desde subsidiar um planejamento para toda a área da bacia, como para embasar o planejamento em locais específicos. Desse modo, entende-se que o objetivo geral da pesquisa foi alcançado.

O comportamento do regime de precipitação média e dos valores médios de temperatura foram analisados e pôde ser percebida sua intrínseca relação com a topografia da bacia. As áreas elevadas apresentaram, de maneira geral, as maiores médias de precipitação e as menores médias térmicas. Ao considerarmos a área, podemos dizer que o regime de chuvas tende a diminuir de oeste para leste, do interior para o litoral. Já, ao consideramos as médias térmicas, temos uma inversão, pois as temperaturas diminuem de leste para oeste da bacia, ou seja, do litoral para o interior. O padrão percebido pelas análises apresenta forte aderência à variação do relevo, cuja altitude e a rugosidade das formas aumenta do litoral para o interior da bacia influenciando nos resultados e na espacialização dos dados analisados.

Do ponto de vista metodológico, destacam-se dois elementos. O primeiro, é a possibilidade do uso do algoritmo CHELSA como fonte de dados. Considerando a escassez da cobertura das estações meteorológicas oficiais no território brasileiro, o CHELSA representou

uma excelente e confiável alternativa para obtenção de dados climáticos, reforçando o que foi demonstrado por Novais (2019). O segundo, é a utilização do *software* de modelagem ambiental DINAMICA EGO como ferramenta intermediária no processamento das informações utilizadas na classificação climática. Através de modelagem, foi possível gerar uma espacialização pixel a pixel dos dados climáticos, garantindo maior precisão no estabelecimento das unidades climáticas.

O presente trabalho conseguiu avançar nas hierarquias da classificação de Novais que já haviam sido aplicadas, chegando até o nível de maior detalhamento em áreas menores, o Topoclima. Para tanto, foram escolhidos cinco pontos na área urbana de Ponte Nova, município localizado na bacia do Rio Doce, para que fosse elaborada uma caracterização em nível topoclimático do comportamento dos elementos do clima.

A partir da análise topoclimática, foi possível identificar diferenças entre os pontos em relação ao comportamento da temperatura, da precipitação, da ETP e das condições de déficit ou excedente hídrico, apurado com base na aplicação do balanço hídrico climatológico. Esse tipo de análise e abordagem é de suma importância, pois traz como possibilidade a geração de dados que podem subsidiar ações de planejamento pontuais para áreas urbanas, produzindo informações que não ficam evidentes em abordagens em outras escalas geográficas. Cabe lembrar que as classificações climáticas podem e devem subsidiar as tomadas de decisão em momentos de planejamento ambiental.

A análise topoclimática, de acordo com a classificação de Novais (2019), não apresenta um método estruturado, portanto, esse trabalho pode ser considerado uma contribuição ao pioneirismo e a sistematização desse tipo de análise, principalmente se considerarmos sua aplicação em áreas urbanas.

A classificação climática da bacia foi comparada a outras classificações já existentes e, com base na comparação, fica evidenciada a capacidade de detalhamento que a proposta estrutura por Novais (2019) apresenta. Desse modo, pode-se dizer que a classificação resultante desse trabalho é uma contribuição ímpar na caracterização do clima da área estudada, fornecendo informações em diferentes níveis escalares e com elevado grau de detalhamento, superando algumas das classificações mais utilizadas para análises climáticas na bacia. Essa constatação não visa depreciar as classificações já existentes, mas representa uma nova possibilidade de gerar informações com qualidade e precisão com base na evolução das técnicas e tecnologias, contribuindo para novos estudos regionais em climatologia.

Os resultados da pesquisa contribuem ainda para o propósito da aplicação da Classificação Climática de Novais (2019) para todo o território brasileiro, ampliando a divulgação e as possibilidades de utilização do método.

Espera-se que a partir dos resultados obtidos por essa pesquisa novos estudos possam ser desenvolvidos, motivando pesquisadores em suas análises não somente na área da bacia, mas em outras porções do território nacional e do mundo. Existe um amplo caminho a ser percorrido, sobretudo na classificação climática na escala do detalhe, nos níveis Mesoclimáticos e Topoclimáticos. A aplicação do método de classificação nesses níveis, no escopo desse trabalho, é apenas o início de uma tentativa para a consolidação de um caminho mais assertivo nesse tipo de abordagem que ainda é desenvolvida de forma tímida na climatologia.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A.N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editora, 2003.

ABREU, M. L. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) a Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Geonomos**, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p. 17 – 22, dez. 1998b.

ALLOCCA, R.A. **Análise do campo térmico na área urbana de Ponte Nova-MG**. 2018. 177f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo. Disponível em: <https://geografia.ufes.br/pt-br/pos-graduacao/PPGG/detalhes-da-tese?id=12778>

ALLOCCA, R.A.; FIALHO, E.S. O campo térmico no perímetro urbano de Ponte Nova – MG (Zona da Mata Mineira), em situações sazonais de verão e inverno, no ano de 2017. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 24, July 2019. ISSN 2237-8642. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/60753/38885>>. Acesso em: 14 June 2021. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v24i0.60753>

ALLOCCA, R. A.; OLIVEIRA, W. D.; FIALHO, E. S. Delimitação de domínios e subdomínios climáticos para o município de Ponte Nova, Minas Gerais. in: SIMPÓSIO BRASILEIRO DECLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 14, João Pessoa, Anais, Paraíba, UFPB, p. 1512-1525. 2021.

ALLOCCA, R. A.; MOREIRA, J. S.; J.; SILVA, M. A. S.; MARINHO, M, R.; SILVA, W. M. Proposta de delimitação de unidades climáticas para a região da Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista de Ciências Humanas**, Viçosa-MG, v. 21, n. 1. 25p. 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/RCH/article/view/12014/6708>. Acesso em: 25 out. 2022.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDRADE, J., BASCH, G. Clima e estado do tempo. Factores e elementos do clima. Classificação do clima. In: **Hidrologia Agrícola**. ICAAM- ECT Universidade de Évora, 2012.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332p. 4ª Ed.

BARRY G.B. & CHORLEY, R.J. (2003). **Atmosphere, Weather and Climate**, 8th edition, Routledge, ISBN 0-415-27170-3(hbk), London and New York.

BASTOS, C. C.; FERREIRA, N. J. Análise Climatológica da Alta Subtropical do Atlântico Sul. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 11., 2000. Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: SBMET, 2000. P. 612-619.

BECK C.; GRIESER J.; KOTTEK, M.; RUBEL F.; RUDOLF, B. Characterizing global climate change by means of Köppen climate classification. **Klimastatusbericht**, 2005, p. 139-149.

BERNARDES, L. M. C. Clima do Brasil. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, vol. 9, n. 103, p. 727-739, 1951.

BERTRAND, G. (Org.); PASSOS, M. M. (Org.). **Uma geografia transversal – e de travessias (O meio ambiente através dos territórios e temporalidades)**. 1ª ed. Maringá: Editora Massoni, 2007. V. 500. 332 p.

BINDA, A. L.; MENDES, J.; KOICHEMBOERGER, M. Topoclimas urbanos em Chapecó/SC: as interações entre a urbanização e o sítio urbano. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 34, n. 1, p.154-171, 2016. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/27078/pdf>. Acesso em jun.2023

BORSATO, V. da A.; MASSOQUIM, N. G. **O delineamento das massas de ar no Brasil**. 1º ed. Curitiba: EDITORA CRV, 2020, 194 p.

BURGOS J. J.; VIDAL A. L. The Climates of the Argentine Republic According to the New Thornthwaite Classification, **Annals of the Association of American Geographers**, (1951) 41:3, 237-263, DOI: 10.1080/00045605109352055

CAILLEUX, A.; TRICART, J. Le problème de la classification des faits géomorphologiques. **Annales de Géographie**. n. 3490, LXV, année, p. 162-185, 1956.

CASTRO, I. E. de. O problema da escala. IN: CASTRO, I. E. de; GOMES, P. C. da C.; CORRÊA, R. L. (Orgs). **Geografia: conceitos e temas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. *Bragantia*: Campinas, 59(2), 125-137, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052000000200002>

CARVALO, C. D. de. **Météorologie du Brésil**. Londres: John Bale e Sons, 1917.

CAVALCANTI, I. F. A. *et al.* (Orgs.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

COELHO, A. L. N. Compartimentação geomorfológica da bacia do rio Doce: uma atualização. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2006, Goiânia/GO. **Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia**. Goiânia/GO, Universidade Federal de Goiás, 2006.

COELHO, A. L. N. Bacia hidrográfica do Rio Doce (MG/ES): uma análise socioambiental integrada. **Geografares**, [S. l.], n. 7, 2009. DOI: 10.7147/GEO7.156. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/geografares/article/view/156>. Acesso em: 27 dez. 2021.

CONTI, J. B. Geografia e Paisagem. **Ciência e Natura**, [S. l.], v. 36, n. 3, p. 239–245, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/13218>. Acesso em: 3 jan. 2022.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce e dos Planos de Ações de Recursos Hídricos para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce**. Contrato nº 043/2008 – IGAM. v. 1. Relatório Final. Junho de 2010.

CUPOLILLO, F. **Diagnóstico Hidroclimatológico da Bacia do Rio Doce**. 2008. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

DALY, C.; GIBSON, W. P.; TAYLOR, G. H.; JOHNSON, G. L.; PASTERIS, P. A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate. **Climate Research**, v. 22, n. 2, p. 99–113, 2002.

DEGOLA, T. S. D. **Impactos e Variabilidade do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul sobre o Brasil no clima presente e em cenários futuros**. 2013. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2013.

FIALHO, E. S.; SANCHES, F. O.; ALVES, R. S. PAULO, M. L. S.; OLIVEIRA, W. D.; FERNANDES, L.A.; PRADO, L. B. Proximidades e contendas: Uma análise das diferenças entre parâmetros climáticos ao longo do Transect Ponte Nova-Ubá, na Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados-MS, Volume Especial: Dossiê Climatologia de Minas Gerais, p. 357-368, 2018. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14076>. Acesso: 18 abr.2023.

FIALHO, E. S. Topoclimatologia: Estudo de caso do transect Ponte Nova-Ubá, na Zona da Mata Mineira. Humboldt - **Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**, Rio de Janeiro-RJ, v. 1, n. 2, 2021b, 34p. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/humboldt/article/view/57374/36819>. Acesso em: 3 set. 2022

FIALHO, E. S.; FERREIRA, C. C. M.; SILVA, C. A.; NOVAIS, G. T. Classificações climáticas: perspectivas e possibilidades. **Climas do Brasil : classificação climática e aplicações** / organização Giuliano Tostes Novais. -- 1. ed. -- Porto Alegre, RS : Totalbooks, 2023.

FITZ, P.R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLOHN H. (1957) Zur Frage der Einteilung der Klimazonen, **Erdkunde**, 11, 161-175.

GALVÃO, M. V. Regiões bioclimáticas do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro. v.29. n.1. 1967.

GOMES, W. P. **Características da temperatura na zona costeira: análise do clima urbano em Ubatuba-SP**. (Dissertação de Mestrado), p. 209. Programa de PósGraduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologiada, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” - FCT/UNESP - campus de Presidente Prudente, Presidente Prudente, 2017.

GUIMARÃES, F. S. de M. Clima do Brasil. Boletim Geográfico, Rio de Janeiro, v. 3, n. 27, p. 417-433, 1945.

HORA, A. M.; DIAS, C. A.; GUEDES, G. R.; COSTA, A. S. V.; JÚNIOR, M. J. F. Da exploração econômica da bacia hidrográfica do Rio Doce ao atual processo de degradação de seus recursos naturais. In: Guedes, G. R; Ojima, R. (Orgs.). **Território Mobilidade Populacional e Ambiente**. Governador Valadares: Ed. Univale, 2012. p. 201-234.

HOUET, T.; PIGEON, G. Mapping urban climate zones and quantifying climate behaviors – An application on Toulouse urban area (France). **Environmental Pollution**, 2011, 159 (8-9), pp.2180-2192. 10.1016/j.envpol.2010.12.027. hal-00561959.

HOUZE, R. A. Orographic effects on precipitating clouds, **Rev. Geophys.**, (2012) 50, RG1001, doi:10.1029/2011RG000365.

JESUS, E. F. R. **Espaço, tempo e escala em Climatologia**. Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Geografia da FFLCH / USP. São Paulo, 1995.

JESUS, E. F. R. Algumas reflexões teórico-conceituais na climatologia geográfica em mesoescala: uma proposta de investigação. **GeoTextos**, [S. l.], v. 4, 2009. DOI: 10.9771/1984-5537geo.v4i0.3301. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/3301>. Acesso em: 7 jan. 2023.

JURCA, J. **Classificações climáticas: variações têmporo-espaciais e suas aplicações nos livros didáticos e como subsídios ao zoneamento agroclimático**. 2005. 100f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2005.

KARKI, R.; TALCHABHADEL, R.; AALTO, J.; BAIDYA, S. New climatic classification of Nepal. **Theoretical and Applied Climatology**. (2015) 10.1007/s00704-015-1549-0.

KHAN S.U.; HASSAN M.; KHAN F. K.; BARI, A. Climate classification of Pakistan, **Balwois – Ohrid**: Republic of Macedonia – 25; 29 May 2010.

KÖEPPEN, W. **Climatologia: con un studio de los climas de la tierra**. 1º edición em español. México: Fundo de Cultura Económica, 1948.

KÖPPEN W.; GEIGER, R. **Handbuck der Klimatologie**: Berlin, 1961

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, B.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. 2006. **Meteorol. Z.**, 15, 259-263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.

LAUER W.; RAFIQPOOR M.D. & FRANKENBERG P. Die Klimate der Erde. Eine Klassifikation auf ökophysiologischer Grundlage auf der realen Vegetation. **Erdkunde** 50(4), 1996, 275-284.

LOHMANN, U.; SAUSEN, R.; BENGTTSSON, L.; CUBASCH, U.; PERLWITZ, J.; ROECKNER, E.: The Köppen climate classification as a diagnostic tool for general circulation models, **Clim. Res.**, 3, 177– 193, 1993.

MACHADO, L. A. **Análise das relações superfície-atmosfera na bacia hidrográfica do Rio das Velhas em uma perspectiva multiescalar: proposta de síntese**. Tese de doutorado – Universidade Federal de Minas Gerais, 2021. 218 f.

MALUF, J. R. T. Nova Classificação Climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, p.141-150, 2000.

MARCHI, O.A.M.; CALIJURI, M.L.; COSTA, S.H.G.; LUGÃO, W.G.; SOUZA, P.J.A. Leitura e Caracterização da Paisagem em Auxílio ao Planejamento da Ocupação Urbana de PonteNova – MG. **Natureza & Desenvolvimento**, v. 1, n. 1, p. 41-50, 2005.

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F. dos; REBOITA, M. S. Classificação Climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 1, 2021. DOI: 10.5380/abclima.v1i0.60896. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14064>. Acesso em: 2 jan. 2023.

MENDONÇA, F. *et al.* (Organizadores). **Clima Urbano**. – 2.ed., 2ª reimpressão. – São Paulo: Contexto, 2015.

MENDONÇA, F. A.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. v. 1. 208p.

MILLER, A. A. *Climatology*. Londres, Mathuen, 1965.

MILLER, D. H. (1971). Climatic Classification. **Annals of the Association of American Geographers**, 61(4), 815–816.

MORESCO, M. D. **Estudo de paisagens no Município de Marechal Cândido Rondon – PR**, Maringá: UEM, 2007. (Dissertação de Mestrado).

MORIZE, H. **Contribuição ao estudo do clima do Brasil**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1922

MORIZE, H. **Esboço da climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Observatório Astronômico, 1989.

NASCIMENTO, D. T. F.; LUIZ, G. C.; OLIVEIRA, I. J. Panorama dos sistemas de classificação climática e as diferentes tipologias climáticas referentes ao estado de Goiás e ao Distrito Federal. *Élisée*, **Rev. Geo. UEG** – Porangatu, v.5, n.2, p.59-86, jul./dez. 2016.

NASCIMENTO, D. T. F.; LUIZ, G. C.; OLIVEIRA, I. J. Retrospectiva histórica das classificações climáticas no Brasil. **Climas do Brasil : classificação climática e aplicações / organização Giuliano Tostes Novais**. -- 1. ed. -- Porto Alegre, RS : Totalbooks, 2023.

NEW M.; HULME M.; JONES P. Representing twentiethcentury space–time climate variability. II. **Development of 1901–96 monthly grids of terrestrial surface temperature**. **J Clim** (2000) 13: 2217–2238

NIMER, E. Um modelo metodológico da classificação de climas. **Revista Brasileira de Geografia - IBGE**, Rio de Janeiro, nr 4, ano 41, p. 59-89, out/dez.1979.

NOVAIS, G.T. Distribuição média dos Climas Zonais no Globo: estudos preliminares de uma nova classificação climática. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.10, n.5, p. 1614-1623, 2017. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v.10.5.p1614-1623>.

NOVAIS, G.T. BRITO, J.L.S., SANCHES, F.O. Unidades climáticas do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba-MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.23, p. 223-243, jul/dez 2018. <https://doi.org/10.5380/abclima.v23i0.58520>

NOVAIS, G. T. **Classificação climática aplicada ao bioma Cerrado**. 184f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2019. Disponível em:. Acesso em: 8 dez. 2022.

NOVAIS, G. T. MESOCLIMAS DO MUNICÍPIO DE PRATA (MG). **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 28, p. 8–27, 2021. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14337>. Acesso em: 5 jan. 2023.

NOVAIS, G. T. & MACHADO, L. (2023). OS CLIMAS DO BRASIL: segundo a classificação climática de Novais The climates of Brazil: according to the climate classification of Novais Los climas de Brasil: según la clasificación climática de Novais. **Revista Brasileira de Climatologia**. 32. 1. 10.55761/abclima.v32i19.16163.

OLIVEIRA, D. E.; ASSIS, D. C.; PIMENTEL, F. O.; FERREIRA, C. C. M. Aspectos topoclimáticos da Serra de Itatiaia: Um esboço para as vertentes da bacia hidrográfica do Rio Preto, MG/RJ. *Revista Gestão e Sustentabilidade*, Florianópolis-SC, v. 7, n. 1, p. 235-252, 2018.

PAULO, M. S. L. **O comportamento termo-higrométrico do ar associado à altitude e sistemas sinópticos atuantes no percurso Ponte Nova/Ubá, na Zona da Mata Mineira, no período de novembro de 2013 a agosto de 2014.** Banco de monografias Departamento de Geografia da UFV-MG. Viçosa-MG. 2017.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Published in **Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.**: 1 March 2007.

PEREIRA, C. A.; ESPINDOLA, H. S.; MARTINS, D. Formação econômica do Vale do Rio Doce: uma análise histórica (1940-1970). **Revista IDEAS**, Rio de Janeiro, v. 13, p. 1-24, e019005, jan./dez. 2019.

PINTO, J. E. S. de S. O clima local de Aracajú-SE. In: SANTANANETO, J. L. Org. **O clima das cidades brasileiras**. Presidente Prudente. 2002

PITTON, S. E. C. **Análise de sistemas de organização climática do espaço**. Rio Claro S.N., 1985.

REBOITA, M.S.; GAN, M.A.; DA ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**. São José dos Campos: v.5. n.2. p. 185-204. 2010.

RIBEIRO, A.G. As escalas do clima. **Boletim de Geografia Teorética**. Rio Claro: v23(46-46):288-294, 1993.

RIZZINI, C. T.; PINTO, M. M. Áreas climático-vegetacionais do Brasil segundo os métodos de Thornthwaite e de Mohr. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro-RJ, v. 26, n. 2, p. 523-547, 1964. Disponível em: . Acesso em: 06 jan. 2023.

ROCHA, F.B.; ARAVÉQUIA, J.A.; RIBEIRO, B.Z. Estudo de Ciclones e de Padrões de Circulação Atmosférica no Oceano Atlântico Sul Próximo à Costa das Regiões Sul e Sudeste do Brasil Usando Dados da Reanálise do Era-Interim. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Vol.31, n°.2 São Paulo Abr./Jun 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-778631220140151>

ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.B.P.; LANIA, D.G.; MORAES, J.F.L. Sistema de Classificação Climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de Zonas Agroclimática para o estado de São Paulo. **Revista Bragantia**. Campinas, v.66, n.4, p.711-720. 2007

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 2011. Tese (Doutoramento em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SANDERSON, M. The classification of climates from Pythagoras to Köppen, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 80, 669–673, 1999.

SANT'ANNA NETO, J. L. **História da Climatologia no Brasil: gênese, paradigmas e a construção de uma Geografia do Clima**. Tese de Livre-Docência. Presidente Prudente: FCT/UNESP, 2001.

SANT'ANNA NETO, J. L. A Gênese da climatologia no Brasil: O despertar de uma ciência. **Geografia Rio Claro**, 28, 5–27, 2003.

SANT'ANNA NETO, J. L. Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**/Associação Brasileira de Climatologia, Presidente Prudente: ABCLima, v. 1, n. 1, p. 43 – 60, 2005.

SANTOS, B. C.; HORTA, I. T. L. G. Sistemas Atmosféricos: Contribuições Teóricas e Aplicadas em Climatologia Dinâmica. In: VECCHIA, F. A. S.; TECH, A. R. B.; NEVES, G. Z. F. **Climatologia dinâmica: conceitos, técnicas e aplicações**. [S.l: s.n.], 2020. DOI: 10.11606/9786599048814.

SAPUCCI, C.R.; REBOITA, M.S.; CARVALHO, V.S.B.; MARTINS, F.B. Condições meteorológicas associadas com a ocorrência de geadas na serra da Mantiqueira, Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**. Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais, 2018. <https://doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60948>

SENTELHAS, P.C., ROLIM, G.S., BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n.1, p133-137, 1998.

STRAUCH, N. (Org.) **A bacia do rio Doce: Estudo Geográfico**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, 1955, 199 p.

TERASSI, P.M.B.; SILVEIRA, H. Aplicação de sistemas de classificação climática para a bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR. **Revista Formação**, Volume 1, Número 20, Ano 2013 – p. 111-128, Presidente Prudente, 2013.

THORNTHWAITE, C.W. Y KENNETH HARE, F.: **La clasificación climatológica en dasonomía**. Unasyuva, Vol. 9, No. 2. 1955.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance. Publications in Climatology**. New Jersey, vol. 8, n. 1. 1955.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução à Climatologia**. Ubá: Ed. Geographica, 2008. – (Série Textos Básicos de Geografia) 234p.

TREWARTHA G. T. **An Introduction to Climate**. 3rd Edition, Mc Grawhill Book Company. INC, 1937, p. 395.

TROLL, C. **A paisagem geográfica**. Hamburg: Studium Generale, 1950, v.2. 163 – 181. (em alemão).

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: Versão digital 2, 2006. Disponível em: https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf

VECCHIA, F. A. S.; TECH, A. R. B.; NEVES, G. Z. F. **Climatologia dinâmica: conceitos, técnicas e aplicações**. [S.l: s.n.], 2020. DOI: 10.11606/9786599048814.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária/UFV, 1991. 449 p.

VIEIRA, C. A.; CUPOLILO, F. Estudo da atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) no Parque Estadual do Rio Doce e seu entorno na estação chuvosa. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 28, p. 830–857, 2021. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14949>. Acesso em: 4 jan. 2023.

VYSOUDIL, M. & DARKO, O. (2011). Topoklimatska karta obalnega pasu Slovenske Istre. **DELA**. 35. 5-25. 10.4312/dela.35.5-25.

ZAVATTINI, J. A.; FRATIANNI, S. Os climas regionais do Brasil (estudo preliminar). **Revista Geonorte**, 2012, v. 1, n. 5, p. 1230-1244.