



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL  
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ROBERTO JEFFERSON DA SILVA SANTOS**

**ANÁLISE MULTIVARIADA E MODELAGEM ESPACIAL DE PARÂMETROS  
HIDROGEOQUÍMICOS DOS SISTEMAS AQUÍFEROS MÉDIO E INFERIOR DA  
BACIA SEDIMENTAR DO CARIRI CEARENSE**

**FORTALEZA  
2022**

ROBERTO JEFFERSON DA SILVA SANTOS

**ANÁLISE MULTIVARIADA E MODELAGEM ESPACIAL DE PARÂMETROS  
HIDROGEOQUÍMICOS DOS SISTEMAS AQUÍFEROS MÉDIO E INFERIOR DA  
BACIA SEDIMENTAR DO CARIRI CEARENSE**

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Recursos Hídricos.

**Orientador:** Prof. Dr. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça.

FORTALEZA  
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

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

---

- S238a Santos, Roberto Jefferson da Silva.  
Análise multivariada e modelagem espacial de parâmetros hidrogeoquímicos do sistema aquífero médio e inferior da bacia sedimentar do Cariri cearense / Roberto Jefferson da Silva Santos. – 2022.  
217 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, 0, Fortaleza, 2022.  
Orientação: Prof. Dr. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça.
1. Águas do semiárido. 2. Imputação de dados. 3. Índices de saturação. 4. Modelagem espacial. 5. Processos hidroquímicos. I. Título.

CDD

---

ROBERTO JEFFERSON DA SILVA SANTOS

ANÁLISE MULTIVARIADA E MODELAGEM ESPACIAL DE PARÂMETROS  
HIDROGEOQUÍMICOS DO SISTEMA AQUÍFERO MÉDIO E INFERIOR DA BACIA  
SEDIMENTAR DO CARIRI CEARENSE

Tese apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Recursos Hídricos.

Aprovada em 26/05/2022.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça (Orientador)  
Universidade Federal do Cariri (UFCa)

---

Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria da Conceição Rabelo Gomes  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Celme Torres Ferreira da Costa  
Universidade Federal do Cariri (UFCa)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria Gorethe de Sousa Lima  
Universidade Federal do Cariri (UFCa)

A Deus.

Ao Nosso Senhor Jesus Cristo.

Ao Buril de luz.

A minha esposa e aos meus filhos.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por todas as provações desta etapa da vida.

Aos meus pais, João e Fátima, pela grandiosa oportunidade desta encarnação, reencontros, ensinamentos e todo apoio desta jornada.

A minha esposa, companheira e guerreira, Apoliana, aos nossos filhos Ariel Ravi e Kalleu, pelo amor, paciência e determinação em nossa empreitada. Ao meu filho Lucas por toda atenção dedicada, mesmo distantes, meus eternos agradecimentos. Obrigado por tudo.

Aos meus padrinhos Flávio e Francisca Joseane. Há um universo em nossas conquistas.

Ao Sr. Francisco de Assis e a Sra. Deuzuite, sogro e sogra, por todo suporte e convivência.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça, pelos esclarecimentos, dedicação e apoio oferecidos ao longo de todo o processo, desde a seleção até a defesa desta tese.

Ao Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva, por todo suporte e atenção em mais uma jornada neste universo.

Aos amigos, Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria da Conceição Rabelo Gomes e Prof. Dr. Sávio de Brito Fontenele, por toda atenção e dúvidas esclarecidas.

À Prof.<sup>a</sup> Celme Torres Ferreira da Costa, pela valiosa contribuição no enriquecimento desta tese.

Ao amigo Prof. Dr. Henrique Douglas Melo Coutinho (Química Biológica/URCA), pelo incentivo no início da empreitada do doutorado.

À amiga Prof.<sup>a</sup> Dra. Kely Vanessa Leite Gomes da Silva (Enfermagem/URCA), pelas valiosas instruções para a apresentação do projeto de seleção no início dessa jornada de doutorado.

Ao amigo Dr. Cláudio Cajazeiras (CPRM), pelos esclarecimentos na busca de dados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS.

A turma de doutorado, Bruno, Carla, Daniel, Erlandson, Nilton, Nosliana, Thaís e Thomas, por toda convivência e conhecimento compartilhado.

Às secretárias Shirley Gomes e Edineuza Firmino, UFC/DEHA, pela prontidão nas informações prestadas.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – DEHA/UFC-CE pelo apoio e suporte.

À Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – COGERH, pela disponibilidade dos dados hidroquímicos.

O meu sincero agradecimento a todos àqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração desta tese, em mais um passo no caminhar da vida.

“Que seria da pedra abandonada, ao chão,  
triste, bruta, singela, se a vida não traçasse  
para ela. Planos de construção?”

*Francisco Cândido Xavier*



“Minha mãe me chamava de Wonko quando eu era criança, todo desajeitado, derrubando as coisas. (...) Mas o motivo pelo qual desejo ser chamado pelo meu apelido de infância é exatamente esse: me lembrar de que um cientista deve, acima de tudo, ser como uma criança. Se ele vê algo, deve dizer o que está vendo, independentemente daquilo ser o que ele imaginava ver ou não. Ver primeiro, testar depois. Mas sempre ver primeiro. Senão, você só vai ver o que você espera ver. A maioria dos cientistas se esquece disso. Mais tarde vou mostrar uma coisa a vocês para demonstrar o que estou falando. Então, o outro motivo pelo qual gosto de ser chamado de Wonko é para que as pessoas pensem que sou bobo. Isso permite dizer o que eu vejo quando eu vejo. Não dá para ser um cientista se você for ficar se preocupando se as pessoas vão ou não te achar bobo.”

Douglas Adams  
A vida, o universo e tudo o mais

## RESUMO

A crescente demanda por água aliada as estiagens e aos níveis cada vez menores nos reservatórios superficiais, tem tornado a água subterrânea uma reserva estratégica, podendo influenciar decisivamente no desenvolvimento político-socioeconômico de uma região. A presente pesquisa propõe uma metodologia capaz de modelar a distribuição espacial em um ambiente com escassez de parâmetros físico-químicos de águas subterrâneas. Os parâmetros foram analisados conforme a interpretação das fácies hidroquímicas, a identificação dos processos dominantes, os índices cloro-alcalinos, a avaliação dos possíveis tipos do intemperismo e a determinação do grau de saturação das águas para a halita, a gipsita, a dolomita e a calcita. A análise por componentes principais (ACP) foi aplicada para identificar os parâmetros que melhor explicam suas relações com as águas dos poços em estudo. A análise de agrupamento foi desenvolvida por meio de dendrogramas, a melhor correlação de Pearson definiu as melhores técnicas de aglomeração e da matriz de dissimilaridade. Para a escassez dos parâmetros físico-químicos aplicou-se a técnica de imputação múltipla de dados. Na modelagem geoestatística abordou-se a combinação de 38 direções, 11 funções de correlação e 3 tipos de pesos para minimização da função perda. Ao estudo de caso realizado em municípios que exploram águas subterrâneas na bacia sedimentar do Cariri cearense, verificou-se haver a maior incidência de águas bicarbonatadas, de proeminente contato com a rocha, com poços tendendo a saturação no período seco para a calcita e a dolomita. As componentes principais formadas apresentaram característica distintas, Dim1 – salinidade, Dim2 – atividades antrópicas e Dim3 – responsável pelo teor de substâncias dissolvidas, de acordo com a percolação da água precipitada no seu percurso pelo perfil do solo. Para os agrupamentos pôde-se verificar no período chuvoso grupos distintos para a salinidade e alcalinidade, já no período seco por atividades antrópicas. Pela modelagem espacial verificou-se a tendência de anisotropia para a maioria dos parâmetros com exceção para os sólidos totais dissolvidos, a dureza e a condutividade elétrica. O modelo demonstrou-se válido, as análises das correlações, da hidroquímica, das componentes principais e dos agrupamentos demonstraram congruência entre si, fator importante no processo inferencial da modelagem espacial em escassez de dados.

Palavras-chave: águas do semiárido; imputação de dados; índices de saturação; modelagem especial; processos hidroquímicos.

## ABSTRACT

The growing demand for water combined with droughts and the decreasing levels in surface reservoirs, has made groundwater a strategic reserve, which can decisively influence the political-socio-economic development of a region. The present research proposes a methodology capable of modeling the spatial distribution in an environment with scarcity of physical-chemical parameters of groundwater. The parameters were analyzed according to the interpretation of the hydrochemical facies, the identification of the dominant processes, the chlor-alkali indices, the evaluation of possible types of weathering and the determination of the degree of water saturation for halite, gypsum, dolomite and calcite. Principal component analysis (PCA) was applied to identify the parameters that best explain their relationship with the waters of the wells under study. Cluster analysis was performed using dendrograms, the best Pearson correlation defined the best clustering techniques and the dissimilarity matrix. For the scarcity of physical-chemical parameters, the technique of multiple data imputation was applied. In the geostatistical modeling, the combination of 38 directions, 11 correlation functions and 3 types of weights was approached to minimize the loss function. In the case study carried out in municipalities that exploit groundwater in the Cariri cearense sedimentary basin, it was found that there was a higher incidence of bicarbonate waters, with prominent contact with rock, with wells tending to saturate in the dry period for calcite and dolomite. The main components formed showed distinct characteristics, Dim1 – salinity, Dim2 – anthropic activities and Dim3 – responsible for the content of dissolved substances, according to the percolation of the precipitated water in its path through the soil profile. For the groups it was possible to verify in the rainy season distinct groups for salinity and alkalinity, in the dry season due to anthropic activities. Through spatial modeling, the anisotropy trend was verified for most parameters with the exception of total dissolved solids, hardness and electrical conductivity. The model proved to be valid, the analysis of correlations, hydrochemistry, principal components and clusters showed congruence with each other, an important factor in the inferential process of spatial modeling in scarcity of data.

Keywords: semi-arid waters; data imputation; saturation indexes; spatial modeling; hydrochemical processes.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Descrição de um variograma generalizado.....	38
Figura 2 – Funções correlação. a. Cauchy, b. Circular, c. Cubic, d. Exponential, e. Gaussian, f. Geniting, g. Matern, h. Powered Exponential, i. Pure Nugget, j. Spherical, k. Wave.....	39
Figura 3 – Funções correlação. a. Matern, b. Powered Exponential, c. Pure Nugget, d. Spherical, e. Wave.....	40
Figura 4 – Convenções direcionais usadas em geoestatística.....	41
Figura 5 – Representação gráfica da anisotropia geométrica em duas dimensões.....	42
Figura 6 – Visualização da anisotropia. a. Geométrica, b. Zonal, c. Combinada.....	43
Figura 7 – Exemplo de adequação a malha.....	44
Figura 8 – Box-plot da precipitação observada na área de estudo, períodos chuvoso e seco.....	63
Figura 9 – Balanço Iônico das amostras na área de estudo. a. chuvoso; b. seco.....	63
Figura 10 – Matrix de correlação de Pearson dos dados hidroquímicos. a: período chuvoso, b: período seco.....	65
Figura 11 – Diagrama de Piper para os poços, a: chuvoso, b: seco.....	67
Figura 12 – Diagrama de Chadha. a: chuvoso, b: seco.....	71
Figura 13 – Condutividade elétrica dos poços x formação litológica.....	72
Figura 14 – Diagrama de Gibbs. a. cátions – período chuvoso, b. ânions período chuvoso, c. cátions – período seco, d. ânions período seco.....	73
Figura 15 – Dissoluções. a. halita, b. gipsita.....	76
Figura 16 – Identificação do processo de desdolomitização. a. chuvoso, b. seco.....	77
Figura 17 – Índices CAI 1 e CAI 2 – troca iônica. a. chuvoso, b. seco.....	78
Figura 18 – Identificação do tipo de intemperismo nas amostras de águas. a e b: chuvoso; c e d: seco.....	80
Figura 19 – Índices de saturação de halita e gipsita x respectivos íons. a. e c. chuvoso, b. e d. seco.....	82
Figura 20 – Índices de saturação dolomita e calcita x respectivos íons. a. e c. chuvoso, b. e d. seco.....	83
Figura 21 – Índice de saturação calcita x dolomita. a. chuvoso, b. seco.....	84
Figura 22 – Variância explicada por período. a. chuvoso, b. seco.....	87

Figura 23 – Agrupamentos dos poços Dim1 – período chuvoso.....	90
Figura 24 – Agrupamentos dos poços Dim2 – período chuvoso.....	92
Figura 25 – Agrupamentos dos poços Dim3 – período chuvoso.....	94
Figura 26 – Índices de saturação da halita, gipsita, dolomita e calcita – chuvoso .....	95
Figura 27 – Agrupamentos dos poços Dim1 – período seco.....	96
Figura 28 – Agrupamentos dos poços Dim2 – período seco.....	99
Figura 29 – Agrupamentos dos poços Dim3 – período seco.....	101
Figura 30 – Índices de saturação da halita, gipsita, dolomita e calcita – seco .....	102
Figura 31 – Razão $rNa^+ / rCl^-$ .....	114
Figura 32 – Razão $rMg^{2+} / rCa^{2+}$ .....	115
Figura 33 – Concentração $NO_3^-$ e $K^+$ – janeiro .....	120
Figura 34 – Predominância de $SO_4^{2-}$ .....	121
Figura 35 – Concentração $NO_3^-$ – chuvoso e seco.....	124
Figura 36 – Precipitação calcita.....	128
Figura 37 – Razão $rNa^+ / (rNa^+/rCl^-)$ – períodos chuvoso e seco.....	132
Figura 38 – Concentrações de $K^+$ – chuvoso e seco.....	137
Figura 39 – Concentrações de a. $Na^+ \times SO_4^{2-}$ , b. $Na^+ \times HCO_3^-$ .....	139

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Sistemas de aquíferos da bacia sedimentar do Cariri cearense .....	49
Mapa 2 – Poços cadastrados no SIAGAS localizados na área de estudo .....	59
Mapa 3 – Modelagem espacial pH – janeiro .....	107
Mapa 4 – Modelagem espacial $\text{HCO}_3^-$ – janeiro .....	108
Mapa 5 – Modelagem espacial $\text{NO}_3^-$ – janeiro .....	109
Mapa 6 – Modelagem espacial Dureza – janeiro .....	111
Mapa 7 – Modelagem espacial $\text{Ca}^{2+}$ – janeiro .....	112
Mapa 8 – Modelagem espacial $\text{Mg}^{2+}$ – janeiro .....	113
Mapa 9 – Modelagem espacial CE – janeiro .....	116
Mapa 10 – Modelagem espacial $\text{Na}^+$ – janeiro .....	117
Mapa 11 – Modelagem espacial $\text{Cl}^-$ – janeiro .....	118
Mapa 12 – Modelagem espacial STD – janeiro .....	119
Mapa 13 – Modelagem espacial $\text{K}^+$ – janeiro .....	122
Mapa 14 – Modelagem espacial $\text{SO}_4^{2-}$ – janeiro .....	123
Mapa 15 – Modelagem espacial pH – julho .....	125
Mapa 16 – Modelagem espacial $\text{HCO}_3^-$ – julho .....	126
Mapa 17 – Modelagem espacial $\text{NO}_3^-$ – julho .....	127
Mapa 18 – Modelagem espacial Dureza – julho .....	129
Mapa 19 – Modelagem espacial $\text{Ca}^{2+}$ – julho .....	130
Mapa 20 – Modelagem espacial $\text{Mg}^{2+}$ – julho .....	131
Mapa 21 – Modelagem espacial CE – julho .....	133
Mapa 22 – Modelagem espacial $\text{Na}^+$ – julho .....	134
Mapa 23 – Modelagem espacial $\text{Cl}^-$ – julho .....	135
Mapa 24 – Modelagem espacial STD – julho .....	136
Mapa 25 – Modelagem espacial $\text{K}^+$ – julho .....	140
Mapa 26 – Modelagem espacial $\text{SO}_4^{2-}$ – julho .....	141

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Funções hídras pelo plano estadual de recursos hídras do Ceará .....	23
Quadro 2 – Coluna estratigráfica bacia sedimentar do Araripe.....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos métodos de estimação .....	37
Tabela 2 – Termos e símbolos usados na descrição do variograma .....	38
Tabela 3 – Características dos municípios do estudo de caso .....	46
Tabela 4 – Cadastro de poços utilizados na pesquisa .....	55
Tabela 5 – Estatística descritiva em mg/L .....	62
Tabela 6 – Classificação das águas conforme a classificação de Piper .....	68
Tabela 7 – Resumo identificação do processo hidroquímico – diagrama de Chadha .....	70
Tabela 8 – Simulações, KMO e Bartlett, períodos chuvoso e seco .....	85
Tabela 9 – Autovalores e respectivos percentuais de variância para cada componente (Dim) períodos chuvoso e seco .....	86
Tabela 10 – <i>Loadings</i> das componentes dos parâmetros selecionadas .....	88
Tabela 11 – Características dos poços, componente Dim1, grupo 2, período seco .....	97
Tabela 12 – Características dos poços em Dim 1, grupo 4, período seco .....	99
Tabela 13 – Testes estatísticos: normalidade .....	104
Tabela 14 – Testes estatísticos: homogeneidade e similaridade .....	105



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

COGERH	Companhia de Gestão de Recursos Hídricos
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNPM	DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIT	Sistemas de Informações Territoriais
UTME	Projeção Universal Transversa de Mercator Leste
UTMN	Projeção Universal Transversa de Mercator Norte
VMP	Valor Máximo Permitido

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	19
1.1	<b>Contextualização</b> .....	19
1.2	<b>Justificativa</b> .....	20
1.3	<b>Hipótese</b> .....	20
1.4	<b>Objetivos</b> .....	21
1.4.1	<i>Geral</i> .....	21
1.4.2	<i>Específicos</i> .....	21
2	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	22
2.1	<b>Gestão das águas subterrâneas</b> .....	22
2.2	<b>Aspectos hidroquímicos das águas subterrâneas</b> .....	24
2.2.1	<i>Composição das águas subterrâneas</i> .....	24
2.2.2	<i>Relações iônicas das águas subterrâneas</i> .....	29
2.2.3	<i>Potenciais fontes de poluição</i> .....	30
2.3	<b>Análise multivariada de dados</b> .....	31
2.3.1	<i>Análise por componentes principais (ACP)</i> .....	31
2.3.2	<i>Testes de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e Bartlett</i> .....	32
2.3.3	<i>Análise de agrupamentos</i> .....	33
2.4	<b>Dados faltantes</b> .....	33
2.4.1	<i>Imputação múltipla de dados</i> .....	34
2.5	<b>Geostatística</b> .....	36
2.5.1	<i>Variograma</i> .....	37
2.5.2	<i>Anisotropia</i> .....	41
3	<b>ÁREA DE ESTUDO</b> .....	45
3.1	<b>Caracterização da área de estudo</b> .....	45
3.1.1	<i>Litoestratigrafia da área em estudo</i> .....	47
4	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	54
4.1	<b>Identificação de processos e mecanismos hidroquímicos (Etapa 1)</b> .....	56
4.2	<b>Análise por componentes principais e análise de agrupamento (Etapa 2)</b> ....	57
4.3	<b>Modelagem espacial de parâmetros hidroquímicos (Etapa 3)</b> .....	58
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	62
5.1	<b>Análise estatística e geoquímica das águas subterrâneas</b> .....	62

5.2	Processo hidroquímico.....	67
5.2.1	<i>Fácies hidroquímicas</i> .....	67
5.2.2	<i>Diagrama de Chadha</i> .....	69
5.2.3	<i>Condutividade elétrica</i> .....	72
5.2.4	<i>Diagrama de Gibbs</i> .....	73
5.2.5	<i>Índices de saturação</i> .....	81
5.3	Análise multivariada.....	84
5.3.1	<i>Análise por componentes principais</i> .....	84
5.3.2	<i>Análise de agrupamento</i> .....	89
5.4	Modelagem espacial.....	103
5.4.1	<i>Período chuvoso</i> .....	106
5.4.2	<i>Período seco</i> .....	124
6	CONCLUSÕES .....	142
	REFERÊNCIAS .....	144
	APÊNDICE A – ÍNDICES DE SATURAÇÃO – JANEIRO .....	162
	APÊNDICE B – ÍNDICES DE SATURAÇÃO – JULHO.....	163
	APÊNDICE C – DADOS ORIGINAIS E IMPUTADOS – JANEIRO .....	164
	APÊNDICE D – DADOS ORIGINAIS E IMPUTADOS – JULHO .....	170
	APÊNDICE E – DADOS COM TENDÊNCIA 1ª ORDEM (LINEAR) SEM RESÍDUOS – JANEIRO .....	176
	APÊNDICE F – DADOS COM TENDÊNCIA 1ª ORDEM (LINEAR) SEM RESÍDUOS – JULHO .....	182
	APÊNDICE G – DADOS COM TENDÊNCIA 2ª ORDEM (NÃO LINEAR) SEM RESÍDUOS – JANEIRO.....	188
	APÊNDICE H – DADOS COM TENDÊNCIA 2ª ORDEM (NÃO LINEAR) SEM RESÍDUOS – JULHO.....	194
	APÊNDICE I – PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS EM RELAÇÃO A MALHA (UTME X UTMN) – DADOS ORIGINAIS – JANEIRO.....	200
	APÊNDICE J – PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS EM RELAÇÃO A MALHA (UTME X UTMN) – DADOS ORIGINAIS – JULHO.....	202
	APÊNDICE K – PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS EM RELAÇÃO A MALHA (UTME X UTMN) – <i>TREND</i> 1ª ORDEM – JANEIRO .....	204

APÊNDICE L – PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS EM RELAÇÃO A MALHA (UTME X UTMN) – <i>TREND</i> 1ª ORDEM – JULHO.....	206
APÊNDICE M – PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS EM RELAÇÃO A MALHA (UTME X UTMN) – <i>TREND</i> 2ª ORDEM – JANEIRO .....	208
APÊNDICE N – PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS EM RELAÇÃO A MALHA (UTME X UTMN) – <i>TREND</i> 2ª ORDEM – JULHO.....	210
APÊNDICE O – VARIGRAMAS PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS – JANEIRO.....	212
APÊNDICE P – VARIGRAMAS PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS – JULHO.....	214
APÊNDICE Q – DESCRITIVO GEOESTATÍSTICO – JANEIRO .....	216
APÊNDICE R – DESCRITIVO GEOESTATÍSTICO – JULHO.....	217

## 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo descreve de forma breve a importância da água subterrânea para o semiárido brasileiro, apresenta a justificativa, a hipótese e os objetivos geral e específico desta pesquisa.

### 1.1 Contextualização

O aumento populacional influencia diretamente no consumo por bens e serviços. Nesse contexto, a água como recurso inevitável à existência da vida humana tende a ser consumida em proporções cada vez maiores, tornando necessário aos órgãos gestores dos recursos hídricos brasileiros o emprego de modernas técnicas para o auxílio ao seu gerenciamento.

A água subterrânea tem o uso crescente para atender plenamente as necessidades da população brasileira naquilo que é considerado ser o mais precioso bem desta época (COSTA, 2008). A região semiárida brasileira merece uma atenção especial quanto à disponibilidade hídrica, pois sofre a cada década de uma seca severa (FRISCHKORN *et al.*, 2003).

No nordeste brasileiro a elevação de temperatura deve levar ao aumento da aridez e a uma adaptação dos biomas (OYAMA; NOBRE, 2003; SALAZAR *et al.*, 2007). Também, caminha para uma situação crônica de penúria de água para os usos domésticos e agrícolas das populações rurais, com estações secas mais secas do que a atual (KROL; BRONSTERT, 2007). Além da tendência ao crescimento das áreas desmatadas no Nordeste brasileiro, que deverá contribuir com um decréscimo substancial das precipitações (OYAMA; NOBRE, 2004).

Parcelas significativas do abastecimento público de várias cidades importantes (por exemplo, Maceió em Alagoas, Recife e Olinda, em Pernambuco, Natal e Mossoró, no Rio Grande do Norte) são fornecidas por poços. Na Região do Cariri cearense as águas subterrâneas são exploradas para abastecimento público e privado nos sistemas aquíferos localizados na Bacia Sedimentar do Araripe (REBOUÇAS, 1996).

Por conseguinte, o contexto para as próximas décadas é de diminuição da disponibilidade hídrica. Nesse caso, a garantia da continuidade do abastecimento passa por um aumento na captação dos recursos hídricos subterrâneos e uma melhoria na gestão dos mesmos (LOUCKS *et al.*, 2005).

A compreensão espacial por meio da geoestatística (NATH; DERE, 2016; FONTENELE *et al.*, 2014), a determinação da qualidade pela geoquímica (KARUNANIDHI, 2020; SILVA *et al.*, 2013; BALL; NORDSTROM, 1992), a análise multivariada (GOMES *et al.*, 2017) e a identificação dos grupos de variáveis responsáveis por mudanças qualitativas (SILVA *et al.*, 2021; FERNANDES *et al.*, 2010; ANDRADE *et al.*, 2007), vem demonstrando ser de grande utilidade para análises e interpretações de parâmetros geoquímicos, subsidiando assim, a gestão dos recursos hídricos.

## 1.2 Justificativa

O caráter das águas subterrâneas e os problemas ligados à baixa disponibilidade hídrica nos municípios localizados na Bacia Sedimentar do Cariri Cearense ainda apresentam lacunas a serem investigadas, conforme destacam estudos recentes (FRANCA *et al.*, 2018; GOMES *et al.*, 2017; VERÍSSIMO; AGUIAR, 2005).

Baseado no exposto, o desenvolvimento de um modelo de auxílio a gestão dos recursos hídricos deve ser capaz de gerar uma visualização espacial de parâmetros geoquímicos em um cenário de escassez de dados.

O emprego de análises de dados hidroquímicos, de técnicas multivariada (análise por componentes principais e agrupamento), aliadas a geoestatística demonstra ser de grande auxílio ao gerenciamento dos recursos hídricos na área de estudo.

Em Recursos Hídricos há estudos recentes (e.g. CITTON *et al.*, 2020; MOHAJERANI *et al.*, 2017; ALAZARD *et al.*, 2015; FONTENELE *et al.*, 2014, LOWE *et al.*, 2009) que destacam a necessidade de metodologias que lidem com a escassez de dados e as incertezas resultantes.

## 1.3 Hipótese

A perspectiva de auxiliar o problema de escassez de dados na modelagem espacial de parâmetros hidroquímicos será resolvido adequadamente com o emprego da imputação múltipla na falha dos dados. O modelo será sustentado por meio da identificação dos processos e mecanismos que afetam a química das águas, pela análise de componentes principais identificando a relação entre os tipos de águas e a área de localização dos poços e pela análise de agrupamentos alocando poços com características similares.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Geral

Desenvolver o estudo hidroquímico e hidrogeoquímico, aplicar a análise estatística multivariada e a modelagem espacial nos parâmetros hidroquímicos dos sistemas aquíferos médio e inferior da Bacia Sedimentar do Cariri Cearense.

### 1.4.2 Específicos

- a) Empregar os resultados das análises das águas, para identificar processos e mecanismos que afetam a química das águas subterrâneas na área de estudo, por meio do Diagrama de Piper (1944), do Diagrama de Chadha (1999), do Diagrama de Gibbs (1999) e dos índices de saturação;
- b) Utilizar a análise por componentes principais (ACP) para identificação dos parâmetros que melhor explicam suas relações com a água;
- c) Utilizar a análise de agrupamento para identificação dos poços similares de acordo com parâmetros físico-químicos;
- d) Aplicar a imputação múltipla de dados para o preenchimento de falhas;
- e) Desenvolver uma metodologia para modelar a espacialidade de parâmetros hidroquímicos em escassez de dados;
- f) Identificar a isotropia e anisotropia dos parâmetros hidroquímicos;
- g) Identificar por meio da modelagem espacial a direção e o sentido dos parâmetros físico-químicos na área em estudo;
- h) Verificar e discutir os parâmetros físico-químicos com mesma direção espacial na área em estudo.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

O objetivo deste capítulo é apresentar aspectos sobre a gestão da água subterrânea, contextualizar por meio da literatura nacional e internacional o ferramental necessário para o desenvolvimento das necessidades metodológicas.

### 2.1 Gestão das águas subterrâneas

A água sempre foi um fator de preocupação para os povos, tanto para o anseio de suprir as necessidades básicas de sobrevivência, quanto como fator de desenvolvimento econômico.

O Brasil vem ao longo dos anos apresentando crises hídricas, como exemplo, pode-se citar a crise de São Paulo desde 2014 (COUTINHO *et al.*, 2015) e a do Ceará desde 2012 (SILVA; NOBRE, 2016), ambos ainda não resolvidos. O aumento da densidade populacional (IBGE, 2013), gera a crescente demanda por água, nos distintos Estados brasileiros.

Desde a criação do Código de Águas em 1934, o Brasil vem demonstrando preocupação com a gestão dos recursos hídricos. Com a Política Nacional de Recursos Hídricos, por meio da Lei n. 9.433 de 1997, o Brasil conceitua formalmente a sua governança da água (WOLKMER; PIMMEL, 2013, RIO, 2017).

O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) constitui um dos principais instrumentos previstos na legislação para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. Pautado pela Lei no 9.433, de 1997, elaborado devido a um grande esforço dos órgãos de governo, aliado a segmentos da sociedade que interagem com a temática.

O Brasil dá um passo importante, com o PNRH, no estabelecimento das bases para a construção de um novo modelo sustentável de desenvolvimento aos usos da água (WOLKMER; PIMMEL, 2013).

A gestão dos recursos hídricos subterrâneos está relacionada a fatores quantitativos, qualitativos e econômicos, com direcionamento ao equilíbrio ecológico da região de abrangência do aquífero.

A falta de gerenciamento da água subterrânea em território brasileiro provavelmente não permite fazer estimativas sem erros significativos, mas estima-se que 61% da população é abastecida com água subterrânea (COSTA, 2008).



Há a necessidade da adequação dos estados e municípios na implementação e no desenvolvimento das leis, planos e comitês de bacia, com políticas de gerenciamento voltadas para a garantia da qualidade e quantidade das águas subterrâneas (COSTA *et al.*, 2019; SANTOS; MENDONÇA, 2019).

A gestão dos recursos hídricos está baseada em três pilares, (i) a legislação baseada na Lei Federal Nº 9.433 de 1997, (ii) a estrutura administrativa considerando os aspectos socioambientais, (iii) o domínio técnico-científicos acerca dos recursos hídricos (SOUZA *et al.*, 2014; ALTCHENKO; VILLHOLTH, 2013).

Há dois enfoques que direcionam a gestão dos usos das águas, por meio da oferta ou da demanda. A oferta visa aumentar as disponibilidades hídricas através da ativação das potencialidades, já a demanda dá-se no sentido de utilizar, da melhor maneira possível, as disponibilidades hídricas viabilizadas pela oferta (OTOCH *et al.*, 2019).

O Plano Estadual de Recursos Hídricos do Ceará tem como base cinco funções, (i) a gestão dos recursos hídricos, (ii) a oferta hídrica, (iii) o uso das águas, (iv) a preservação sustentável e (v) as funções complementares (CEARÁ, 1992; PLIRHINE-SUDENE, 1980; BARTH, 1987) (Quadro 1).

Quadro 1 – Funções hídricas pelo plano estadual de recursos hídricos do Ceará

FUNÇÕES HÍDRICAS		
GESTÃO		Planejamento, Gerenciamento e Regulamentação.
OFERTA		Represamento, Poços e Cisternas.
USO	CONSUNTIVO	Abastecimentos humano, industrial e rural. Irrigação e Aquicultura.
	NÃO CONSUNTIVO	Geração hidrelétrica. Navegação fluvial. Lazer. Pesca e piscicultura extensiva.
PRESERVAÇÃO		Ações preventivas e corretivas.
COMPLEMENTARES		Ciência e tecnologia, Meio ambiente. Planejamento global, Incentivos econômicos e Defesa civil.

Fonte: Baseado em Campos (2001).

A água subterrânea da Bacia Sedimentar do Cariri Cearense com exploração nos Sistemas Médio e Inferior é destinada para o uso doméstico (e.g. consumo, higiene e lavagem em geral), irrigação, recreação, indústria (e.g. bebidas, alimentícias, etc.) e outras funções (e.g. construções civis, postos de combustíveis, lava jatos).

## 2.2 Aspectos hidroquímicos das águas subterrâneas

A geoquímica das águas subterrâneas é uma ciência multidisciplinar que relaciona a composição química da água aos processos e reações no ambiente de subsuperfície. O enfoque principal é a compreensão da origem e evolução química dos constituintes presentes na água, em decorrência dos processos físico-químico-biogeoquímicos que acontecem durante o fluxo da água subterrânea nos aquíferos, desde a zona de recarga até os exutórios naturais (MESTRINHO, 2008).

Desde os primeiros contatos, as águas naturais e o ambiente geológico estão submetidos a processos geoquímicos que dependem basicamente da composição química das águas que abastecem os aquíferos e do ambiente geológico, de fatores físicos do subsolo e das águas (porosidade da rocha ou subsolo em contato com as águas, temperatura, pH, condutividade elétrica, velocidade da água em contato com o subsolo e a velocidade do fluxo das águas) e da influência humana sobre as águas e o meio ambiente geológico, geralmente na forma de poluição ambiental (FENZL, 1988).

Um pré-requisito nos estudos de hidroquímica é o entendimento dos processos que ocorrem associados às águas naturais e aos problemas de contaminação, pois a água poluída retarda sua circulação e promove mudanças de seu estado físico-químico (PIERSON-WICKMANN *et al.*, 2009).

### 2.2.1 Composição das águas subterrâneas

A partir das solubilizações primárias, em geral, obtém-se os seguintes comportamentos químicos (SCHOELLER, 1977):

1. Somente os íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  são transportados pelas águas, liberados dos silicatos durante a alteração. O  $\text{K}^+$  é retido por adsorção.
2. O  $\text{Fe}^{2+}$  também está presente em pequenas quantidades, parte precipita sob a forma de hidróxidos.

3. O  $\text{SO}_4^{2+}$  se forma com a oxidação de pirita e outros sulfetos.
4. O  $\text{Cl}^-$  pode provir da biotita, muscovita, horblenda, apatita e com concentração menor que a de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ .
5. Grande parte dos ânions será  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  proveniente de  $\text{CO}_2$  dissolvido que por sua vez provém em grande parte do solo.

A composição físico-química (mineralização) das águas subterrâneas depende, inicialmente, da composição das águas de recarga (pluviometria, águas superficiais) e, em seguida, de sua evolução química, influenciada diretamente pela interação água-rocha representada pela percolação da água através dos poros e/ou fraturas das camadas geológicas (HEM, 1989).

A composição química das águas subterrâneas sofre modificações, principalmente por dois tipos de processos, dissolução da superfície das rochas e precipitação (SZIKSZAY, 1993).

Os minerais mais abundantes, em contato com as águas naturais sob efeito destes processos, são: calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomita ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ), halita ( $\text{NaCl}$ ), anidrita ( $\text{CaSO}_4$ ) e gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ); liberando os íons mais abundantes nas águas naturais que são  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$  os quais refletem a composição das rochas em contato com a água (SZIKSZAY, 1993).

O pH varia se novas substâncias dissolvidas na água reagirem com os íons  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$ ; o pH aumenta se há reações com íons  $\text{H}^+$  e diminui se há reações com íons  $\text{OH}^-$ . Por causa da concentração iônica das águas, o pH se encontra na faixa de 1 a 14, e classifica água ácida se  $\text{pH} < 7$ ; água neutra se  $\text{pH} = 7$ , e água básica se  $\text{pH} > 7$ ; o valor do pH determina a solubilidade de muitos solutos. Somente alguns íons como cloreto, potássio e nitrato tem pouca variação da solubilidade em toda a faixa de pH (FENZL, 1988).

O ferro está presente em baixas concentrações (abaixo de 0,3 mg/L) em quase todas as águas subterrâneas e ocorre sob diversas formas químicas. Suas fontes são minerais ferromagnesianos (máficos) tais como a magnetita, biotita, pirita, piroxênios e anfibólios; por sua afinidade geoquímica, quase sempre é acompanhado pelo magnésio. No estado ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) forma composto solúveis, principalmente hidróxidos e em ambientes oxidantes, o  $\text{Fe}^{2+}$  passa a  $\text{Fe}^{3+}$  dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita causando uma coloração avermelhada à água, comumente designada de “*capa rosa*”. Assim, águas com elevada concentração de ferro ao saírem do poço são incolores, mas ao entrarem em contato

com o oxigênio do ar ficam amareladas, o que lhes conferem uma aparência nada agradável, inúmeras vezes deixando a água com caráter de “*poluição estética*”.

Na condutividade elétrica (CE) quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior ela será; ela depende da concentração total das substâncias dissolvidas e ionizadas e da temperatura na qual a medida é realizada. A CE é considerada como um bom critério na avaliação do grau de mineralização da água, contribuindo para o estudo do efeito de diversos íons sobre o equilíbrio químico, sobre o sistema fisiológico das plantas e animais e sobre a taxa de corrosão, além de servir para verificar o grau de pureza das águas destiladas e deionizadas (NOBRE, *et al.*, 2014; APHA, 2003).

O cálcio e o magnésio estão presentes na água, principalmente nas formas de bicarbonatos de cálcio e de magnésio e sulfatos de cálcio e de magnésio. Em geral, usa-se o teor de cálcio e magnésio de uma água, expresso em teores de carbonato de cálcio, para definir a dureza (CAVALCANTE *et al.*, 2012; HOUNSLOW, 1995).

O cálcio é considerado um dos elementos mais abundantes na maioria das águas e rochas, tendo de moderada a elevada solubilidade, sendo comum precipitar como carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), é o principal responsável pela dureza da água (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983).

O magnésio tem comportamento geoquímico muito parecido com o do cálcio e, em geral, o acompanha. Diferente do cálcio, apresenta alta solubilidade em  $\text{MgCO}_3$ ; muito raro nas águas subterrâneas. Ocorre na natureza como magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ), dolomita ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) e como sulfato de magnésio ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), facilmente solúvel em água. Em silicatos, o magnésio ocorre mais frequente em serpentina ( $\text{Mg}_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$ ) e olivina ( $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ ) (CUSTÓDIO, 1965).

A alcalinidade é uma das determinações mais importantes no controle da água, estando relacionada com a coagulação, redução da dureza e prevenção da corrosão nas canalizações de ferro fundido da rede de distribuição. Os altos níveis de alcalinidade indicam a presença de efluentes industriais fortemente alcalinos. Em águas poluídas em estado anaeróbico, pode haver formação de sais de ácido acético, ácido propiônico e sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) (PINA, 2012).

As fontes de alcalinidade nas águas naturais são o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) dissolvido, proveniente da atmosfera, processos de decomposição de material orgânico, e interação  $\text{CO}_2$  com calcário ( $\text{CaCO}_3$ ) e dolomita ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ).

A maioria dos íons bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) e carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) em águas subterrâneas são derivados do  $\text{CO}_2$  na atmosfera e no solo, e de soluções de rochas carbonatadas.

Águas bicarbonatadas sódicas podem ser concentradas nos solos produzidos por evaporação; na presença de alta concentração de cálcio, o bicarbonato é retirado da água através da precipitação de  $\text{CaCO}_3$  (QIYAN; BAOPING, 2002).

O pH da água correlaciona-se com a concentração do gás carbônico, dos bicarbonatos e dos carbonatos ( $\text{pH} < 8,3$  – ausência de  $\text{CO}_3^{2-}$ ) (ORAL; ERCAN, 2018).

O carbonato somente excederá o bicarbonato quando o pH for igual ou superior a 10, a alcalinidade é devida a hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ) (BRANCO *et al.*, 2013). Em águas naturais doces, a quantidade de carbonato será muito baixa em comparação com a de bicarbonato (LOGAN, 1965).

Cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) é o ânion inorgânico mais frequente nas águas, sendo muito solúvel, estável em solução e de difícil precipitação, não sofrendo oxidação e nem redução em águas naturais. Fontes comuns de cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) são halita ( $\text{NaCl}$ ), vaporitos do mar, salmouras e fontes termais. Não há depósitos comuns para cloreto, exceto por evaporitos (SILVA *et al.*, 2000).

As altas concentrações de cloreto podem ser responsáveis pelo aumento gradativo de salinidade das águas subterrâneas e, conseqüentemente, pelo aumento de STD (CAVALCANTE, 1998).

A alta solubilidade e o lento movimento das águas subterrâneas provocam um aumento gradativo do teor dos cloretos das áreas de recarga, em direção as áreas de descarga. As águas subterrâneas apresentam geralmente teores inferiores a 100 mg/L. São bons indicadores de poluição por lixão ou aterros sanitários (MESTRINHO, 2008; HOUNSLOW, 1995).

O sódio é um dos metais alcalinos mais importantes e abundantes nas águas subterrâneas, estando presente em todas elas, há o predomínio de algumas características, ampla distribuição nos minerais, baixa estabilidade química dos minerais que o contêm e alta solubilidade, e difícil precipitação da maioria dos seus compostos químicos em solução. Nas águas subterrâneas, a concentração de sódio varia entre 0,1 e 100 mg/L, havendo enriquecimento gradativo deste elemento a partir das zonas de recarga (PROCHNOW *et al.*, 2009; CUSTÓDIO, 1965).

O potássio é um dos alcalinos que ocorre em pequenas quantidades ou está ausente nas águas subterrâneas devido à sua participação intensa em processos de troca iônica, além da

facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila ou, ainda, pelos vegetais (MESTRINHO, 2008; HOUNSLOW, 1995).

O sulfato ocorre em sais moderadamente solúveis a muito solúveis, exceto os sulfatos de estrôncio ( $\text{SrSO}_4$ ) e os de bário ( $\text{BaSO}_4$ ). Em água doce, o sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ) satura a 1.500 mg/L e pode chegar até 7.200 mg/L em águas salinas. Em meio redutor, com abundante matéria orgânica pode sofrer uma redução bacteriana a S ou  $\text{S}^{-2}$ , porém, em geral, é estável. Origina-se da oxidação do enxofre presente nas rochas e da lixiviação de compostos sulfatados (gipsita e anidrita) (CUSTÓDIO, 1965).

O Nitrogênio inorgânico pode existir no estado livre como gás, nitrito, nitrato e amônia. Com exceção de algumas ocorrências como sais evaporíticos, o nitrogênio e seus compostos não são encontrados nas rochas da crosta terrestre. O nitrogênio é continuamente reciclado pelas plantas e animais. Nas águas subterrâneas, geralmente o nitrato ocorre em teores abaixo de 5 mg/L. Nitritos e amônia são ausentes, pois são rapidamente convertidos a nitratos pelas bactérias (ALABURDA; NISHIHARA, 1998). Pequeno teor de nitrito e amônia é sinal de poluição orgânica recente dos efluentes domésticos. Segundo a Portaria de Consolidação Nº 5 de 28/09/2017, uma água potável não deve ter mais do que 10 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$  ou 45 mg/L do íon  $\text{NO}_3^-$  (BEZERRA *et al.*, 2017; VON SPERLING, 2014).

O nitrato é muito solúvel e dificilmente precipita. Em meios redutores, tem a tendência de ser estável, podendo passar a  $\text{N}_2$  (nitrito) ou  $\text{NH}_4^+$  (amônia) e muito raramente para  $\text{NO}_3^-$  em meio oxidante. É muito móvel, podendo ser removido das camadas superiores do solo para a água (SILVA; MIGLIORINI, 2014; MESTRINHO, 2008). Ocorre em geral em pequenas concentrações, representando o estágio final da oxidação da matéria orgânica proveniente de resíduos da atividade humana (e.g. esgotos sanitários, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, resíduos de animais). Os resíduos de produtos proteicos oriundos de esgotos, fezes, são ricos em nitrogênio e se decompõem em nitratos na presença de oxigênio, de acordo com o ciclo do nitrogênio – nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato.

A oxidação do nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) para nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) requer a participação de bactérias autótrofas do grupo nitrobactérias. A presença de nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) na água subterrânea é um indicativo de poluição recente (ZOPPAS *et al.*, 2016).

É possível avaliar o grau e a distância a uma fonte de poluição através das concentrações e das formas dos compostos nitrogenados presentes na água. Águas com predominância de nitrogênio orgânico e amoniacal são poluídas por descargas de esgotos

próximos. Águas com concentrações de nitrato predominantes sobre nitrito e amônia indicam uma poluição remota, porque os íons nitratos são produtos finais de oxidação do nitrogênio (SANTIAGO *et al.*, 2007; SANTIAGO; SILVA, 2007).

### 2.2.2 *Relações iônicas das águas subterrâneas*

As razões iônicas também designadas de índices hidrogeoquímicos são relações entre os íons dissolvidos na água que podem indicar o grau de relacionamento da água com o litotipo percolado (ADEYEYE *et al.*, 2021).

Os íons dissolvidos na água podem caracterizar tanto a ação de fenômenos modificadores como a característica específica da água, designada de “assinatura iônica” da água (COSTA *et al.*, 2008; MESTRINHO, 2008).

As informações sobre a tipologia química da água junto às relações iônicas (meq/L) têm sido usadas para confirmar a análise química e auxiliar na dedução da rocha original. As reações químicas podem também ser deduzidas quando os dados são representativos de aquíferos homogêneos, com composição mineralógica conhecida (MESTRINHO, 2008).

As razões iônicas ( $r$ ) mais importantes em estudos hidroquímicos são,  $rMg^{2+} / rCa^{2+}$  e  $rK^+ / rNa^+$ , onde  $r = meq/L$  (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983).

Com a razão  $rMg^{2+} / rCa^{2+}$  as águas continentais, em geral, apresentam valores que variam de 0,3 a 1,5 meq/L. Quando são próximos de 1,0, há influência de terrenos dolomíticos, e quando são superiores a 1,0, podem indicar a associação de silicatos magnesianos, como a mineralogia dos basaltos. Quando ocorre a precipitação de carbonato de cálcio, há um aumento na razão iônica e o inverso ocorre em caso de dissolução da calcita (BARISON, 2003).

Na razão  $rK^+ / rNa^+$ , tem-se a fixação preferencial de  $K^+$  no terreno, ela é menor na água que na rocha mãe e é tanto menor quanto mais concentrada em sais é a água. Se existem aportes artificiais de  $K^+$ , pode ocorrer diminuição no sentido do fluxo (CUSTÓDIO, 1965).

A relação  $rCl^- / rHCO_3^-$  varia de 0,010 a 0,397; faixa geralmente encontrada nas águas continentais (CUSTÓDIO, 1965). Como o conteúdo em  $HCO_3^-$  é relativamente constante nas águas subterrâneas, essa razão presta-se para mapear o processo de concentração de sais no sentido do fluxo subterrâneo; ainda que o processo faça crescer ligeiramente o denominador, um aumento na razão  $rCl^- / rHCO_3^-$  indica um avanço no processo de concentração. Se existem fenômenos de redução de sulfatos ou aportes exteriores de  $CO_2$ , pode haver aumento de  $HCO_3^-$  e, neste caso, não convém utilizar esta razão (SANTOS, 2008).

Quanto mais lenta a circulação, trajeto longo, tempo de contato grande e alto contato água/rocha, maior será a possibilidade de dissolução. Geralmente, a razão  $r\text{SO}_4^{2-} / r\text{Cl}^-$  diminui de montante a jusante, e a velocidade de dissolução é maior para  $\text{Cl}^-$  que para  $\text{SO}_4^{2-}$ ; porém, em terreno rico em  $\text{SO}_4^{2-}$ , a razão aumentará;  $r\text{Mg}^{2+} / r\text{Ca}^{2+}$  aumenta de montante para jusante. A solubilização de  $\text{MgSO}_4$  e de  $\text{MgCl}_2$  é mais rápida do que  $\text{CaSO}_4$  e  $\text{CaCO}_3$ , tornando a água saturada nesses sais (SZIKSZAY, 1993).

### 2.2.3 Potenciais fontes de poluição

As águas subterrâneas, por estarem mais protegidas devido à profundidade em que se encontram, são menos vulneráveis à poluição do que as superficiais. Quando contaminada, a sua recuperação pode levar muitos anos dependendo do tipo de contaminante tornando-se economicamente inviável.

As características naturais das águas podem ser modificadas por degradação em função de diversos fatores; atualmente os mais comuns são relacionados a má construção e localização de poços, cemitérios, disposição de resíduos (e.g. lixões, aterros) e tanques de armazenamento (e.g. postos de serviço), outros fatores são as águas superficiais poluídas, a ausência de saneamento básico e a agricultura.

Dentre os impactos causados pela instalação inadequada de cemitérios destacam-se os impactos químicos, dentre os quais o mais importante é o risco de contaminação das águas subterrâneas por microrganismos que se proliferam durante o processo de decomposição dos corpos (COSTA; FILHO, 2011; DENT *et al.*, 2004).

Pesquisas desenvolvidas revelam o comprometimento qualitativo das águas subterrâneas por bactérias provenientes do líquido gerado pela decomposição dos corpos, no período humeroso, cuja duração varia de seis a oito meses a depender das condições geológicas, liberam de forma intermitente um líquido, dentre as substâncias que o compõe estão presentes duas diaminas (compostos derivados da amônia,  $\text{NH}_3$ ), muito tóxicas: a putrescina (1,4 Butadiamina) e a cadaverina (1,5 Pentanodiamina), dois potentes venenos (WROBLESCCK *et al.*, 2021, DENT; KNIGHT, 1998).

No Brasil, a disposição de resíduos doméstico ou industrial tem sido causadora de inúmeros incidentes de contaminação das águas, devido ao desenvolvimento populacional desordenado nos diversos municípios. Os mais sérios riscos ocorrem em áreas geologicamente



vulneráveis, com instalações de empreendimento sem o controle e a disposição de resíduos sólidos, principalmente líquidos perigosos, é feita em locais não apropriados.

### 2.3 Análise multivariada de dados

A estatística multivariada consiste em um conjunto de métodos estatísticos utilizados em situações nas quais várias variáveis são medidas simultaneamente, em cada elemento amostral (MONTEIRO *et al.*, 2010; MINGOTI, 2005). É uma ferramenta indicada quando o número de variáveis envolvidas é grande e o pesquisador não percebe como as observações podem ser resumidas em uma ou mais características que simplifiquem o volume de informações (GOMES; MENDONÇA, 2017; HAIR *et al.*, 2009). Com o uso da estatística multivariada, é possível simplificar os dados disponíveis facilitando o entendimento e as relações entre as variáveis qualitativas e quantitativas.

#### 2.3.1 Análise por componentes principais (ACP)

A análise por componentes principais está relacionada com a explicação da estrutura de covariância por meio de poucas combinações lineares das variáveis originais em estudo.

Os objetivos dessa análise são:

- (i) redução da dimensão original;
- (ii) facilitação da interpretação das análises realizadas.

Em geral, a explicação de toda a variabilidade do sistema determinado por  $p$  variáveis só pode ser efetuada por  $p$  componentes principais. No entanto, uma grande parte dessa variabilidade pode ser explicada por um número  $r$  menor de componentes,  $r \leq p$ . As componentes principais são uma técnica de análise intermediária e, portanto, não se constituem em um método final e conclusivo.

Esse tipo de análise se presta fundamentalmente como um passo intermediário em grandes investigações científicas. Há uma quantidade crescente de trabalhos utilizando análises por componentes principais (GOMES *et al.*, 2017; CAI *et al.*, 2016; JUNEJA, 2012; ABDI; WILLIAMS, 2010; ANDRADE, *et al.*, 2007).

### 2.3.2 Testes de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e Bartlett

O índice conhecido como Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) é uma medida de adequação de amostragem (MSA). A função dos elementos ao quadrado da matriz imagem é comparada com o quadrado das correlações originais, permitindo uma estimativa geral como também para cada item (KAISER, 1970).

O índice KMO é fundamentado pela MSA dado pela Equação 1 (DZIUBAN; SHIRKEY, 1974):

$$KMO = \frac{\sum_{j \neq k} \sum r^2_{jk}}{\sum_{j \neq k} \sum r^2_{jk} + \sum_{j \neq k} \sum p^2_{jk}} \quad (1)$$

Onde:

$r_{jk}$  é o coeficiente de correlação simples entre as variáveis  $X_j$  e  $X_k$ ;

$p_{jk}$  é o coeficiente de correlação parcial entre  $X_j$  e  $X_k$ , dados os outros  $X_s$ .

Portanto, resulta em um índice, sendo uma estatística que indica a proporção da variância dos dados que pode ser considerada comum a todas as variáveis, ou seja, que pode ser atribuída a um fator comum. Valores de 0,5 a 1,0 indicam uma análise por componentes principais aceitável, enquanto abaixo de 0,5 indicam uma análise possivelmente inadequada (BRAEKEN; VAN ASSEN, 2016; PESTANA; GAGEIRO, 2005; LORENZO-SEVA, 2003; DZIUBAN; SHIRKEY, 1974).

O teste de esfericidade de Bartlett (1937) avalia em que medida a matriz de covariância é similar a uma matriz identidade, ou seja, não apresentam correlações entre si (FIELD, 2005; BARTLETT, 1937). Esse teste avalia, também, a significância geral de todas as correlações em uma matriz de dados (HAIR *et al.*, 2009). Os valores do teste de esfericidade de Bartlett com níveis de significância ( $p < 0,05$ ) indicam que a matriz é fatorável, rejeitando a hipótese nula de que a matriz de dados é similar a uma matriz identidade (TABACHNICK; FIDELL, 2007). De forma geral, os resultados dos testes de KMO e de esfericidade de Bartlett tendem a ser uniformes, aceitando ou negando a possibilidade de fatoração da matriz de dados (DZIUBAN; SHIRKEY, 1974).

### 2.3.3 *Análise de agrupamentos*

A análise de agrupamentos é uma técnica analítica para desenvolver subgrupos significativos de indivíduos ou objetos. Especificamente, o objetivo é classificar uma amostra de entidades (indivíduos ou objetos) em um número menor de grupos mutuamente excludentes, com base nas similaridades entre as entidades. Na análise de agrupamentos, diferentemente da análise discriminante, os grupos não são pré-definidos. Ao invés disso, a técnica é usada para identificar os grupos (VIDAL; KIANG, 2017; SASIDHARAN; MENENDEZ, 2015).

A análise de agrupamentos geralmente envolve pelo menos três passos:

- a) A medida da dissimilaridade;
- b) A técnica de aglomeração;
- c) O real processo de agrupamento, onde entidades são particionadas em grupos (agrupamentos).

Neste estudo foram utilizadas as medidas de dissimilaridade Euclidean, Maximum, Manhattan, Canberra, Minkowski e binary (BORG, 1997). Para a aglomeração foram utilizadas as técnicas *Ward.D*, *Ward.D2*, *single*, *complete*, *average*, *Mcquitty*, *median* e *centroid* (MURTAGH; LEGENDRE, 2014; PIMENTEL, 2013; LEGENDRE; LEGENDRE, 2012; MEILA, 2007; GAN *et al.*, 2007; MCQUITTY, 1966).

## 2.4 Dados faltantes

Um problema comum em investigações científicas é a ocorrência de dados faltantes (*missing data*), especialmente em recursos hídricos (SREBOTNJAK *et al.*, 2012). O desenvolvimento de métodos estatísticos direcionados a solucionar problemas de dados faltantes tem sido uma área de pesquisa bastante ativa nas últimas décadas (ZHANG, 2003; SCHAFER, 1999; LITTLE, 1992; RUBIN, 1987).

A perda de dados é um grande desafio no planejamento e análise de estudos em recursos hídricos. Perda de dados pode levar a problemas sérios em recursos hídricos, principalmente, na análise de dados hidroquímicos. Portanto, é importante que se estabeleçam estratégias para lidar com dados faltantes, seja planejando a pesquisa com o máximo de esforço para evitar perda de informações, seja abordando os dados faltantes com técnicas adequadas desenvolvidas para contornar este problema (VAN DER HEIJDEN *et al.*, 2006; WOOD *et al.*, 2004).

Desde os anos 80 surgiram técnicas estatísticas que envolvem imputação de dados faltantes. Essas técnicas têm por objetivo “completar” os dados faltantes e possibilitar a análise com todos os indivíduos do estudo. As primeiras técnicas de imputação desenvolvidas envolviam métodos relativamente simples, tais como, substituição dos dados faltantes pela média, pela mediana, por interpolação ou até por regressão linear. Todas essas técnicas mencionadas permitem “preencher” os dados faltantes por meio do que se chama de imputação única, ou seja, o dado ausente é preenchido uma única vez e então se utiliza o banco de dados completo para as análises. Entretanto, a incerteza associada à imputação deve ser levada em conta para que os resultados obtidos com os dados completos sejam válidos, pois os valores imputados não são valores reais. Para solucionar essa questão foi desenvolvida a técnica de Imputação Múltipla (LIU *et al.*, 2016; ACOCK, 2005; BURKE, 2001; RUBIN, 1987).

O método da imputação múltipla está se tornando cada vez mais popular para tratar dados faltantes. Deve-se à sua enorme flexibilidade, quando bem usada, pode lidar com dados faltantes de todos os tipos (e.g. quantitativos, categóricos ordinais, nominais). A sua utilização pode ser simplificada ao separar a tarefa de análise em duas etapas, imputação e análise dos dados completos (WHITE *et al.*, 2007).

Nos últimos 40 anos a imputação múltipla vem crescendo na importância e influência na análise de dados incompletos (NUNES *et al.*, 2009). Durante esse período, o número de aplicações tem crescido em áreas como das ciências sociais, na saúde pública, mas em recursos hídricos é bastante incipiente. Em paralelo a esse desenvolvimento, ferramentas de imputação múltipla têm sido incorporadas em muitos aplicativos estatísticos. Inevitavelmente, seu crescente uso tem gerado novas discussões e desafios (KENWARD; CARPENTER, 2007; NUNES *et al.*, 2009).

#### **2.4.1 Imputação múltipla de dados**

Devido aos desenvolvimentos computacionais a técnica de imputação múltipla vem sendo cada vez mais implementada. A técnica possibilita a inclusão da incerteza da imputação nos resultados, corrigindo o maior problema associado à imputação única. A imputação múltipla consiste em três passos (RUBIN, 1987):

1. São obtidos  $m$  bancos de dados completos por meio de técnicas adequadas de imputação;

2. Separadamente, os  $m$  bancos são analisados por um método estatístico tradicional, como se realmente fossem conjuntos completos de dados;
3. Os  $m$  resultados encontrados no passo 2 são combinados de um jeito simples e apropriado para obter a chamada inferência da imputação repetida.

O primeiro passo é a parte fundamental da imputação múltipla, pois as técnicas de imputação utilizadas têm de preservar a relação das observações faltantes e presentes e ainda levar em conta o mecanismo de ausência e o padrão dos dados faltantes. Os mecanismos dividem-se em: perdas completamente ao acaso (*missing completely at random* – MCAR), perdas ao acaso (*missing at random* – MAR) e perdas não-aleatórias (*not missing at random* – NMAR); e os padrões são: monotônicos e não-monotônicos (RUBIN, 1987; SCHAFER; GRAHAM, 2002; MOLENBERGHS, 2004).

A partir das  $m$  imputações realizadas, o passo 2 da imputação múltipla pode ser realizado, ou seja, os  $m$  bancos de dados são analisados por métodos tradicionais de análise. Finalmente, os  $m$  resultados obtidos podem ser combinados usando-se as regras apresentadas anteriormente (RUBIN, 1987).

As regras podem ser usadas independentemente do método utilizado para fazer a imputação múltipla (SCHAFER; GRAHAM, 2002).

A análise computacional da imputação múltipla pode ser realizada por diversos softwares SAS, S-Plus, SOLAS, NORM, BMDP e R (e.g. pacote MICE), sendo o R (R CORE TEAM, 2020) de domínio público. Análises do desempenho dos aplicativos computacionais para imputação múltipla têm sido publicadas na literatura (HORTON; LIPSITZ, 2001; HORTON; KLEINMAN, 2007).

De forma geral, é possível definir a escolha entre os métodos de imputação mediante a proporção de dados faltantes (HARRELL Jr., 2001):

- a. Proporção  $\leq 0,05$ : Neste caso pode ser usada a imputação única ou analisar somente os dados completos;
- b. Proporção entre 0,05 e 0,15: Imputação única pode ser usada provavelmente sem problemas, entretanto o uso da imputação múltipla é indicado;
- c. Proporção  $\geq 0,15$ : A imputação múltipla é indicada na maior parte dos modelos.

Entre os métodos de imputação disponíveis em programas estatísticos, destaca-se *Predictive Mean Matching* (PMM), que é uma técnica de imputação múltipla semiparamétrica

na qual se combinam regressão linear e seleção aleatória de valor para imputação (RUBIN, 1987). Assim, a variável de interesse é a variável a ser imputada, e as demais variáveis são as explicativas. A predição linear é utilizada como medida de distância entre o valor faltante e os seus possíveis doadores e, com isso, é criado o espaço virtual com os casos candidatos a ceder o valor para imputação. Valores observados próximos ao valor predito são selecionados como o *pool* doador que, frequentemente, é fixado contendo  $k$  candidatos doadores. Um desses candidatos é aleatoriamente selecionado, e o seu valor é atribuído à unidade faltante. Por utilizar dados observados, a PMM preserva a distribuição dos valores observados entre os valores imputados.

Ao realizar a imputação, é aconselhável incluir no modelo alguns tipos de variáveis explicativas (MIRI *et al.*, 2016; MORRIS *et al.*, 2014; RUBIN, 1987):

- (i) variáveis que predizem a ausência de valores;
- (ii) variáveis associadas à variável que está sendo imputada;
- (iii) variável de desfecho do modelo.

Há pelo menos duas vantagens nos métodos de imputação múltipla:

- (i) teoricamente, podem ser aplicados a qualquer tipo de dado ou modelo;
- (ii) estão disponíveis em programas estatísticos convencionais.

## 2.5 Geoestatística

Nas últimas décadas, a geoestatística vem desenvolvendo um papel importante como um método de estimativa seja em reservas de minas (e.g. metais preciosos, minério de ferro, metais básicos) ou na aplicação na indústria do petróleo. Com o avanço da ciência seu uso foi estendido para outros campos, como a ciência ambiental, a hidrogeologia, a agricultura e a pescaria, onde o componente de tempo, bem como a variabilidade espacial são importantes.

A ferramenta básica em geoestatística, o variograma, é usado para quantificar correlações entre as observações. Uma vez que uma função matemática foi ajustada para o variograma experimental, este modelo pode ser usado para estimar valores em pontos não amostradas. A estimação produzida é chamada de *Kriging*, nome dado em homenagem ao desenvolvedor, Danie Krige, que em conjunto com Herbert Sichel realizou os primeiros desenvolvimentos em geoestatística na mina de ouro Witwatersrand (DRUCK *et al.*, 2004; BERNHARDSEN, 2002).

De forma comparativa entre a estimativa *Kriging* e outros métodos convencionais (e.g. média ponderada pelo inverso do quadrado da distância, média simples e vizinho mais próximo), a Tabela 1 apresenta algumas características.

Tabela 1 – Características dos métodos de estimação

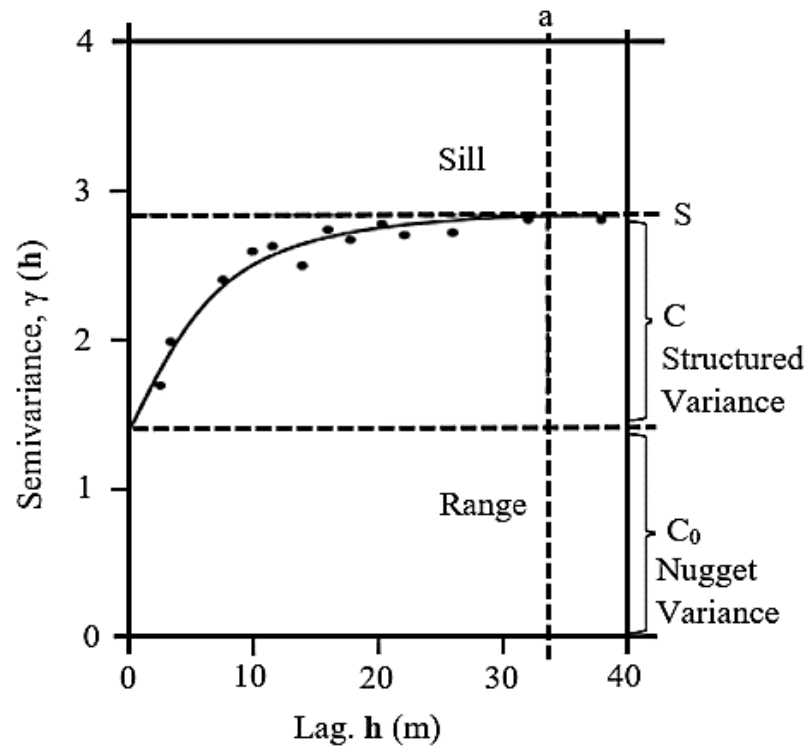
<b>Kriging</b>	<b>Métodos Convencionais</b>
Os pesos são determinados a partir de uma análise de correlação espacial baseada no variograma	Os pesos são determinados somente em função da distância
Área de influência na interpolação é indicada pelo alcance	O raio de busca é arbitrário
Modela a anisotropia, há a possibilidade de detectar as direções de maior e menor continuidade espacial do fenômeno	A anisotropia é ignorada
Trata redundância, atribui pesos adequados aos possíveis agrupamentos ( <i>clusters</i> ) de amostras	A redundância é ignorada. Possibilidade de ocorrer superestimação ou subestimação de valores

Fonte: Adaptado de Druck *et al.*, 2004.

### 2.5.1 Variograma

A descrição de uma amostra de variograma (Figura 1) para uso em técnicas geoestatística tal como Kriging faz-se necessário ajustar o modelo matemático às estimativas da semivariância (McBRATNEY; WEBSTER, 1986). O modelo ajustado é definido pelo seu tipo (i.e. *cauchy*, *circular*, *cubic*, *exponential*, *gaussian*, *gneiting*, *matern*, *powered.exponential*, *pure.nugget*, *sph* e *wave*) e pelos coeficientes do modelo que podem incluir o *nugget variance* ( $C_0$ ), *structured variance* ( $C$ ), *sill* ( $C_0 + C$ ), *range* ( $a$ ) e o gradiente ( $m$ ). O termo de suporte *lag* ( $h$ ) indica uma quantidade vetorial que representa distância e direção (Tabela 2). De forma geral, os modelos adotados neste estudo podem os seus formatos serem visualizados em Figuras 2 e 3.

Figura 1 – Descrição de um variograma generalizado



Fonte: Adaptado de Curran e Atkinson, 1998.

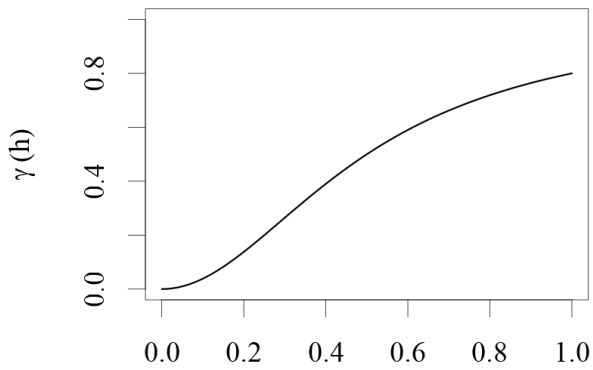
Tabela 2 – Termos e símbolos usados na descrição do variograma

Termo	Símbolo	Definição
Suporte	$\gamma$	Área, forma e orientação do espaço representado por cada dado da amostra
Lag	$h$	Distância (e direção em duas ou mais dimensões) entre pares da amostragem
Sill	$S$	Valor máximo de $\gamma(h)$
Range	$a$	Ponto no eixo x onde $\gamma(h)$ atinge a máxima distância. Ponto onde o $\gamma(h)$ intercepta o eixo y. Representa um
Nugget variance	$C_0$	componente da variação que é espacialmente não correlacionado
Structured variance	$C$	Sill ( $s$ ) menos Nugget variance ( $C_0$ )
Gradiente	$m$	A inclinação para $\gamma(h)$ com um componente linear

Fonte: Adaptado de Curran e Atkinson, 1998.

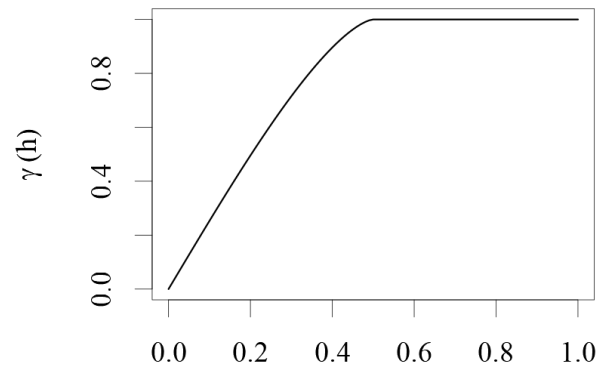


Figura 2 – Funções correlação. a. Cauchy, b. Circular, c. Cubic, d. Exponential, e. Gaussian, f. Geniting, g. Matern, h. Powered Exponential, i. Pure Nugget, j. Spherical, k. Wave



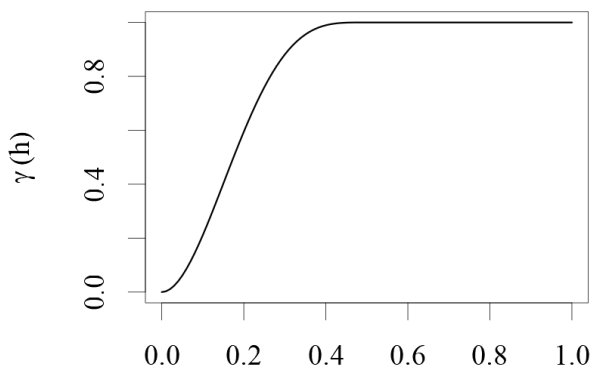
Distância (h)

(a)



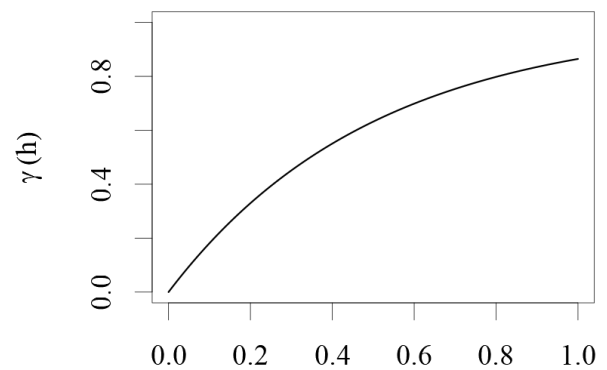
Distância (h)

(b)



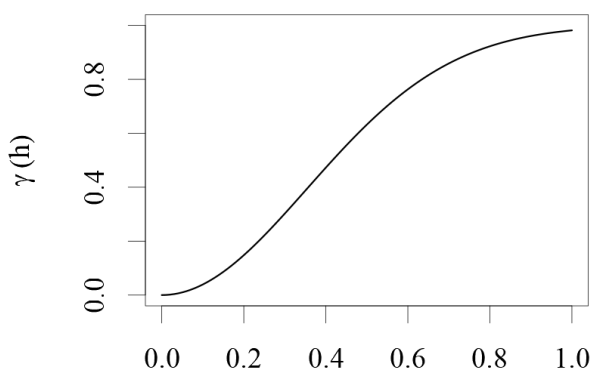
Distância (h)

(c)



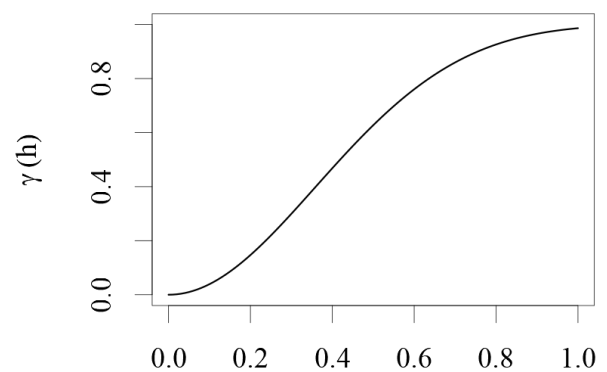
Distância (h)

(d)



Distância (h)

(e)

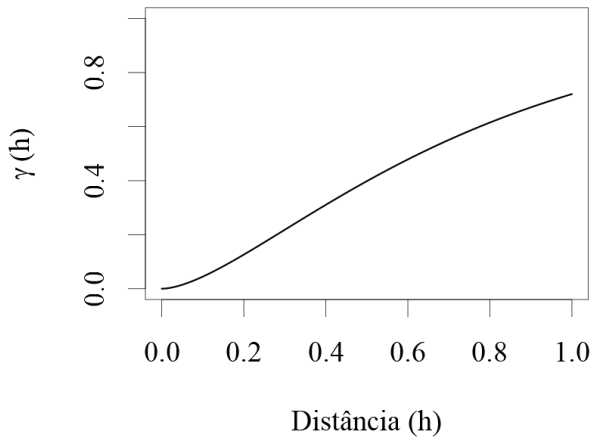


Distância (h)

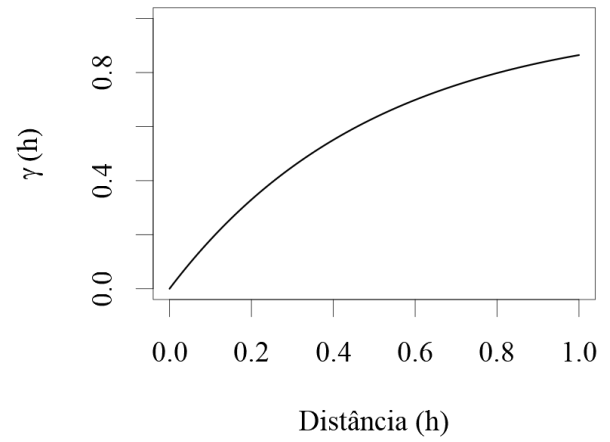
(f)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

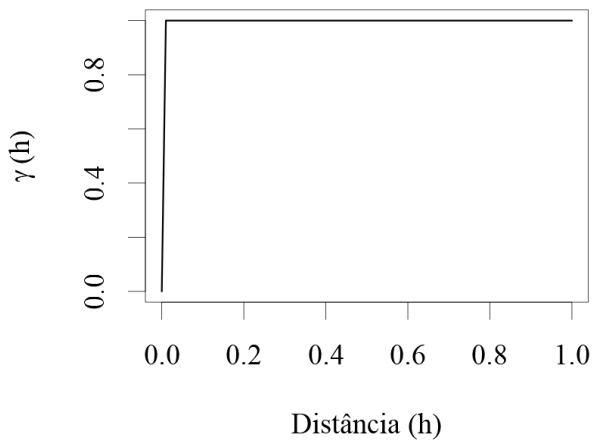
Figura 3 – Funções correlação. a. Matern, b. Powered Exponential, c. Pure Nugget, d. Spherical, e. Wave



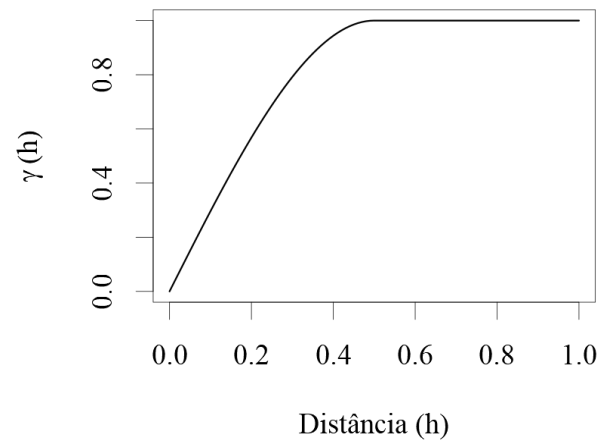
(a)



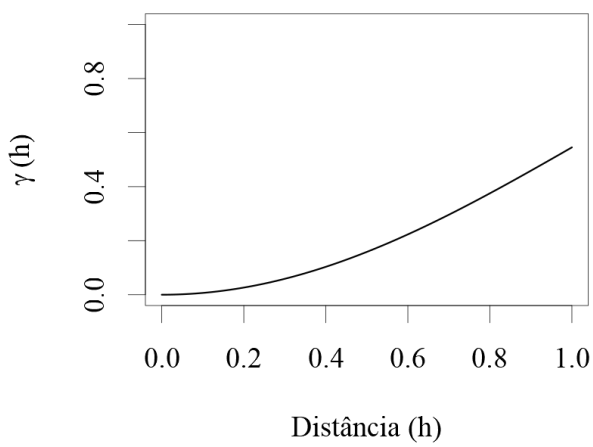
(b)



(c)



(d)



(e)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 2.5.2 Anisotropia

A anisotropia é uma característica muito frequente nos elementos da natureza, a distribuição espacial e a variabilidade dos elementos ocorrem com intensidades diferentes mediante a direção.

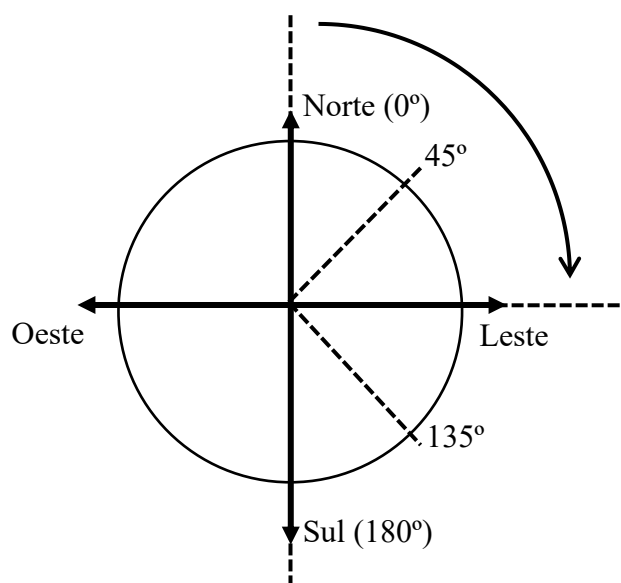
A litologia das formações geológicas exerce influência significativa na ocorrência da anisotropia. Em ambos os planos, horizontal e vertical, a condutividade hidráulica apresenta taxas diferentes devido as formações heterogêneas. O fluxo de água subterrânea medeia vários processos geológicos, geofísicos e biológicos em ambientes subterrâneos rasos e profundos (ZLOTNIK *et al.*, 2011; INGEBRITSEN *et al.*, 1989).

Nas águas subterrâneas, por exemplo, ao mapear o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  dentro de uma região de interesse, é pouco provável que tal parâmetro hidroquímico seja equidistante em todas as direções.

Para identificar a anisotropia o modelo proposto deve abordar a variabilidade espacial da variável em estudo, dessa forma a geoestatística é uma poderosa ferramenta.

A anisotropia pode ser constatada através da observação dos variogramas obtidos para diferentes direções. As convenções direcionais usadas na geoestatística são mostradas em Figura 4.

Figura 4 – Convenções direcionais usadas em geoestatística.

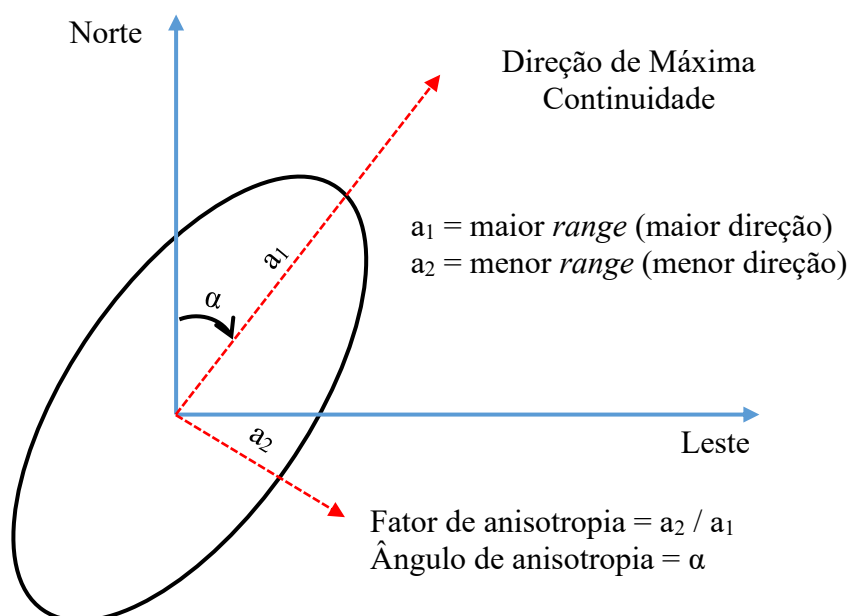


Fonte: Adaptado de Deutsch e Journel (1997).

A *anisotropia* pode ser de três tipos: a geométrica, a zonal e a mais comum a combinada, uma junção da geométrica com a zonal.

Por meio do esboço gráfico de uma elipse a anisotropia geométrica pode ser identificada, através dos alcances obtidos em direções distintas (Figura 5). Para o eixo maior da elipse, denominado direção de máxima continuidade, aplica-se o maior *range* ( $a_1$ ). O ângulo da direção de máxima continuidade é definido a partir da direção Norte e no sentido horário. Seu valor corresponde à direção de maior alcance. O eixo menor define o *range* ( $a_2$ ) na direção de menor continuidade, sendo este ortogonal à direção principal (DEUTSCH; JOURNEL, 1997).

Figura 5 – Representação gráfica da anisotropia geométrica em duas dimensões



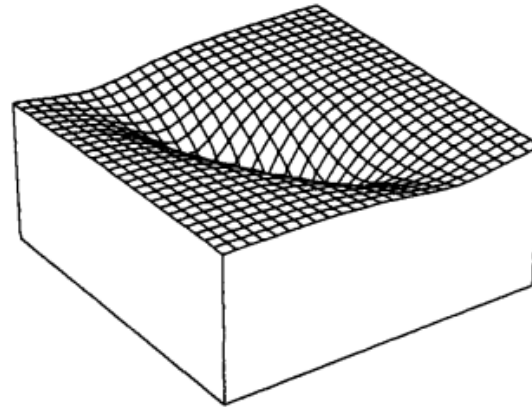
Fonte: Adaptado de Deutsch e Journel (1997).

O fator de anisotropia geométrica é definido como a razão entre o alcance na direção de menor continuidade ( $a_2$ ) e o alcance na direção de maior continuidade ( $a_1$ ). Neste caso, o fator de anisotropia geométrica é sempre menor que 1 e o ângulo de anisotropia é igual ao ângulo da direção de máxima continuidade.

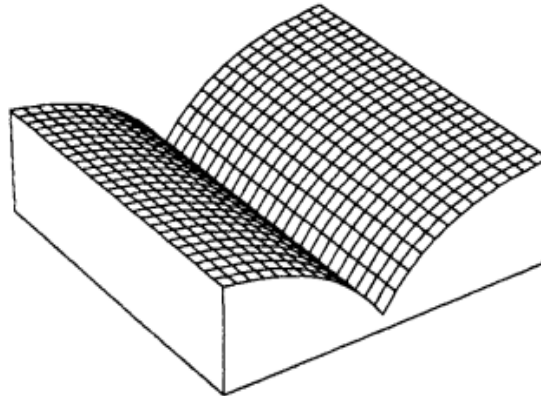
A anisotropia zonal pode ser considerada como um caso particular da anisotropia geométrica, ao se supor um fator de anisotropia muito grande. Nesta condição, o alcance implícito na direção de menor continuidade é muito grande. A estrutura do variograma é então adicionada somente para a direção de maior continuidade (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

As Figuras 6a, 6b e 6c, ilustram uma anisotropia geométrica, na qual o *range* muda com a direção enquanto o *sill* permanece constante, uma anisotropia zonal, o *range* não muda com a direção enquanto o *sill* é variável, e uma combinação das anisotropias zonal e geométrica, respectivamente.

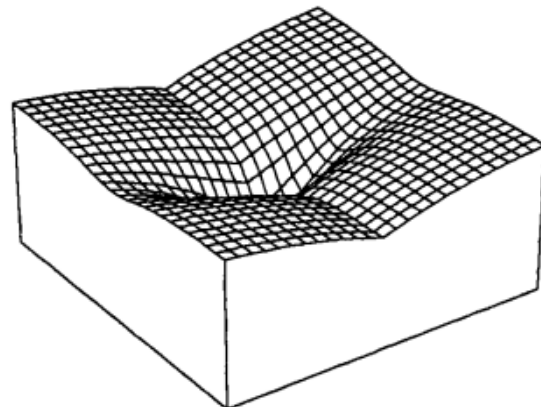
Figura 6 – Visualização da anisotropia. a. Geométrica, b. Zonal, c. Combinada



(a)



(b)

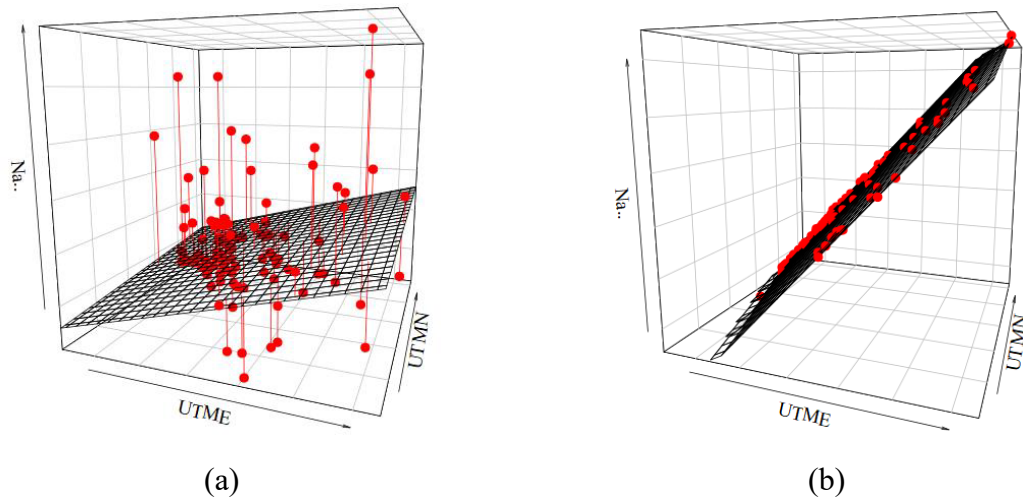


(c)

Fonte: Adaptado de Isaaks e Srivastava (1989).

Os parâmetros hidroquímicos mediante a variabilidade espacial, quando identificado a anisotropia, precisam ser adequados a espacialidade (malha: UTME x UTMN) por meio da retirada dos resíduos, em relação a malha (Figuras 7a e 7b). Os resíduos (Figura 7a), podem ser significativamente determinados com métodos estatísticos lineares ou não-lineares (e.g. regressão linear de 1ª ordem, regressão não linear de 2ª ordem) (ABAURREA *et al.*, 2011; ANSELIN *et al.*, 2004; HAINING, 2003).

Figura 7 – Exemplo de adequação a malha



Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 3 ÁREA DE ESTUDO

Este capítulo descreve a área de estudo quanto a localização, a fisiografia e a litoestratigrafia.

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

Os municípios Abaiara (AB), Barbalha (BB), Brejo Santo (BS), Crato (CT), Juazeiro do Norte (JN), Missão Velha (MV), Milagres (ML) e Porteiras (PT) localizados na Bacia Sedimentar do Cariri Cearense, exploram água dos Sistemas Aquíferos Médio e Inferior para abastecimento público e privado. É uma região economicamente rica onde o abastecimento doméstico, agrícola, pastoril e industrial é quase exclusivamente proveniente da água subterrânea (IPECE, 2011).

A região apresenta clima variando de tropical quente semiárido a tropical quente subúmido, de temperatura média de 24 a 26 °C, com período chuvoso ou “inverno” de janeiro a maio, e seco ou “verão” perdurando o restante do ano. Todos os municípios estão localizados na bacia hidrográfica do Salgado, estando o município do Crato, inserido em parte na bacia do Alto Jaguaribe e parte no Salgado. A precipitação pluvial média (mm) anual no ano de 2011 foi de  $\bar{x} = 945,5$ , e coeficiente de variação,  $CV(x) = 15\%$ .

Segundo o Sistema de Informações Territoriais, os municípios da área de estudo apresentam as características apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Características dos municípios do estudo de caso

Municípios	População – 2010		Índice de Desenvolvimento Humano – 2010
	Urbana	Rural	
Abaiara	4.552	5.944	0,628
Barbalha	38.022	17.301	0,683
Brejo Santo	28.055	17.138	0,647
Crato	100.916	20.512	0,713
Juazeiro do Norte	240.128	9.811	0,694
Milagres	13.556	14.760	0,628
Missão Velha	15.419	18.855	0,622
Porteiras	6.189,00	8.872,00	0,622
<b>Total</b>	<b>446.837</b>	<b>113.193</b>	
<b>Média IDH</b>	<b>0,655</b>		

Fonte: SIT (2015); IBGE (2010).

Em 2010, pelo censo IBGE, foi registrada uma população, residente na região, de 560.030 habitantes com IDH médio de 0,655. Juazeiro do Norte apresentou a maior população urbana e densidade demográfica, com respectivamente 240.128 habitantes e 1.006,91 habitantes/km<sup>2</sup>. Crato apresentou a maior população rural com 20.512 habitantes e Abaiara a menor densidade demográfica com 49,08 habitantes/km<sup>2</sup>.

Fisiograficamente a Bacia Sedimentar do Cariri Cearense pode ser distinguida em três zonas: (i) zona de Chapada, (ii) zona de Talude e (iii) zona de Pediplano, mostrando características peculiares do ponto de vista da litologia, relevo, clima, hidrografia e vegetação (BARRETO Jr. *et al.*, 2020; SILVESTRE *et al.*, 2017, DNPM, 1996):

- (i) Zona de Chapada (Chapada do Araripe): é constituída de arenitos da Formação Exu e apresenta relevo quase plano. Devido ao solo arenoso, a infiltração é muito rápida. Após poucas horas de chuva intensa, não se registra acumulação de água na superfície. No topo da Chapada praticamente não existe drenagem superficial. Entretanto, a presença de camadas de argila na Formação Exu possibilita a existência de aquíferos suspensos que alimentam “cacimbas”, utilizadas para o abastecimento de pequenas comunidades. Na zona da Chapada, a vegetação nativa é uniforme, densa e de médio a grande porte.
- (ii) Zona de Talude: circunvizinha a base da Chapada incluindo as Formações Arajara e Santana. O solo nativo é de baixa acidez e espesso, pouco permeável e bastante fértil, com drenagem relativamente densa e ramificada, esta zona possui uma vegetação exuberante. Nas interações entre Exu/Arajara e



Arajara/Santana localizam-se fontes onde a resistência ao fluxo d'água é baixa, sendo estas fontes utilizadas para a irrigação e abastecimento municipal.

- (iii) Zona de Pediplano ou Depressão Sertaneja (Vale do Cariri): compõe uma vasta depressão, constituída por falésias da Chapada do Araripe e arenitos siluro-devonianos da Formação Mauriti. Esta zona reúne as Formações Rio da Batateira, Abaiara, Missão Velha e Brejo Santo, estando esta composição ora sobre os arenitos da Formação Mauriti e ora sobre as rochas do embasamento cristalino. Os solos podem ter uma composição argilo-síltica-arenosa (Formações Rio da Batateira e Abaiara), arenosa (Formação Missão Velha) e argilosa (Formação Brejo Santo). A caatinga é a vegetação nativa.

Um dos principais cursos d'água que drenam o Vale do Cariri é o Rio da Batateira, afluente do Rio Salgado, possui riachos alimentados de forma perene pelas fontes da Chapada. Os municípios da região estão predominantemente às margens dos rios. Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha exploram água principalmente deste aquífero, formação presente em quase toda a Bacia (MACHADO *et al.*, 2008).

### **3.1.1 Litoestratigrafia da área em estudo**

Ao longo dos anos (1913 – 1990), com o avanço dos estudos na Bacia do Araripe, as colunas estratigráficas sofreram modificações quanto as suas divisões e subdivisões (ASSINE, 1992). A proposta adotada por Ponte e Appi (1990) ainda é bastante utilizada nos dias atuais, por conciliar duas concepções estratigráficas distintas (VERÍSSIMO; AGUIAR, 2005):

- (i) o moderno enfoque da estratigrafia genética, que parte da identificação de sequências tectonoestratigráficas naturais e dos sistemas deposicionais que as incluem.
- (ii) o enfoque descritivo da litoestratigrafia formal.

Dessa forma, adotou-se o proposto por Ponte e Appi, 1990 (Quadro 2), conciliando com o esboço estratigráfico de uma seção geológica na direção SW-NE (Mapa 1) apresentado por Machado (2004).

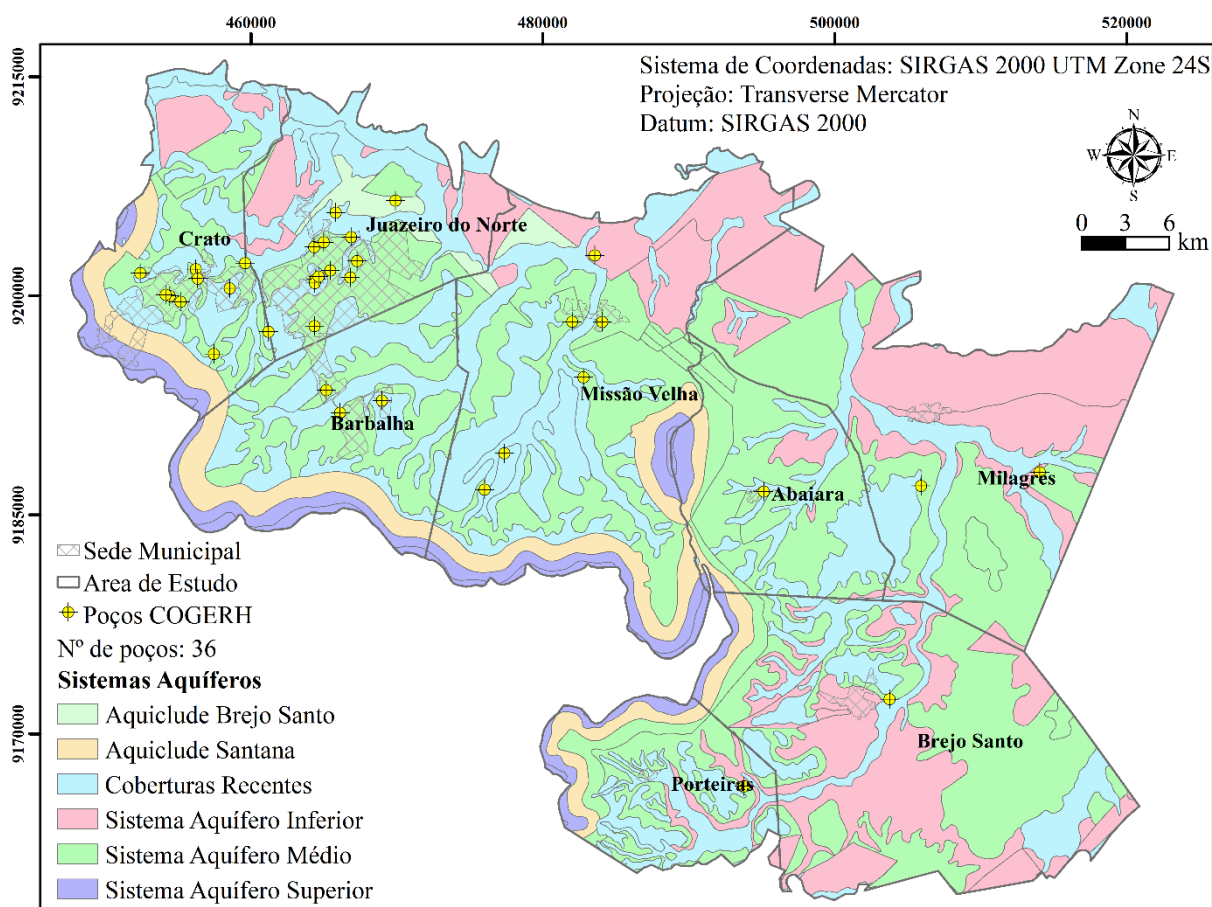
Quadro 2 – Coluna estratigráfica bacia sedimentar do Araripe

<b>Coluna Estratigráfica – Formação</b>		<b>Hidroestratigrafia</b>
Exu		Aquífero (Sistema Aquífero Superior)
Arajara		
Santana	Membro Romualdo	Aquitardo
	Membro Ipubi	
	Membro Crato	
Rio da Batateira		Aquífero (Sistema Aquífero Médio)
Abaiara		
Missão Velha		
Brejo Santo		Aquitardo
Mauriti		Aquífero (Sistema Aquífero Inferior)

Fonte: PONTE e APPI, 1990; COGERH/GOLDER-PIVOT, 2002.

A Bacia Sedimentar do Cariri Cearense, divide-se em três sistemas aquíferos (Mapa 1), Superior, Médio e Inferior, apresentando uma diversificação litológica caracterizada por sequências alternadas de arenitos, siltitos, calcários, argilitos e folhelhos, podendo alcançar uma espessura da ordem de 1.600 m (IPECE, 2015; ASSINE, 2007; ASSINE, 1992). A diversidade litoestratigráfica propicia a formação de uma alternância de aquíferos, com características variáveis. A depender da localização, seus maiores aquíferos possuem poços de profundidade média de 78 m e máxima de 250 m (MONT'ALVERNE *et al.*, 1996).

Mapa 1 – Sistemas de aquíferos da bacia sedimentar do Cariri cearense



Fonte: Base geológica elaborada a partir de CPRM (2007).

O Sistema Aquífero Superior contém as Formações Exu e Arajara, com espessura aproximada de 320 m e condutividade hidráulica média de respectivamente  $3 \cdot 10^{-5}$  m/s e  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s. É um Sistema Aquífero livre constituído basicamente por arenitos, de modo que as rochas nas áreas de recarga devem apresentar baixa dissolução de sais, pois as águas armazenadas nos interstícios apresentam baixa condutividade elétrica e relativa alta concentração de bicarbonatos, oriundos do contato do aquífero com o gás carbônico do subsolo (CERLING *et al.*, 1991). A maior fonte de  $\text{CO}_2$  no solo é produzida pela respiração de micro-organismos nos processos de decomposição da matéria orgânica (SCHOELLER, 1977).

A Formação Exu ( $\approx 200$  m) é constituída por camadas de argilitos (argilas compactadas com aluminossilicatos, compostos de alumínio, silício e oxigênio) e siltitos (composto principalmente por quartzo, feldspato, mica e argila, apresenta em sua composição potássio, silício, magnésio) às quais se sobrepõem os arenitos argilosos (areias aglutinadas por um cimento argiloso), de granulometria variável, permeáveis, de coloração clara (branca a cinza) nas partes não alteradas e de coloração vermelha nas áreas atingidas pelo intemperismo,

os solos derivados destes arenitos são constituídos por 99 % de quartzo hialino com grãos de aderência ferruginosa e 1 % de concreções ferroargilosas e ferruginosas (JACOMINE *et al.*, 1973). A cimentação é o fator preponderante na determinação da consolidação de um arenito. Os agentes cimentantes mais comuns são o quartzo, a calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e a dolomita ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ). Esta Formação possui topografia plana na maior parte de sua área (BARRETO Jr. *et al.*, 2020; ASSINE, 1992).

A Formação Arajara ( $\approx 100$  m) sotoposta a Formação Exu, é constituída por uma sequência de siltitos, argilitos e arenitos argilosos finos, com litofáceis típicas de ambientes lacustres rasos. Assume-se para esta Formação uma mineralogia semelhante a Formação Exu, devido ambas terem litologias semelhantes. A condutividade elétrica de aproximadamente  $85 \mu\text{S}/\text{cm}$  das águas explotadas por poços tubulares e “cacimbas” neste aquífero reforça a perspectiva de semelhança desta Formação com a Formação Exu (MENDONÇA, 2001). No Aquífero Arajara ocorrem os mais importantes eventos hidrogeoquímicos do fluxo regional (MACHADO *et al.*, 2004). O contato inferior da Formação Arajara com o Membro Romualdo é gradacional, enquanto que com a Formação Exu sobreposta é bem marcado por uma discordância erosiva regional, segundo SILVA (1986). Trata-se de uma unidade contínua, de ambientes lagunares e marinhos litorâneos, que aflora por toda a extensão da bacia, bordejando o sopé da escarpa da chapada do Araripe. A sua espessura é de difícil determinação, uma vez que se encontra quase sempre recoberta por depósitos de tálus provenientes da Formação Exu. Alguns poços perfurados indicam espessuras entre 36 e 100 metros (VERÍSSIMO; AGUIAR, 2005).

O Aquitardo Santana possui espessura próxima a 180 m e condutividade hidráulica média estimada de  $10^{-10}$  m/s. É formado principalmente por calcários (calcita:  $\text{CaCO}_3$ ) e evaporitos compostos de sulfato de cálcio (gipsita:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e anidrita:  $\text{CaSO}_4$ ), minerais com alta solubilidade, de modo que os íons destes sais podem atuar como elementos traçadores da evolução hidrogeoquímica do fluxo regional da água subterrânea encontrada na base do sistema deposicional, nomeada Formação Mauriti (MACHADO *et al.*, 2002; RIBEIRO *et al.*, 1996). Parte da água subterrânea proveniente do aquífero Arajara passa pelo Aquicludo Santana, através das fraturas geológicas que atravessam suas rochas (MACHADO, 2008). É constituída pelos membros Crato, Ipubi e Romualdo, da base para o topo (FAMBRINI *et al.*, 2020; VERÍSSIMO; AGUIAR, 2005):

- (i) o Membro Crato constitui um pacote com espessura variando de 90 a 100 metros, compreendendo folhelhos cinza, calcíferos, laminados e calcários cinza

claro e bege, argilosos e finamente laminados. Representa fácies de um sistema deposicional lacustre.

- (ii) o Membro Ipubi constitui-se predominantemente por bancos estratiformes de gipsita, com intercalações de folhelhos cinza e verdes, típicos de ambientes transicionais predominantemente evaporíticos. Todo o conjunto tem, em média, uma espessura de 30 metros. Trata-se da unidade de maior interesse econômico na bacia do Araripe.
- (iii) o Membro Romualdo é composto por folhelhos e margas fossilíferas cinza esverdeadas, onde ocorre um horizonte intercalado rico em concreções carbonáticas de dimensões variadas, contendo na sua maioria peixes fósseis de alto valor científico e econômico. Seu ambiente de formação é lagunar e marinho raso com espessura de até 5 metros.

No Sistema Aquífero Médio fazem parte as Formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha e detém a maior espessura ( $\pm 500$  m) e condutividade hidráulica média de  $5.10^{-5}$  m/s.

A Formação Rio da Batateira é constituída por bancos de arenitos fluviais médios a grosseiros, gradando ascendentemente para arenitos médios a finos, siltitos argilosos bem estratificados e se encerrando com uma seção de folhelhos negros, orgânicos e fossilíferos. Constitui um sistema fluviolacustre com espessura média da ordem de 200 metros no vale do Cariri.

A Formação Abaiara reúne arenitos micáceos argilosos, finos a médios, intercalados com siltitos e folhelhos castanhos, cinzentos e verdes, bem estratificados, contendo delgadas camadas de carbonatos impuros. A associação corresponde a um sistema deposicional fluviolacustre sintectônico. Possui áreas de exposição modestas e restritas ao vale do Cariri.

Nesse contexto, tanto a Formação Abaiara, no Sistema Aquífero Médio, quanto a Formação Arajara, no Sistema Aquífero Superior, são constituídas em parte por argilitos e siltitos, que possivelmente poderão contribuir no processo de troca iônica da água circulante (DNPM, 1996).

A Formação Missão Velha é constituída de arenitos grossos, mal selecionados, às vezes conglomeráticos, com estratificação cruzada tabular e acanalada de pequeno porte, brancos e amarelados, portadores de troncos e fragmentos de madeira silicificada. Possui intercalações métricas de siltitos arroxeados. Representa uma associação de arenitos fluviais, predominantemente anastomosados, mostrando uma sucessão de ciclos deposicionais

granodécrescentes desde a base até o topo. Esta formação coincide com a unidade hidroestratigráfica denominada Aquífero Missão Velha, onde estão instalados a maioria dos poços tubulares profundos na região, o que justifica o interesse específico nesta unidade para o desenvolvimento dos serviços no projeto.

O Aquífero Brejo Santo tem espessura aproximada de 400 m. Inclui na sua base, arenitos finos, siltitos e argilitos vermelhos alternados, com intercalações ocasionais de arenitos finos vermelhos de origem fluvial, lacustre e secundariamente eólica. A parte superior é constituída por argilitos e folhelhos vermelhos ou marrons, bem estratificados e raros leitos de folhelhos verdes, representando uma associação tipicamente lacustre rasa.

As Formações Abaiara, Missão Velha e Brejo Santo, constitui um pacote que preenche grábens e recobre horsts na região, controlados por uma série de falhas NE e NW (Mapa 1) (VERÍSSIMO; AGUIAR, 2005).

O Sistema Aquífero Inferior contempla a Formação Mauriti (com condutividade hidráulica média estimada de  $4.10^{-6}$  m/s), além da parte basal da Formação Brejo Santo, com 60 a 100 m de espessura (DNPM 1996, MONT'ALVERNE *et al.*, 1996). Ele constitui a base da coluna sedimentar da bacia do Araripe e tem presumível idade siluro-devoniana. É constituída por remanescentes de uma vasta cobertura de sedimentos terrígenos preservados em depressões do escudo cristalino, repousando diretamente sobre o embasamento. Representa um sistema deposicional fluvial entrelaçado e eólico, onde se observa a predominância de arenitos quartzosos, grossos a médios, mal selecionados e contendo camadas conglomeráticas, com seixos de até 3 cm de quartzo de origem fluvial sobre os arenitos finos de origem eólica (DNPM, 1996).

A Formação Mauriti aflora nas bordas da bacia sedimentar, apresentando-se como aquífero livre, já no seu centro é encontrada a uma profundidade de cerca de 1.450 m, de acordo com os dados do poço pioneiro 2-AP-01-CE, perfurado pela PETROBRAS no município de Araripe-CE. Ao longo da bacia sedimentar, as águas armazenadas neste aquífero apresentam diferentes composições químicas, revelando dissolução de sais como decorrência do tempo de contato da água com rocha e/ou percolação profunda através de fraturas em outros ambientes geológicos (MACHADO *et al.*, 2002).

Os Grabens e Horsts da Bacia Sedimentar do Araripe propiciam interconexões entre os sistemas aquíferos através das falhas geológicas produzindo um fluxo regional. Este fluxo de água subterrânea acontece a partir de seu topo – Formação Exu, para a base – Formação Mauriti, em direção ao Vale do Cariri, de modo que em contato com o embasamento cristalino,

a água da formação Mauriti pode ser um produto evolucionário da história das águas que percolam por todas as outras formações.

#### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada utilizou três etapas: (i) a identificação de processos e mecanismos hidroquímicos, (ii) a análise por componentes principais e análise de agrupamento, (iii) a modelagem espacial de parâmetros hidroquímicos.

Os dados utilizados nesta pesquisa são de natureza secundária, coletados do relatório da COGERH (2011), referentes a 36 poços (Tabela 4), localizados na Bacia Sedimentar do Cariri Cearense, divididos em dois meses (janeiro – chuvoso e julho – seco) de 2011. As variáveis analisadas foram potencial hidrogeniônico – pH, condutividade elétrica – CE, Sólidos Totais Dissolvidos – STD, Dureza – D, Cálcio –  $\text{Ca}^{2+}$ , Magnésio –  $\text{Mg}^{2+}$ , Sódio –  $\text{Na}^+$ , Potássio –  $\text{K}^+$ , Bicarbonato –  $\text{HCO}_3^-$ , Cloreto –  $\text{Cl}^-$ , Sulfato –  $\text{SO}_4^{2-}$ , Nitrito –  $\text{NO}_2^-$  e Nitrato –  $\text{NO}_3^-$ .



Tabela 4 – Cadastro de poços utilizados na pesquisa

Poços	Coordenadas		Profundidade (m)	Unidade Geológica	Formação Superficial
	UTME	UTMN			
AB1	495145	9186612	70,0	Cretáceo	Abaiara
BB2	465175	9193548	88,0	Cretáceo	Rio da Batateira
BB8	466123	9191997	134,0	Cenozoico Quaternário	Aluviões
BB11	468988	9192836	100,0	Tércio-Quaternário	Coberturas Recentes
BS1	503763	9172385	60,0	Jurássico	Missão Velha
CT1	456231	9201837	*	Cenozoico Quaternário	Aluviões
CT2	461212	9197545	107,5	Tércio-Quaternário	Coberturas Recentes
CT3	458560	9200515	150,0	Tércio-Quaternário	Coberturas Recentes
CT4	454458	9199989	*	Cretáceo	Rio da Batateira
CT5	459613	9202250	*	Cretáceo	Rio da Batateira
CT6	456359	9201195	*	Cretáceo	Rio da Batateira
CT8	452429	9201565	118,0	Cretáceo	Rio da Batateira
CT13	457476	9196033	111,0	Cretáceo	Rio da Batateira
CT14	455188	9199608	109,0	Cretáceo	Rio da Batateira
CT17	454168	9200085	80,0	Cretáceo	Rio da Batateira
JN1	469922	9206529	110,0	Jurássico	Brejo Santo
JN2	465821	9205713	80,0	Jurássico	Brejo Santo
JN3	464453	9201152	110,0	Tércio-Quaternário	Coberturas Recentes
JN9	467287	9202396	65,0	Cretáceo	Rio da Batateira
JN11	464343	9203351	16,0	Cretáceo	Rio da Batateira
JN15	464366	9197932	101,0	Cretáceo	Rio da Batateira
JN18	464998	9203678	84,0	Cretáceo	Rio da Batateira
JN21	466875	9204032	8,0	Cretáceo	Rio da Batateira
JN22	465455	9201742	*	Cretáceo	Rio da Batateira
JN24	464386	9200875	108,0	Tércio-Quaternário	Coberturas Recentes
JN25	464652	9201339	70,0	Tércio-Quaternário	Coberturas Recentes
JN29	466816	9201270	140,0	Cretáceo	Rio da Batateira
ML1	514056	9187918	60,0	Jurássico	Missão Velha
ML2	505922	9186996	*	Jurássico	Missão Velha
MV1	477381	9189222	100,0	Tércio-Quaternário	Coberturas Recentes
MV2	482790	9194422	70,0	Cenozoico Quaternário	Aluviões
MV3	483565	9202774	160,0	Siluriano	Mauriti
MV4	476020	9186739	*	Cenozoico Quaternário	Aluviões
MV7	484086	9198222	90,0	Jurássico	Missão Velha
MV13	482019	9198234	180,0	Cretácio	Rio da Batateira
PT1	493809	9166424	84,0	Jurássico	Brejo Santo

Obs.: \* profundidade não disponível

Fonte: COGERH (2011) e CPRM (2007).

#### 4.1 Identificação de processos e mecanismos hidroquímicos (Etapa 1)

Os procedimentos analíticos seguiram os métodos descritos em APHA (2003). A eletroneutralidade das amostras foi computada conforme descrito em Tchobanoglous e Schroeder (1985). Para o balanço iônico admitiu-se um erro máximo de 10 % (TYAGI; SARMA, 2021; WU *et al.*, 2014; GÜLER *et al.*, 2002).

Os parâmetros hidroquímicos nos períodos chuvoso e seco (grupos) apresentaram como características, variáveis quantitativas contínuas pareadas (mesmo tamanho da amostra,  $n = 36$ ), por conseguinte foram verificadas a homogeneidade pelo teste de Levene (DERRICK *et al.*, 2018; GASTWIRTH *et al.*, 2009; LEVENE, 1960), a normalidade pelo teste de Shapiro (ROYSTON, 1995; ROYSTON, 1982) e a similaridade, caso os dados tendam a normalidade pelo teste ANOVA (CHAMBERS; HASTIE, 1992), caso contrário, pelo teste de Wilcoxon-Mann-Whitney (HOLLANDER; WOLFE, 1999; BAUER, 1972).

Para interpretação das fácies hidroquímicas empregou-se o diagrama de Piper (1944), construído a partir do software R (R Core Team, 2020) pacote smwrGraphs (LORENZ; DIEKOFF, 2016). Em auxílio ao diagrama de Piper aplicou-se o diagrama de Chadha (1999), dividido em oito subcampos, cada um representando um tipo de água, foram verificados os cátions, alcalinos terrosos [ $rCa^{2+} + rMg^{2+}$ ] e metais alcalinos [ $rNa^+ + rK^+$ ], e os ânions fracos [ $rHCO_3^- + rCO_3^{2-}$ ] e fortes [ $rCl^- + rSO_4^{2-}$ ]. Os campos do diagrama de Chadha (1999) foi dividido em: (i) alcalinos terrosos excedem metais alcalinos; (ii) metais alcalinos excedem metais alcalinos; (iii) ânions ácidos fracos excedem ânions ácidos fortes; (iv) ânions ácidos fortes excedem ânions ácidos fracos; (v) alcalinos terrosos e ânions ácidos fracos excedem ambos alcalinos metálicos e ânions ácidos fortes, respectivamente; (vi) alcalinos terrosos excedem alcalinos metálicos e ânions ácidos fortes excedem ânions ácidos fracos; (vii) alcalinos metálicos excedem alcalinos terrosos e ânions ácidos fortes excedem ânions ácidos fracos; (viii) alcalinos metálicos excedem alcalinos terrosos e ânions ácidos fracos excedem ânions ácidos fortes.

Para estimar os processos dominantes para a composição da matriz iônica nas águas estudadas foi utilizado o diagrama de Gibbs (1970). Os gráficos interpretados foram construídos com base nos pares: cátions  $\rightarrow [(rNa^+ + rK^+) / (rNa^+ + rK^+ + rCa^{2+})] \times STD$  e ânions  $\rightarrow [rCl^- / (rCl^- + rHCO_3^-)] \times STD$  (ALAM, 2013; MADHAV *et al.*, 2018). O diagrama de Gibbs é amplamente usado para avaliar as fontes funcionais de constituintes dissolvidos, como dominância de precipitação, dominância de rocha e dominância da evaporação.

Para a verificação da desdolomitização ( $D_{edo}$ ), a possibilidade de substituição da dolomita pela calcita de acordo com a Equação 2, foi utilizada a Equação 3 em meq/L (ESCORCIA *et al.*, 2013; HOUNSLOW, 1995).



$$D_{edo} = (r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}) / r\text{SO}_4^{2-}, \text{ para } 0,8 > D < 1,2 \quad (3)$$

Os índices cloro-alcálicos (Equações 4 e 5) foram computados conforme Schoeller (1977) e Subramani *et al.* (2009), em meq/L, para verificar as trocas iônicas ocorridas no litoambiente com as águas. A troca iônica reversa ocorre quando CAI 1 e CA 2 forem negativos.

$$\text{CAI 1} = [r\text{Cl}^- - (r\text{Na}^+ + r\text{K}^+) ] / r\text{Cl}^- \quad (4)$$

$$\text{CAI 2} = [r\text{Cl}^- - (r\text{Na}^+ + r\text{K}^+) ] / (r\text{SO}_4^{2-} + r\text{HCO}_3^- + r\text{CO}_3^{2-} + r\text{NO}_3^-) \quad (5)$$

Para avaliar a possível influência do intemperismo na hidroquímica foi empregado o método proposto por Wagh *et al.* (2019), que avalia a relação entre os íons  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{HCO}_3^-$  em meq/L de acordo com as Equações 6 e 7:

$$(r\text{Ca}^{2+} / r\text{Na}^+) \times (r\text{Mg}^{2+} / r\text{Na}^+) \quad (6)$$

$$(r\text{Ca}^{2+} / r\text{Na}^+) \times (r\text{HCO}_3^- / r\text{Na}^+) \quad (7)$$

Um modelo de especificação foi usado para determinar o grau de saturação da água subterrânea em relação a alguns minerais, halita, gipsita, dolomita e calcita, identificando a prevalência dos minerais de maior nível de saturação nos períodos chuvoso e seco. O software utilizado foi o WATEQ4F (BALL; NORDSTROM, 1992; PLUMMER *et al.*, 1976).

#### 4.2 Análise por componentes principais e análise de agrupamento (Etapa 2)

A análise por componentes principais (APC) foi empregada para identificar os parâmetros que melhor explicam suas relações com as águas dos poços em estudo, conforme a variância explicada e o índice KMO (verificação da adequação dos dados à análise).

Na análise de agrupamento hierárquico (análise de conglomerados ou *clusters analysis*) os dados foram testados pelo método estatístico de Hopkins (LAWSON, 1990). Método empregado para avaliar a tendência de agrupamento de um conjunto de dados, adotou-se como hipótese nula,  $h_0$ , o conjunto de dados X é uniformemente distribuído e não possui clusters significativos, e como hipótese alternativa,  $h_1$ , o conjunto de dados X não está uniformemente distribuído e contém clusters significativos. Se o valor da estatística de Hopkins (LAWSON, 1990) for menor que 0,5, ou seja, a distribuição difere de uma distribuição normal, podemos rejeitar a hipótese nula e concluir que o conjunto de dados X é significativamente

agrupável. Quanto mais próximo de zero for o valor de Hopkins (LAWSON, 1990) maior a tendência de clusterização.

Posteriormente, para a construção dos agrupamentos, por meio de dendrogramas, foram testadas a correlação entre técnicas de aglomeração e dissimilaridade. Oito técnicas de aglomeração foram utilizadas: *ward.D*, *ward.D2*, *single*, *complete*, *average*, *mcquitty*, *median* e *centroid*. Para a matriz de dissimilaridade foram seis tipos de distâncias empregadas: *euclidean*, *maximum*, *manhattan*, *canberra*, *binary* e *minkowski* (MURTAGH; LEGENDRE, 2014). As melhores correlações de Pearson, período chuvoso e seco, entre a aglomeração e a dissimilaridade definiram as melhores técnicas adotadas.

A quantidade ótima de clusters foi dada pelo algoritmo proposto por Charrad *et al.* (2014) no qual foram testados trinta diferentes critérios.

Os agrupamentos formados foram verificados conforme o padrão de potabilidade para o consumo humano pela Portaria GM/MS N° 888/2021 (BRASIL, 2021). A Portaria estabelece o limite de potabilidade de nitrato para o consumo humano em 10 mg/L na forma de nitrogênio (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), ou 45 mg/L, como íon nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Já para o nitrito é estabelecido 1 mg/L na forma de nitrogênio (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> ou 3,3 mg/L como íon (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>). As conversões seguem conforme a Equação 8 para o nitrato e Equação 9 para o nitrito (WHO, 2017; BEZERRA *et al.*, 2017; VON SPERLING, 2014).

$$NO_3^- (mg/L) = 4,43 * N - NO_3^- (mg/L) \quad (8)$$

$$NO_2^- (mg/L) = 3,30 * N - NO_3^- (mg/L) \quad (9)$$

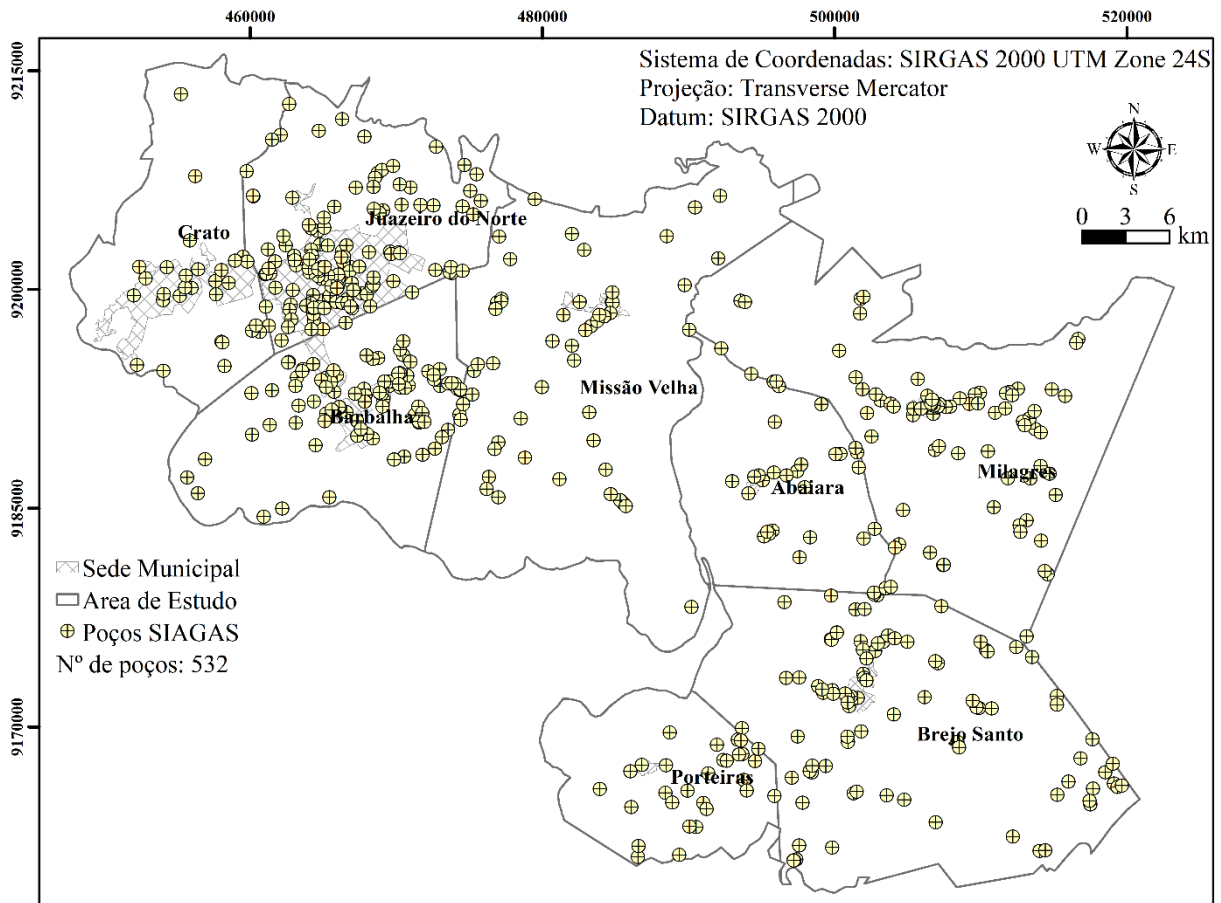
O software utilizado para o desenvolvimento desta etapa foi o R (R Core Team, 2020), para a análise multivariada (pacote *factoextra*) e para a análise de agrupamento (pacote *NbClust*).

### 4.3 Modelagem espacial de parâmetros hidroquímicos (Etapa 3)

Os poços localizados na Bacia Sedimentar do Cariri Cearense captam água no Sistema Aquífero Médio e Inferior nos municípios de Abaiara, Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte, Milagres, Brejo Santo, Missão Velha e Porteiras (Mapa 2). Até o ano de 2011 foram ao todo cadastrados 532 poços no sistema SIAGAS (CPRM, 2018). Verificou-se a ausência de dados importantes (e.g. relatórios de construção dos poços e medidas hidroquímicas), e a falta de consistência no cadastramento de poços. Após a promulgação da Lei n° 8.970 de 28 de dezembro de 1994, foi então desenvolvido o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas –

SIAGAS, constituindo a maior base de poços do país. Este sistema apesar de sua importância apresenta falta de consistência no cadastramento de poços realizados por terceiros, no que diz respeito a confiabilidade dos dados (NASCIMENTO *et al.*, 2008).

Mapa 2 – Poços cadastrados no SIAGAS localizados na área de estudo



Fonte: Baseado nos dados do SIAGAS – CPRM (2018).

O problema da escassez e confiabilidade dos dados impossibilita a aplicação de interpoladores para a geração de mapas que descrevam a espacialidade de parâmetros geoquímicos (LI; HEAP, 2011; APAYDIN *et al.*, 2004), como também afetam no melhor planejamento e investimentos dos recursos hídricos pelos governos municipal, estadual e federal.

Nessa etapa os dados faltantes em alguns poços foram estimados a partir da técnica de imputação múltipla de dados *Predictive Mean Matching* (PMM), uma técnica semiparamétrica implementada pelo pacote MICE no software estatístico R (VAN BUUREN; GROOTHUIS-OUDSHOORN, 2011; VAN BUUREN, 2007), tomando como referência todos

os poços que continham resultados de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), visto que os demais parâmetros contribuem para a sua formação.

A modelagem espacial apresentou as seguintes características: (i) o conjunto total de dados ( $n = 105$ ) (correspondente a soma dos dados da COGERH,  $n = 36$ , com os do SIAGAS, imputados e não imputados,  $n = 69$ ), apresentaram características estatísticas semelhantes aos dados da COGERH, formando uma espacialidade no contexto dos dados tratados nas etapas 1 e 2 desta metodologia; (ii) neste modelo, para o conjunto de dados SIAGAS (imputados e não imputados) não foram desenvolvidas avaliações (e.g. balanço iônico).

Os dados COGERH foram testados estatisticamente com o conjunto de dados COGERH e SIAGAS (imputados e não imputados). Em ambos os períodos chuvoso e seco (grupos) existe a possibilidade destes dados possuírem variáveis quantitativas contínuas e não serem pareados (COGERH com  $n = 36$ ; COGERH + SIAGAS com  $n = 105$ ), neste caso, tal como na etapa 1 desta metodologia, foram verificadas a normalidade pelo teste de Shapiro, a homogeneidade pelo teste de Levene e a similaridade, caso os dados tendam a normalidade pelo teste ANOVA, caso não, pelo teste de Wilcoxon-Mann-Whitney.

O cenário proposto será aceito caso os testes de homogeneidade e similaridade obtiverem, preferencialmente,  $p\text{-valor} > 0,05$ , em último caso,  $p\text{-valor} > 0,01$ . Sendo assim, ter-se-á como hipótese nula,  $h_0$ , o conjunto de dados COGERH e SIAGAS (imputados e não imputados) que apresentam estatisticamente homogeneidade e similaridade aos dados COGERH, e como hipótese alternativa,  $h_1$ , o conjunto de dados COGERH e SIAGAS (imputados e não imputados) que não apresentam estatisticamente homogeneidade e similaridade aos dados COGERH. Para o parâmetro pH, no desenvolvimento dos testes de normalidade, homogeneidade e similaridade, foi utilizada a sua notação não padronizada, dada por  $[H^+] = 10^{-pH}$ , em mol/L.

Na modelagem geoestatística foi desenvolvido um algoritmo capaz de identificar possíveis isotropias e anisotropias na espacialidade dos parâmetros hidroquímicos. O algoritmo foi desenvolvido no ambiente R (R Core Team, 2020) com uso do pacote GeoR, com variogramas calculados para 38 direções, de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  subdivididas em  $5^\circ$ , incluindo também a direção omnidirecional. Nesse procedimento, cada direção foi testada por 11 funções de correlação (*cauchy*, *circular*, *cubic*, *exponential*, *gaussian*, *gneiting*, *matern*, *powered.exponential*, *pure.nugget*, *sph* e *wave*) e 3 tipos de pesos para minimização da função perda (*cressie*, *equal* e *npairs*). Cada parâmetro foi testado 1254 vezes.

O algoritmo desenvolvido foi aplicado aos dados COGERH e SIAGAS (imputados e não imputados), como também em duas outras perspectivas: (i) retirando os resíduos na perspectiva de um direcionamento linear (técnica *trend* linear); (ii) retirando os resíduos na perspectiva de um direcionamento não linear de segunda ordem (técnica *trend* não linear de segunda ordem). Para as perspectivas (i) e (ii) foram utilizadas as Equações 10 e 11, respectivamente.

$$\text{Parâmetro} \sim \text{UTME} + \text{UTMN} \quad (10)$$

$$\text{Parâmetro} \sim \text{UTME} + \text{UTMN} + \text{UTME}^2 + \text{UTMN}^2 + \text{UTME} * \text{UTMN} \quad (11)$$

A técnica de *trend* visa retirar os resíduos entre o ponto (parâmetro do respectivo poço) e a sua espacialidade (localização UTME x UTMN).

A escolha do melhor variograma para cada parâmetro hidroquímico foi definido pelo maior número de *lags* na área gráfica compreendida pelo *nugget*, *sill* e *range*, e pelo menor valor da raiz quadrada média do erro (RMSE) (Equação 12) (CHAI; DRAXLER, 2014; WANG *et al.*, 2014; LI; HEAP, 2011; APAYDIN *et al.*, 2004). O método de interpolação utilizado foi a krigagem ordinária, padrão do pacote GeoR.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_i - z)^2} \quad (12)$$

Em que:  $z$  é o valor predito,  $z_i$  é o valor observado no ponto de amostragem  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) e  $n$  é o número de pontos de amostra.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados e discussões das análises estatísticas, dos processos hidroquímicos, da análise por componentes principais, da análise multivariada, da imputação dos parâmetros faltantes e da modelagem espacial.

### 5.1 Análise estatística e geoquímica das águas subterrâneas

As características estatísticas dos 36 poços, períodos chuvoso e seco, são apresentados em Tabela 5. A análise dos dados indica que o total de cátions ( $TZ^+$ ) e o total de ânions ( $TZ^-$ ) estão significativamente correlacionados, pela seguinte relação, janeiro,  $TZ^+ = 0.1482 + 0.9585 * TZ^-$ ,  $r = 0,991$ , e Julho  $TZ^+ = 0.2391 + 0.9408 * TZ^-$ ,  $r = 0,982$ . Isto implica na insignificância de contribuição de outros íons além dos medidos para o balanço iônico. As variáveis pelo teste de Levene não apresentaram diferença significativa na homogeneidade de variâncias,  $p\text{-valor} > 0,05$  (DERRICK *et al.*, 2018; GASTWIRTH *et al.*, 2009; LEVENE, 1960). Ao comparar os períodos para cada variável por Wilcox foi identificada diferença estatisticamente significativa para pH,  $NO_2^-$  e  $NO_3^-$ ,  $p\text{-valor} < 0,05$ .

Tabela 5 – Estatística descritiva em mg/L

Período	Parâmetro	pH	CE	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Chuvoso Janeiro	Mínimo	3,4	111	61	10,0	0,0	2,4	6,0	4,2	0,0	9,6	0,0	0,4	0,0
	Máximo	7,2	1300	865	480,0	124,0	70,5	78,5	31,7	525,0	281,2	106,8	1,4	151,6
	Média	5,7	445	271	127,4	19,0	19,4	24,7	9,9	104,5	50,9	16,0	0,7	25,0
	Mediana	5,9	327	237	100,0	13,0	15,2	16,9	6,2	72,3	31,3	4,6	0,6	13,5
	CV %	18,2	69	64	78,7	117,7	72,6	77,3	64,0	102,2	108,4	164,5	39,7	138,6
Seco Julho	Mínimo	4,0	90	71	12,0	0,0	1,9	7,7	4,6	0,0	3,9	0,0	0,2	0,0
	Máximo	7,9	1233	839	420,0	131,2	71,9	78,2	29,0	536,3	286,5	128,1	1,5	73,1
	Média	6,4	425	283	130,3	22,8	17,8	26,8	11,0	122,4	52,8	17,3	0,4	12,1
	Mediana	6,5	351	234	100,0	15,2	14,4	18,7	7,6	87,3	34,6	6,0	0,3	1,2
	CV %	15,9	69	63	75,1	104,9	76,5	78,7	66,4	92,6	110,2	167,9	71,4	172,7
Teste de Levene p-valor		0,875	0,872	0,810	0,900	0,690	0,775	0,760	0,585	0,7352	0,894	0,882	0,589	0,184
Teste Shapiro p-valor		0,146	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Wilcox p-valor		*0,0060	0,656	0,750	0,817	0,302	0,562	0,604	0,124	0,370	0,951	0,693	0,000	0,004

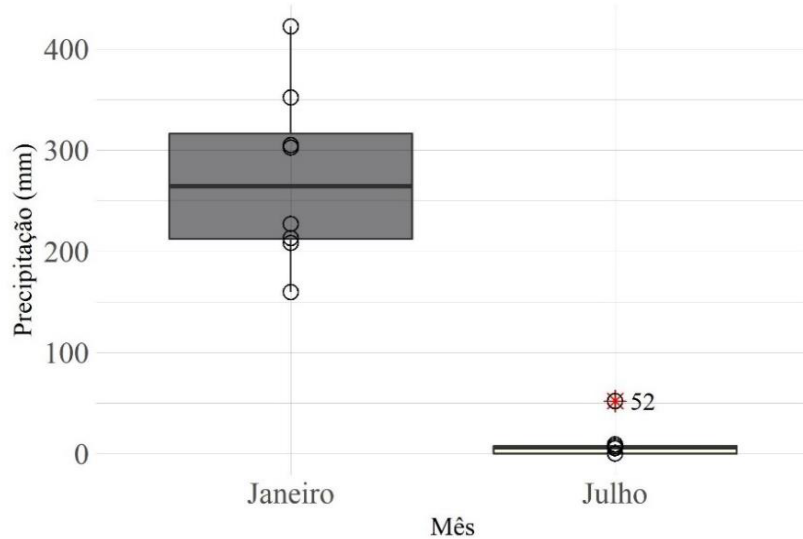
Nível de significância  $\alpha = 0,05$ ; \* pela ANOVA

Fonte: Elaborado pelo Autor.



Em janeiro a média da precipitação pluviométrica observada para os municípios foi de 273 mm, a menor ocorreu em Porteiras, 159 mm e a maior em Juazeiro do Norte, 422 mm. Em julho, a média observada foi de 10 mm, com escassez de chuva em Abaiara, Barbalha e Missão Velha, a maior ocorreu em Juazeiro do Norte, 52 mm, Figura 8 (FUNCEME, 2011).

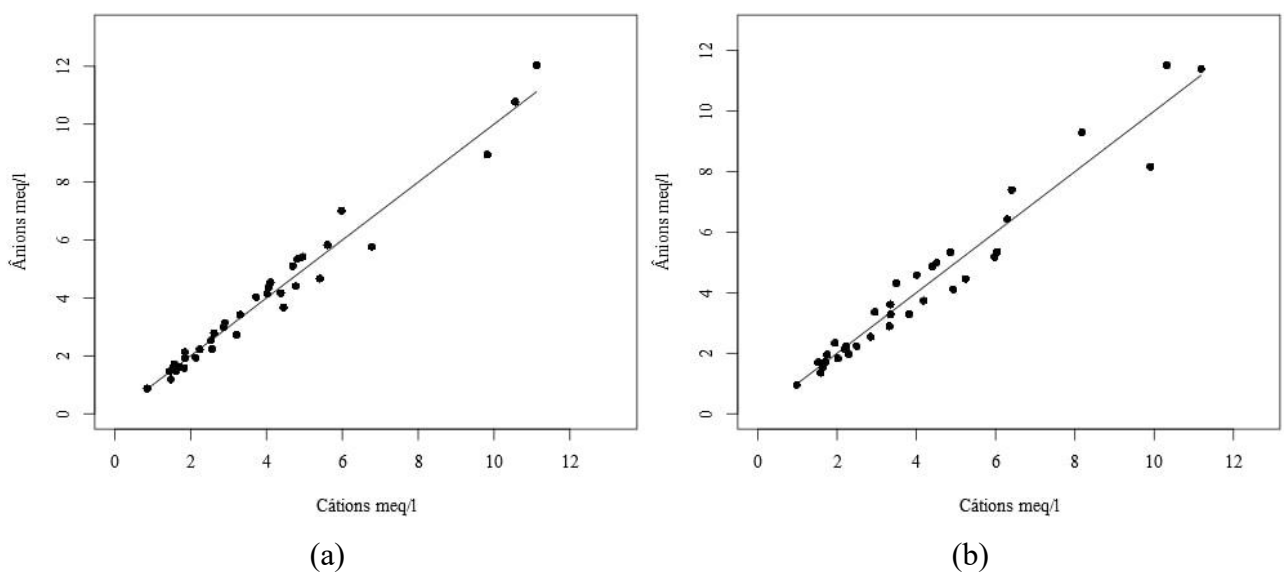
Figura 8 – Box-plot da precipitação observada na área de estudo, períodos chuvoso e seco



Fonte: FUNCEME, 2011.

Todos os poços, períodos chuvoso e seco, não ultrapassaram em 10 % o erro de análise, atingiram o limite JN3 no período chuvoso e MV13 no período seco (Figura 9).

Figura 9 – Balanço Iônico das amostras na área de estudo. a. chuvoso; b. seco



(a)

(b)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

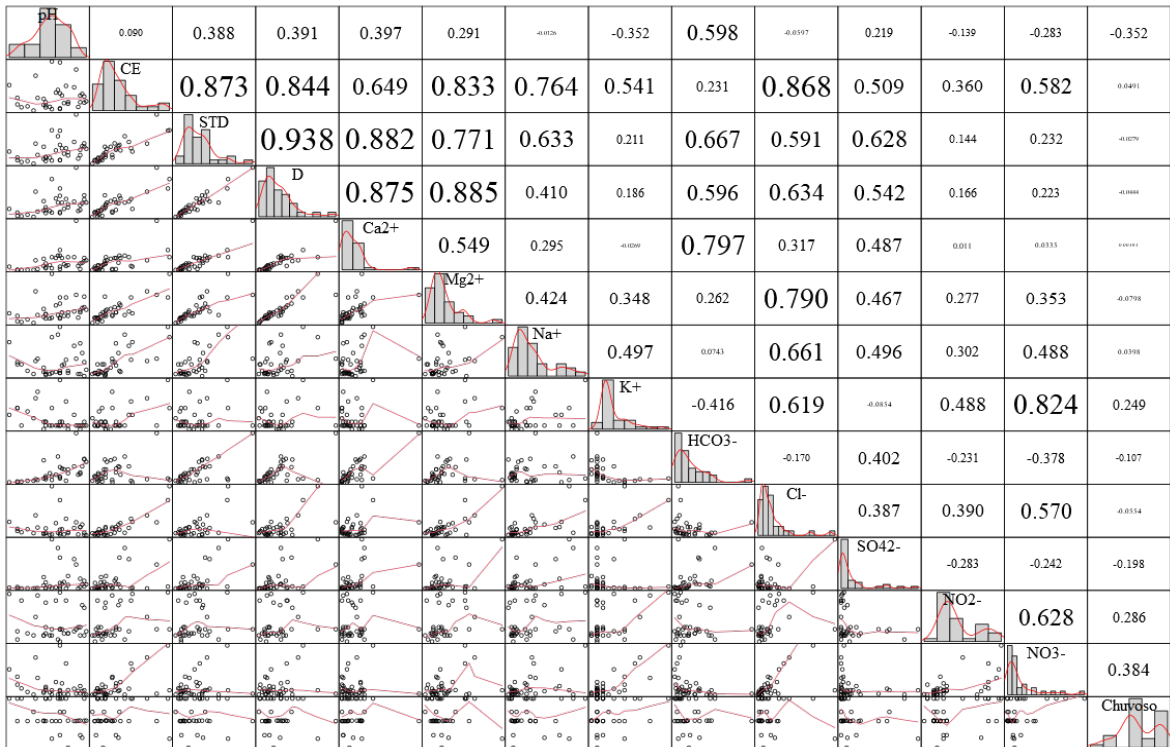
O pH está variando entre ácido e próximo a neutralidade para o período chuvoso, no período seco variou de ácido a básico. A condutividade elétrica apresentou correlação forte-positiva com STD, janeiro 0,873 e julho de 0,863. A dureza, em janeiro, apresentou correlação (mg/L) forte-positiva com  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , e fraca-positiva com  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , em julho, forte-positiva com  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Cl}^-$ , e fraca-positiva com  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  (Tabela 5 e Figura 10).

Os íons maiores, com base nos valores médios (meq/L), configuraram-se para os cátions como  $r\text{Mg}^{2+} > r\text{Na}^+ > r\text{Ca}^{2+} > r\text{K}^+$  e  $r\text{Mg}^{2+} > r\text{Ca}^{2+} > r\text{Na}^+ > r\text{K}^+$ , e para os ânions  $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{NO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{NO}_2^-$  e  $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{NO}_3^- > r\text{NO}_2^-$ , chuvoso e seco, respectivamente.

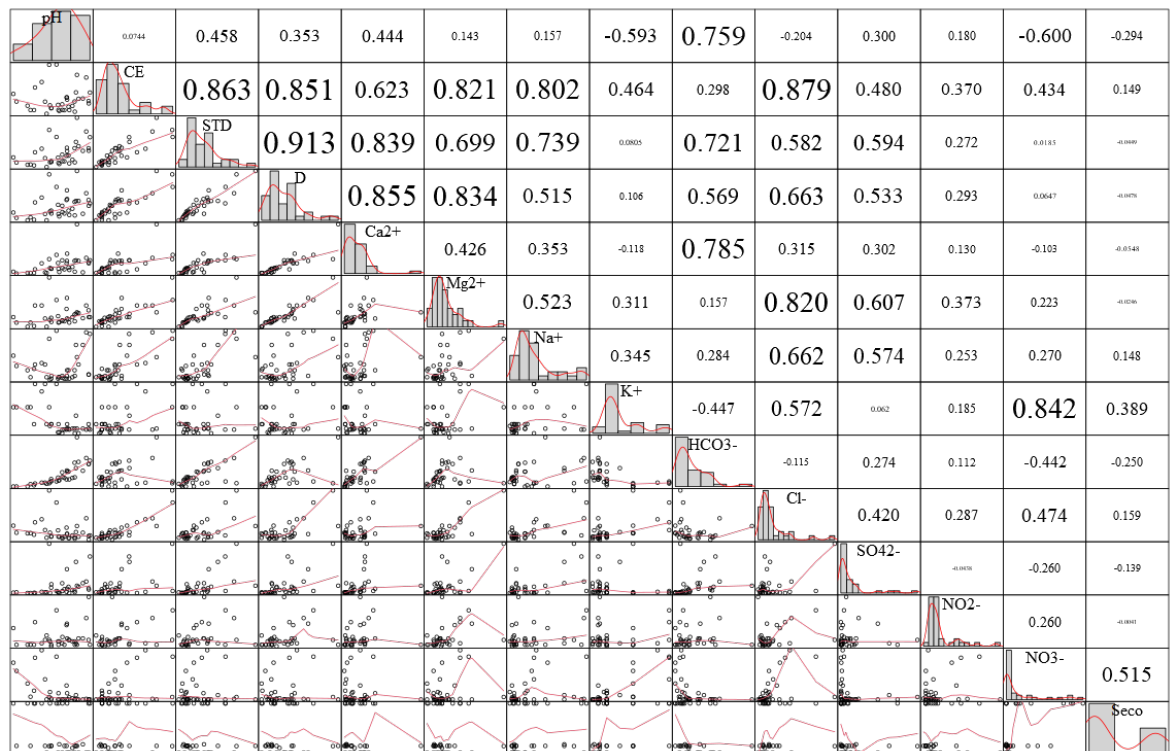
Os íons,  $\text{Na}^+ \times \text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Na}^+ \times \text{Mg}^{2+}$ , apresentaram correlação fraca-positiva, para ambos os períodos (Figuras 10a e 10b). Portanto, pode ser postulado que o aumento/decréscimo concomitante nos cátions não é proveniente principalmente das reações e efeitos concentrados de dissolução/precipitação.

A correlação forte-positiva, entre  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , nos períodos chuvoso ( $r = 0,797$ ) e seco ( $r = 0,785$ ) (Figuras 10a e 10b), indica o aumento da concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  ao passo do aumento de  $\text{HCO}_3^-$ . A fonte de  $\text{Ca}^{2+}$  nas infiltrações de água acredita-se ser proveniente da calcita ou da dolomita.

Figura 10 – Matrix de correlação de Pearson dos dados hidroquímicos. a: período chuvoso, b: período seco



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A análise das correlações dos parâmetros físico-químicos e precipitação permitiu perceber a correlação e sua característica (e.g. crescente, decrescente, estável), nos períodos chuvoso e seco, respectivamente:

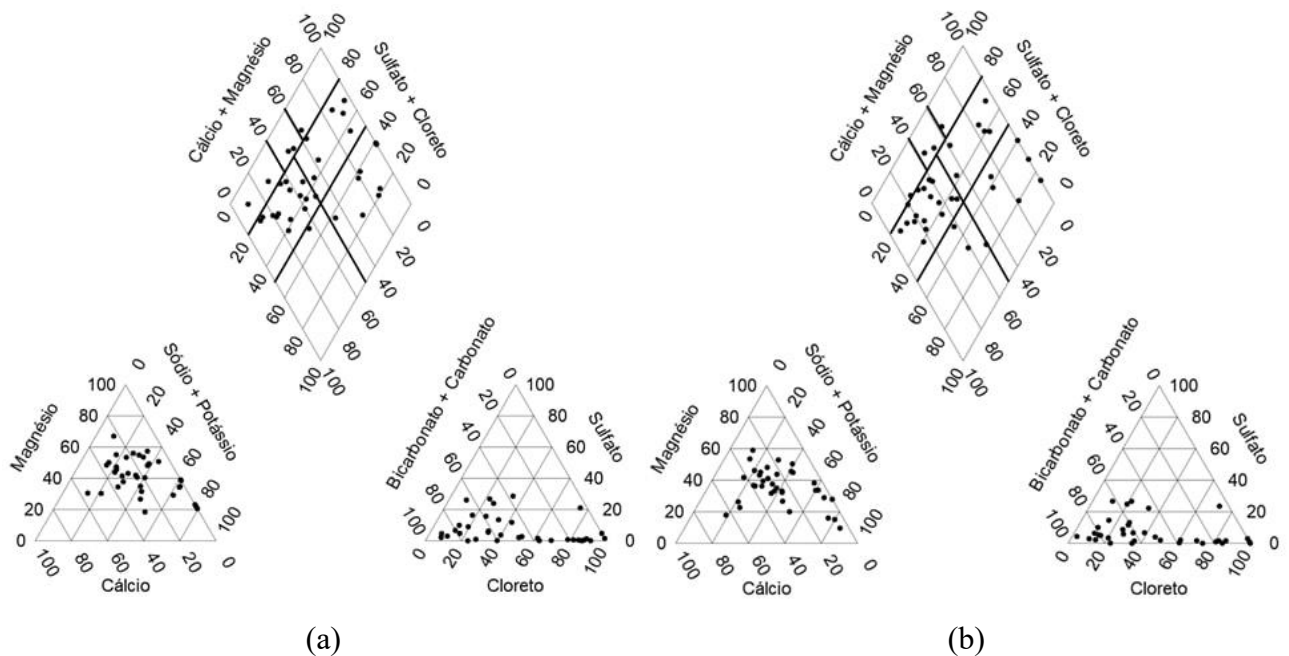
- a) o **pH** com alteração de fraca-positiva para forte-positiva com o íon Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), e uma evolução na correlação fraca-negativa com o íon  $\text{NO}_3^-$ ;
- b) a **Condutividade Elétrica (CE)** apresentou correlação forte-positiva e crescente com a Dureza (D), o Sódio ( $\text{Na}^+$ ) e o Cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), e forte-positiva com os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e o Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), mas decrescente;
- c) os **Sólidos Totais Dissolvidos (STD)** evoluiu a correlação de fraca-positiva para forte-positiva com os Sódio ( $\text{Na}^+$ ) e Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), reduziu a correlação de forte-positiva para fraca-positiva com o Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), já com a Dureza (D) e o Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) apresentaram correlação forte-positiva e decrescente;
- d) a **Dureza (D)** foi correlacionada forte-positiva e decrescente para os íons Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ );
- e) o **Cálcio** ( $\text{Ca}^{2+}$ ) demonstrou correlação forte-positiva e decrescente com o Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ );
- f) o **Magnésio** ( $\text{Mg}^{2+}$ ) foi correlacionado forte-positivo e crescente com o Cloreto ( $\text{Cl}^-$ );
- g) o **Sódio** ( $\text{Na}^+$ ) apresentou correlação forte-positiva e estável com o Cloreto ( $\text{Cl}^-$ );
- h) o **Potássio** ( $\text{K}^+$ ) apresentou-se com correlação forte-positiva e crescente com o Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e com o Cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) demonstrou correlação fraca-positiva e decrescente;
- i) o **Bicarbonato** ( $\text{HCO}_3^-$ ) apresentou correlação fraca-negativa e crescente com o Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ );
- j) o **Sulfato** ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) apresentou correlação evoluindo de sem-correlação para fraca com os íons Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e Sódio ( $\text{Na}^+$ );
- k) o **Nitrato** ( $\text{NO}_3^-$ ) apresentou considerável alteração da correlação de fraca para sem-correlação com o Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ );
- l) da ocorrência de **precipitação** para sua ausência, a correlação evoluiu de sem-correlação para fraca-negativa com o **Nitrato** ( $\text{NO}_3^-$ ).

## 5.2 Processo hidroquímico

### 5.2.1 *Fácies hidroquímicas*

As águas caracterizadas quanto a abundância de íons pelo diagrama de Piper (PIPER, 1944), apresentaram as seguintes características: *i.* no período chuvoso, 36 % das amostras foram classificadas como mista bicarbonatada, 19 % como sódica cloretada, 14 % como magnésiana cloretada, 11 % como magnésiana bicarbonatada, 8 % como mista cloretada, 3 % como cálcica bicarbonatada, 3 % como sódica bicarbonatada, 3 % como sódica mista e 3 % como totalmente mista (Figura 11a); *ii.* no período seco, 42 % foram classificadas como mista bicarbonatada, 17 % como sódica cloretada, 8 % como cálcica bicarbonatada, 8 % como magnésiana cloretada, 8 % como mista cloretada, 8 % como sódica bicarbonatada, 6 % como totalmente mista e 3 % como magnésiana bicarbonatada (Figura 11b). A classificação de cada amostra em específico segue conforme a Tabela 6. No período seco observa-se uma elevação de aproximadamente 16 % nas águas bicarbonatadas.

Figura 11 – Diagrama de Piper para os poços, a: chuvoso, b: seco



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 6 – Classificação das águas conforme a classificação de Piper

Classificação	Período	
	Chuvoso	Seco
Cálcica Bicarbonatada	CT13	CT13, JN29 e MV4
Magnesiana Bicarbonatada	CT2, JN2, ML2 e PT1	BB8
Magnesiana Cloretada	BS1, CT14, JN22, JN18 e MV1	BS1, CT14 e JN22
Mista Bicarbonatada	JN29, MV4, BB8, AB1, BB11,	CT2, JN2, ML2, PT1, AB1,
	CT1, CT3, CT5, JN15, MV13,	BB11, CT1, CT3, CT5,
	MV2, MV3 e	JN15, MV13, MV2, MV3
	MV7	MV7 e JN9
Mista Cloretada	JN9, JN11 e JN21	JN18, JN11 e JN21
Totalmente Mista	CT8	MV1 e CT8
Sódica Bicarbonatada	JN1	JN1, BB2 e ML1
Sódica Cloretada	BB2, CT17, CT4, CT6, JN24,	CT17, CT4, CT6, JN24,
	JN25 e JN3	JN25 e JN3
Sódica Mista	ML1	*

Obs.: \* nenhum poço classificado

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O CO<sub>2</sub> presente na zona não saturada de um aquífero proporciona a ocorrência de reações químicas capazes de levar ao acréscimo de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> nas amostras do período chuvoso para o seco.

A primeira reação ocorre através da dissolução do gás carbônico na água de recarga (Equação 13). Em seguida o gás dissolvido interage com a água, produzindo ácido carbônico (Equação 14). Por fim ocorre a dissociação do ácido carbônico em água, originando bicarbonatos (Equação 15) e carbonatos (Equação 16) (GOMES; MENDONÇA, 2017).



### 5.2.2 Diagrama de Chadha

Em ambos os períodos (Tabela 7), o campo (v), alcalinos terrosos [ $rCa^{2+} + rMg^{2+}$ ] e ânions ácidos fracos [ $rHCO_3^- + rCO_3^{2-}$ ] excedem alcalinos metálicos [ $rNa^+ + rK^+$ ] e ânions ácidos fortes [ $rCl^- + rSO_4^{2-}$ ], apresentou a prevalência de poços localizados nas formações Rio da Batateira (4 poços), Abaiara (1 poço), Missão Velha (2 poços), Brejo Santo (2 poços) e Mauriti (1 poço), em coberturas arenosas e areno-argilosas (3 poços) e aluviões (3 poços). O campo (vi), alcalinos terrosos [ $rCa^{2+} + rMg^{2+}$ ] excedem alcalinos metálicos [ $rNa^+ + rK^+$ ] e ânions ácidos fortes [ $rCl^- + rSO_4^{2-}$ ] excedem ânions ácidos fracos [ $rHCO_3^- + rCO_3^{2-}$ ], apresentou poços com características de troca iônica reversa, são poços localizados na formação Rio da Batateira (7 poços), na formação Missão Velha (1 poço) e em coberturas arenosas e areno-argilosas (1 poço). O campo (vii), alcalinos metálicos [ $rNa^+ + rK^+$ ] excedem alcalinos terrosos [ $rCa^{2+} + rMg^{2+}$ ] e ânions ácidos fortes [ $rCl^- + rSO_4^{2-}$ ] excedem ânions ácidos fracos [ $rHCO_3^- + rCO_3^{2-}$ ], apresentou a terceira maior prevalência, as águas foram caracterizadas como salinas do tipo alcalinas não carbonatadas, são poços localizados nas formações Rio da Batateiras (4 poços), Missão Velha (1 poço) e em coberturas arenosas (3 poços).

Seguindo a ordem decrescente de prevalência, o campo (viii), alcalinos metálicos [ $rNa^+ + rK^+$ ] excedem alcalinos terrosos [ $rCa^{2+} + rMg^{2+}$ ] e ânions ácidos fracos [ $rHCO_3^- + rCO_3^{2-}$ ] excedem ânions ácidos fortes [ $rCl^- + rSO_4^{2-}$ ], no período chuvoso, um poço na formação Brejo Santo foi caracterizou-se como água de troca iônica. A quinta menor prevalência, o campo (i), alcalinos terrosos [ $rCa^{2+} + rMg^{2+}$ ] excedem metais alcalinos [ $rNa^+ + rK^+$ ], ocorre somente no período chuvoso, são poços localizados em aluviões e na formação Rio da Batateira. Por fim, o campo (ii), metais alcalinos [ $rNa^+ + rK^+$ ] excedem alcalinos terrosos [ $rCa^{2+} + rMg^{2+}$ ], com ocorrência somente em um único poço, no período seco, na formação Rio da Batateira (Tabela 7).

Tabela 7 – Resumo identificação do processo hidroquímico – diagrama de Chadha

Campo	Tipo de água subterrânea	Tamanho da Amostra	
		Chuvoso*	Seco*
<i>i</i>	Alcalinos terrosos excedem metais alcalinos	2 (6 %)	0 (0 %)
<i>ii</i>	Metais alcalinos excedem alcalinos terrosos	0 (0 %)	1 (3 %)
<i>iii</i>	Ânions ácidos fracos excedem ânions ácidos fortes	0 (0 %)	0 (0 %)
<i>iv</i>	Ânions ácidos fortes excedem ânions ácidos fracos	0 (0 %)	0 (0 %)
<i>v</i>	Alcalinos terrosos e ânions ácidos fracos excedem ambos alcalinos metálicos e ânions ácidos fortes	16 (44 %)	19 (53 %)
<i>vi</i>	Alcalinos terrosos excedem alcalinos metálicos e ânions ácidos fortes excedem ânions ácidos fracos	9 (25 %)	8 (22 %)
<i>vii</i>	Alcalinos metálicos excedem alcalinos terrosos e ânions ácidos fortes excedem ânions ácidos fracos	8 (22 %)	6 (17 %)
<i>viii</i>	Alcalinos metálicos excedem alcalinos terrosos e ânions ácidos fracos excedem ânions ácidos fortes	1 (3 %)	2 (6 %)
	Total	36 (100 %)	36 (100 %)

Obs.: \* correspondente percentual

Fonte: Elaborado pelo Autor.

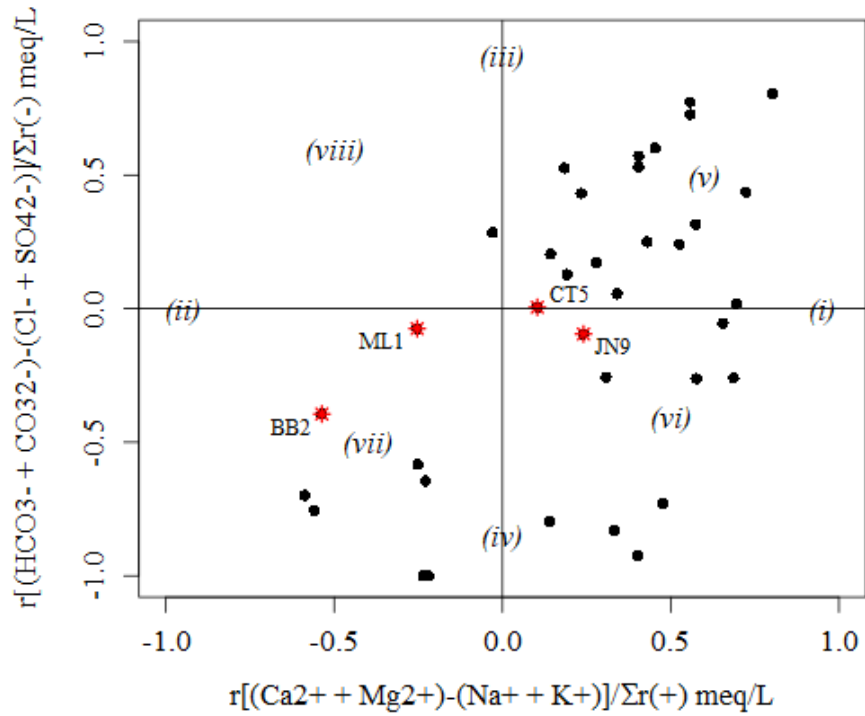
Quatro poços migraram para diferentes campos do período chuvoso para o seco conforme é apresentado em Figura 12. O poço BB2 apresentou modificação na sua classificação de sódica cloretada (chuvoso) para sódica bicarbonatada (seco), por não apresentar contaminação por  $\text{NO}_3^-$  em ambos os períodos e a concentração de  $\text{Cl}^-$  no período chuvoso (21,6 mg/L) ser maior que no período seco (15,4 mg/L), provavelmente é um poço que está em área de fluxo local, pois no período seco há maior dissolução de  $\text{CO}_2$  do solo aumentando a concentração de  $\text{HCO}_3^-$ , de 16,2 mg/L (chuvoso) para 29,1 (seco).

A amostra CT5 passou do campo *i* (chuvoso) para o campo *v* (seco), possivelmente devido a dissolução de dolomita ou calcita. A amostra JN9 no período chuvoso encontrava-se no campo *vi*, mudando para o campo *v* no período seco. Em JN9, no período chuvoso a relação era  $[\text{rCl}^- + \text{rSO}_4^{2-}] > [\text{rHCO}_3^- + \text{rCO}_3^{2-}]$ , possivelmente devido a influência antrópica, prevalecendo  $\text{rCl}^-$ , visto que, próximo ao poço há um grande cemitério, já no período seco, sem influência de  $\text{rCl}^-$ , a dissolução de dolomita ou da calcita torna-se perceptível. A amostra ML1 modifica-se do campo *vii* para o campo *viii*, no período chuvoso  $\text{rNa}^+ < \text{rCl}^-$  indica a

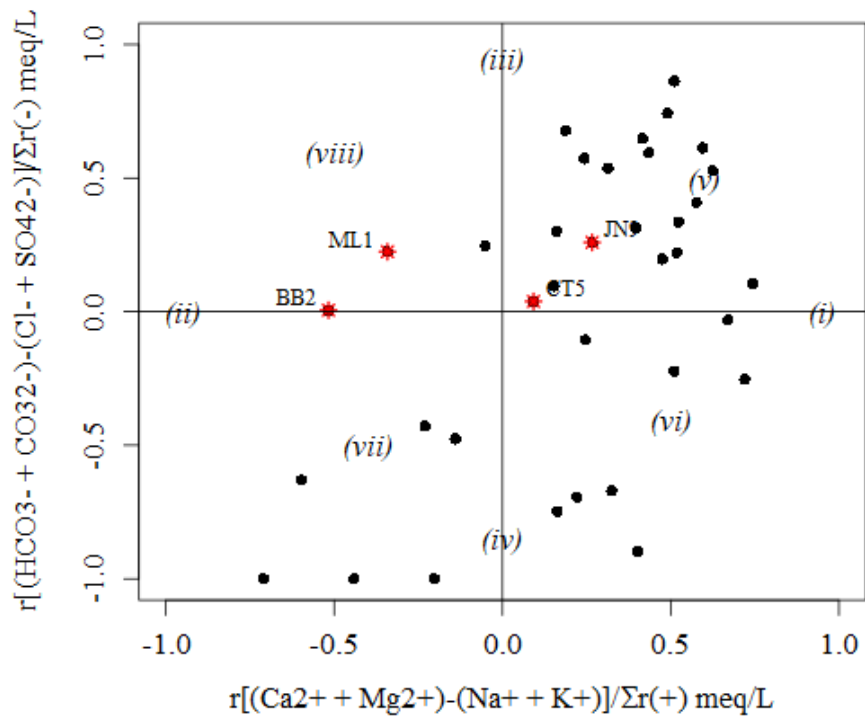


possibilidade de amolecimento reverso, já no período seco  $rNa^+ > rCl^-$  indicando um aporte de  $rNa^+$ .

Figura 12 – Diagrama de Chadha. a: chuvoso, b: seco



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 5.2.3 Condutividade elétrica

O poço AB1, localizado na formação Abaiara (FA), apresentou aumento da condutividade elétrica do período chuvoso,  $CE = 513 \mu\text{S}/\text{cm}$ , para o período seco,  $CE = 931 \mu\text{S}/\text{cm}$  (Apêndices A e B). Ao comparar os períodos chuvoso e seco constatou-se aumento no período seco em  $\text{mg}/\text{L}$  dos íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , e  $\text{HCO}_3^-$ , redução para o íon  $\text{NO}_3^-$  e estabilização do íon  $\text{K}^+$ . O poço AB1 está localizado em uma área de recarga rápida, influenciando na diluição dos íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , e  $\text{HCO}_3^-$ , no período chuvoso. Por estar localizado em área urbana o aumento do íon  $\text{NO}_3^-$  no período chuvoso possivelmente ocorreu devido a contaminação do poço por efluentes de origem antrópica (e.g. esgoto urbano) (Figura 13).

Figura 13 – Condutividade elétrica dos poços x formação litológica

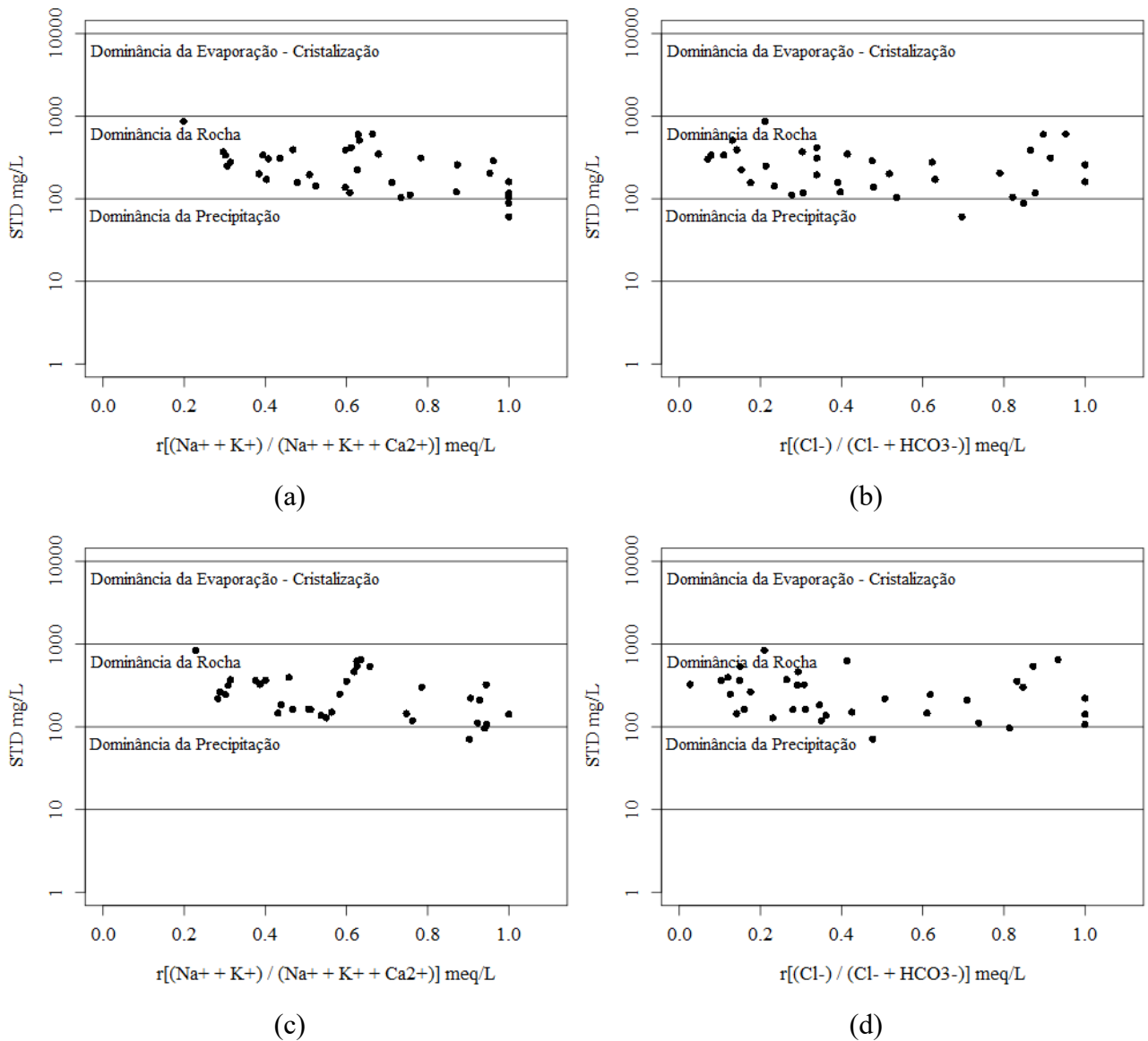


Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 5.2.4 Diagrama de Gibbs

Os resultados das análises químicas plotados no diagrama de Gibbs como mostrado nas Figuras 14a e 14b, referentes ao período chuvoso e Figuras 14c e 14d, referentes ao período seco, mostram a predominância da interação água-rocha, revelando o intemperismo químico de minerais formadores da rocha influenciando a qualidade da água subterrânea pela dissolução de minerais (DATTA; TYAGI, 1996), ou seja, o intemperismo é o principal mecanismo no controle da composição química das águas subterrâneas na área estudada.

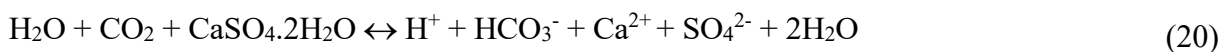
Figura 14 – Diagrama de Gibbs. a. cátions – período chuvoso, b. ânions período chuvoso, c. cátions – período seco, d. ânions período seco



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , associados ao  $\text{HCO}_3^-$ , sugerem uma mistura entre águas subterrâneas recarregadas no Grupo Vale do Cariri (Formações Abaiara e Missão Velha, que são aquíferos, e a Formação Brejo Santo, que é um Aquicludo) e águas que contribuíram com a dissolução dos minerais calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), presentes na Formação Santana da Chapada do Araripe (GOMES, *et al.*, 2017; LIMA, 1979; MACHADO *et al.*, 2004).

A reação de dissociação da calcita é dada pelas Equações 17, 18 e 19, tendo como produto os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{HCO}_3^-$ , nas proporções 1:1 (Equações 17 e 18) e 1:2 (Equação 19). A reação de dissociação da gipsita é dada pela Equação 20, tendo como produto os íons  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{HCO}_3^-$ , nas proporções 1:1:1. Considerando pH igual a 7, temperatura de 25°C e pressão total de 1 bar, as solubilidades da calcita e gipsita são de respectivamente 100 e 2.100 mg/L (FREEZE; CHERRY, 1979). Nesse contexto, o acréscimo de  $\text{HCO}_3^-$  nas amostras do período chuvoso para o seco, já observado no diagrama de Piper, não pode ser explicado apenas a partir das reações produzidas pelo  $\text{CO}_2$  presente na zona não saturada das formações em estudo.



A Formação Rio da Batateira é caracterizada por arenitos argilosos. A fração argila presente nos solos da área, caracterizada por difração de raios X, apresenta predominância do argilomineral caulinítico 1:1 (GOMES *et al.*, 2017). A composição química da caulinita é expressa pela fórmula  $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ . Como o quartzo e as argilas são produtos finais no processo de intemperismo gerado pela hidrólise parcial dos feldspatos, é provável que também ocorra precipitação de argila (Equação 21), resultando também na liberação do íon  $\text{K}^+$ .



Somente o poço BB2, localizado na Formação Rio da Batateira, situou-se na dominância da precipitação, a água tem como característica a baixa salinidade controlada pela quantidade de sais dissolvidos da precipitação, a chuva precipitada exerce maior influência que a quantidade de sal dissolvido fornecido pelas rochas. Para a dominância da evaporação não houve amostra.

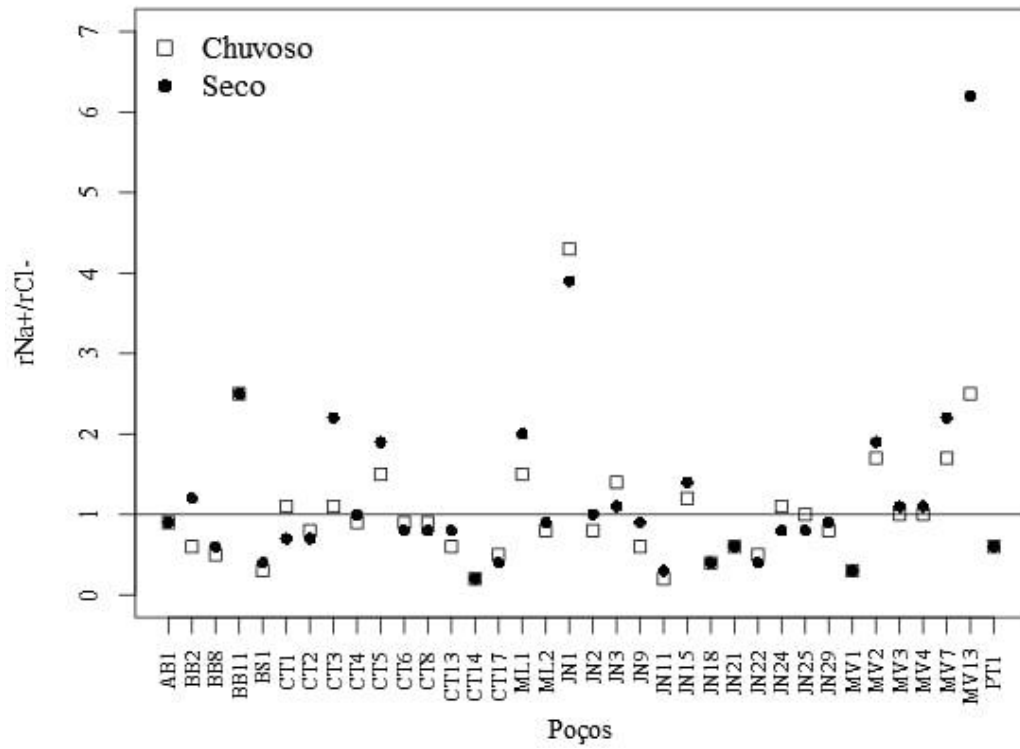
No gráfico para  $r\text{Na}^+ \times r\text{Cl}^-$ , nos períodos chuvoso e seco, Figura 15a, há poços localizados abaixo da reta, razão  $r\text{Na}^+ / r\text{Cl}^- < 1$ , CT14, JN11, BS1, MV1, JN18, BB8, CT17 e

JN22 variando de 0,2 a 0,4, indicando amolecimento reverso, a maioria destes poços estão localizados na Formação Rio da Batateira, contendo argila em sua litologia, possibilitando a seguinte reação (Equação 22):

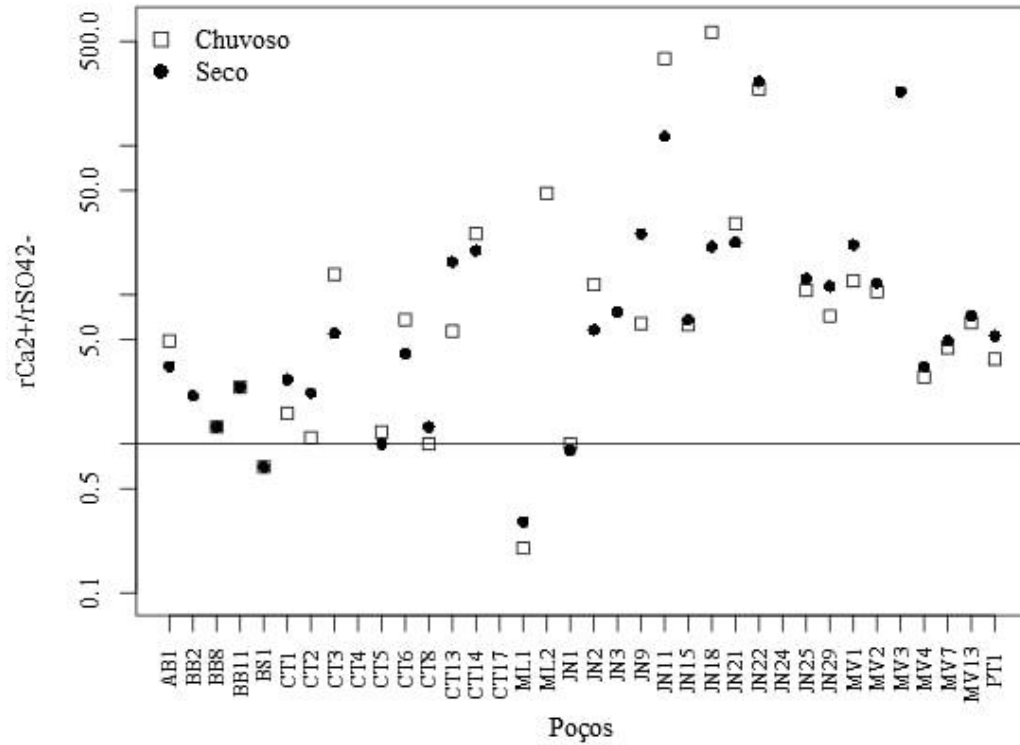


Para os poços próximos a reta, relação  $r\text{Na}^+ = r\text{Cl}^-$ , ou seja,  $r\text{Na}^+ / r\text{Cl}^- \cong 1$ , os poços AB1, CT4, CT6, CT8, JN2, JN29, JN25, MV3 e MV4, de 0,8 a 1,1, apresentaram dissolução de halita de origem da rocha. Para  $r\text{Na}^+ / r\text{Cl}^- > 1$ , de 1,2 a 4,3, os poços JN15, JN3, CT5, ML1, MV2, MV7, BB11, MV13, e JN1, indicaram uma outra fonte de  $\text{Na}^+$  além da halita (Figura 15a). O poço BB2 em janeiro apresentou  $r\text{Na}^+ / r\text{Cl}^- < 1$ , 0,6 e, em julho  $r\text{Na}^+ / r\text{Cl}^- > 1$ , 1,2, a mudança brusca de característica tem como fatores o STD baixo, 60,5 mg/L (Janeiro) e 71 mg/L (Julho) e a baixa profundidade do poço, 88 m (Tabela 4), indicando água de chuva.

Figura 15 – Dissoluções. a. halita, b. gipsita



(a)



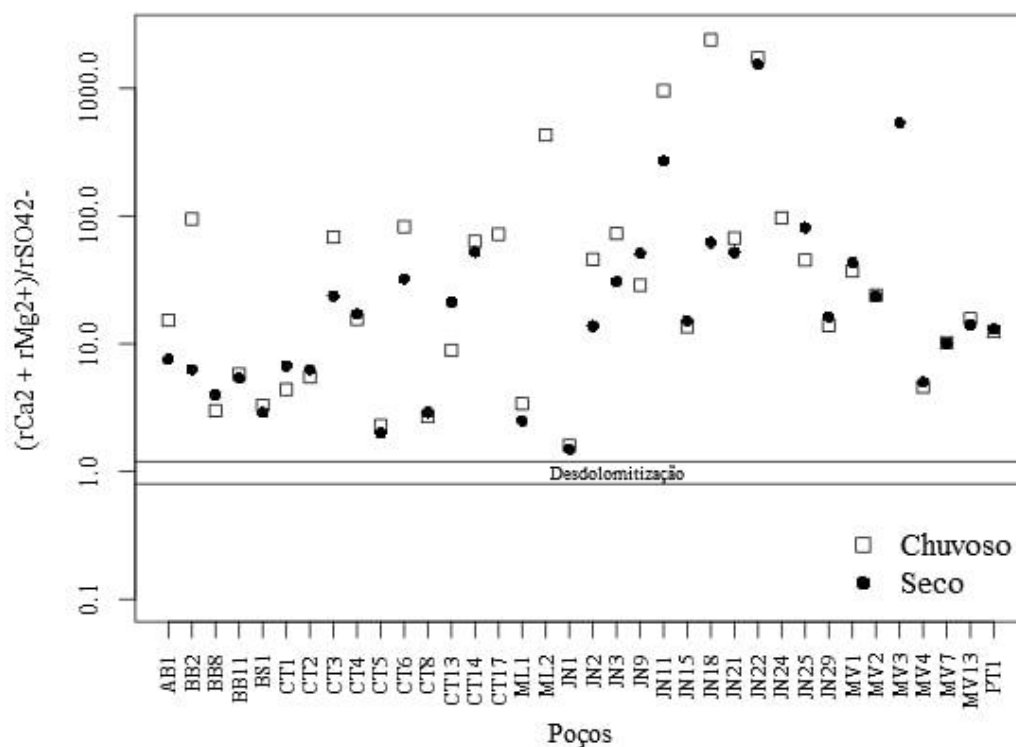
(b)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A relação entre  $rCa^{2+}$  e  $rSO_4^{2-}$  (Figura 15b) mostra a maioria dos poços com  $rCa^{2+} \geq rSO_4^{2-}$ , indicando que a maior fonte de sulfato é o  $CaSO_4^{2-}$ , possivelmente provenientes da gipsita, anidrita ou ácido sulfúrico da oxidação da pirita. Para  $rCa^{2+} < rSO_4^{2-}$ , os poços BS1 e ML1 tendem a remoção de cálcio por precipitação e/ou troca iônica, ou águas ácidas resultantes da oxidação de pirita.

O processo conhecido como desdolomitização, a não ocorrência da reação álcali-carbonato que se dá entre agregados contendo o mineral dolomita, reagindo com uma solução alcalina (BUSTILLO *et al.*, 2017; ESCORCIA *et al.*, 2013). O gráfico da Figura 16, indica a não ocorrência de desdolomitização devido a reação  $(rCa^{2+} + rMg^{2+}) / (rSO_4^{2-})$  em todo os poços ser maior que 1,2 (Equação 3), em todas as águas dos poços coletados, para ambos os períodos, chuvoso e seco.

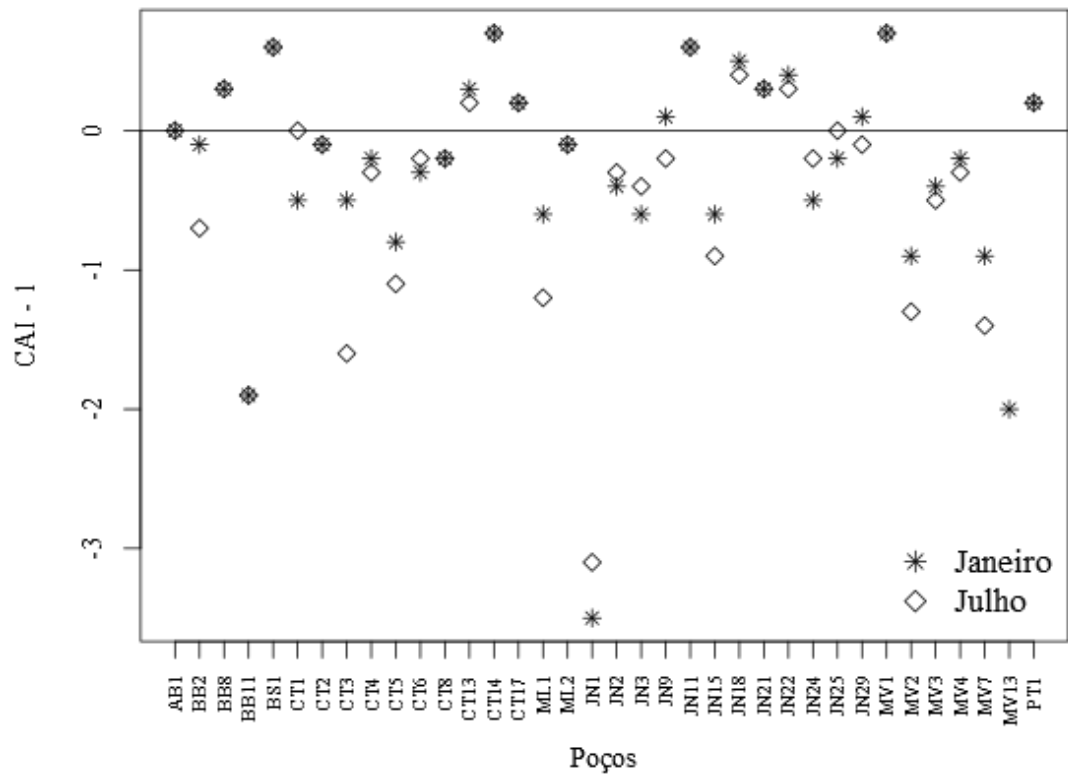
Figura 16 – Identificação do processo de desdolomitização. a. chuvoso, b. seco



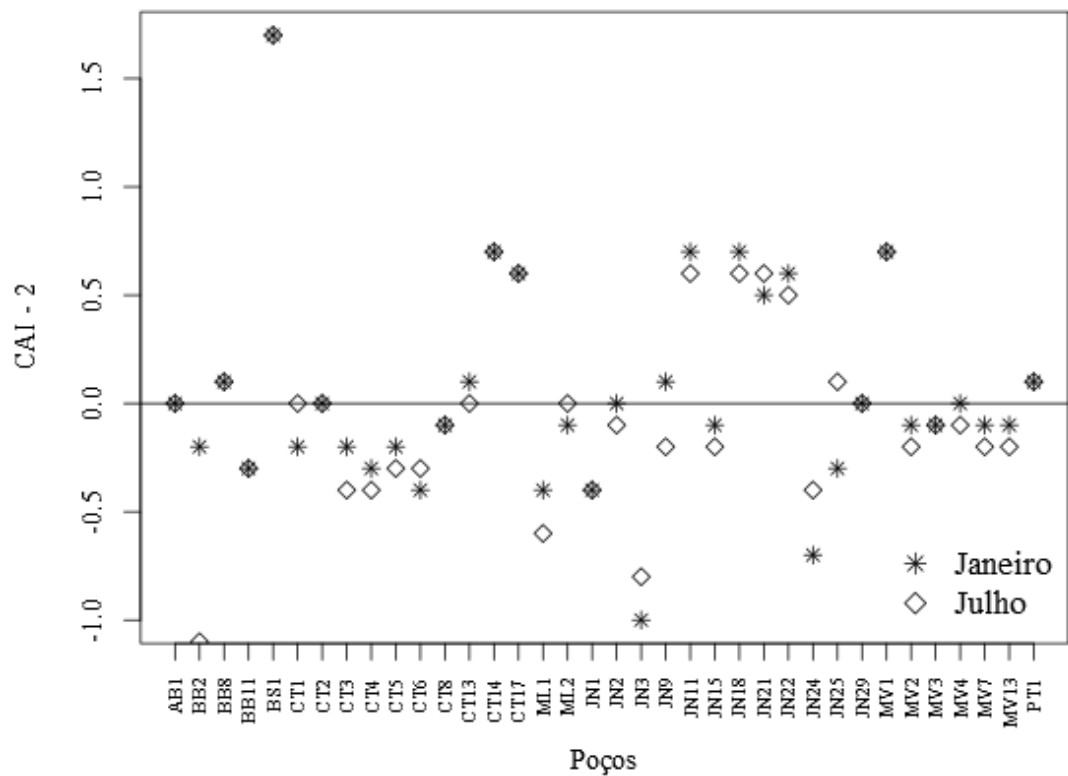
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os valores (Figura 17) de CAI 1 e CAI 2 (Equações 4 e 5) são na maioria negativos para os poços em estudo em ambos os períodos, revelando a predominância da troca iônica normal, com CAI 1 positivo, 10 poços demonstraram ocorrer troca iônica reversa, os poços JN9 e JN29 apresentaram troca iônica normal no período chuvoso e reversa no período seco.

Figura 17 – Índices CAI 1 e CAI 2 – troca iônica. a. chuvoso, b. seco



a

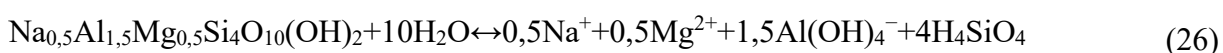
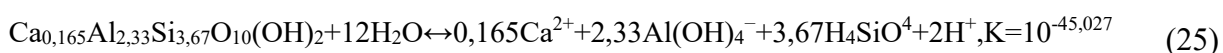


b

Fonte: Elaborado pelo Autor.

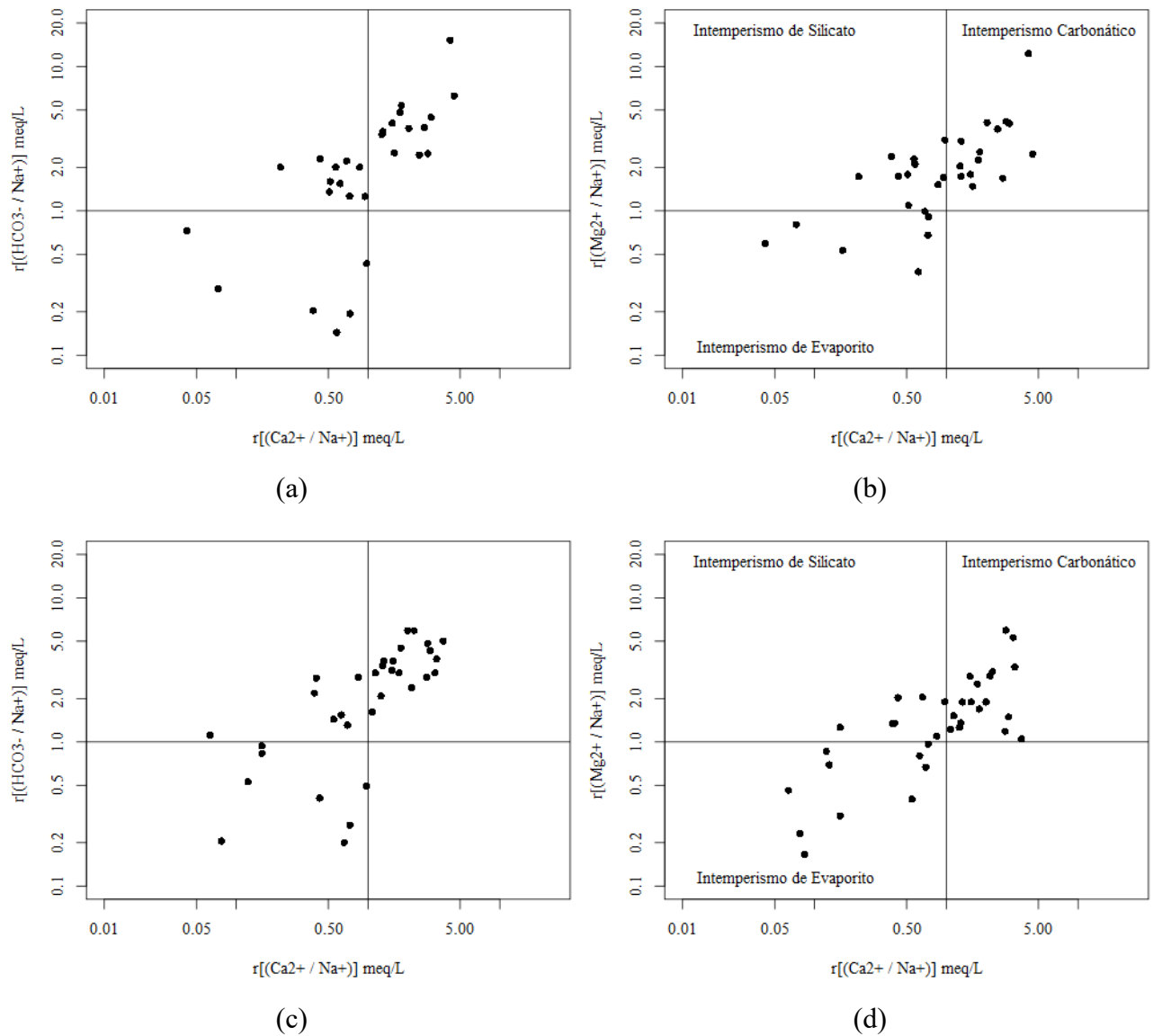


A troca iônica reversa é a liberação de cálcio e magnésio de uma argila, geralmente montmorilonita, e a adsorção de sódio por essa argila (HOUNSLOW, 1995). A maioria dos poços com troca iônica reversa estão localizados na formação Rio da Batateira, devido a presença de argilas neste aquífero, espera-se a ocorrência de processos de troca iônica entre os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$  (Equações 23 e 24), como também a precipitação de argilas do tipo montmorilonitas cálcica (Equações 25 e 26) (MACHADO *et al.*, 2004).



Os gráficos logarítmicos bivariados de  $(r\text{Ca}^{2+} / r\text{Na}^+) \times (r\text{Mg}^{2+} / r\text{Na}^+)$ , Figuras 18b e 18d, e  $(r\text{Ca}^{2+} / r\text{Na}^+) \times (r\text{HCO}_3^- / r\text{Na}^+)$ , Figuras 18a e 18c foram usados para identificar o tipo de intemperismo está influenciando a hidroquímica na área em estudo (WAGH *et al.*, 2019). O intemperismo carbonático é predominante devido a possível abundância de  $r\text{Ca}^{2+}$  e  $r\text{Mg}^{2+}$ . Evaporitos geralmente ocorrem quando a água subterrânea passa por rochas de gipsita, ou sulfatadas, mas quando a taxa de  $(r\text{Mg}^{2+} / r\text{Na}^+) > (r\text{Ca}^{2+} / r\text{Na}^+)$  indica o intemperismo de silicatos. Os evaporitos podem ocorrer em rochas de gipsita, rochas sulfatadas e rochas salgadas pela possibilidade de terem água subterrânea passando por elas, contendo maior quantidade de  $\text{NaCl}$  e  $\text{CaSO}_4$ , aproximando-se do ponto de saturação (SCHOELLER, 1977), os poços JN21 e JN25 foram os mais próximos da saturação da halita (Figuras 19a e 19b), já os poços JN1 e CT5 tenderam a aproximar-se ao nível de saturação da gipsita (Figuras 19c e 19d).

Figura 18 – Identificação do tipo de intemperismo nas amostras de águas. a e b: chuvoso; c e d: seco



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Pela análise dos parâmetros hidroquímicos identificou-se no período chuvoso, o pH encontrou-se de ácido, nos municípios de maior concentração urbana, como Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha, e próximo a neutralidade para os municípios de menor concentração, como Abaiara, Milagres, Porteiras e Brejo Santo. Apesar da diferença estatística entre períodos, o pH no período seco, apresentou a mesma tendência do período chuvoso, da maior acidez nos municípios de maior concentração urbana para um índice básico, nos municípios de menor concentração urbana. O íon  $\text{HCO}_3^-$  identificou-se com a mesma tendência de comportamento do pH. O Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) apresentou-se com relação diretamente proporcional a taxa de

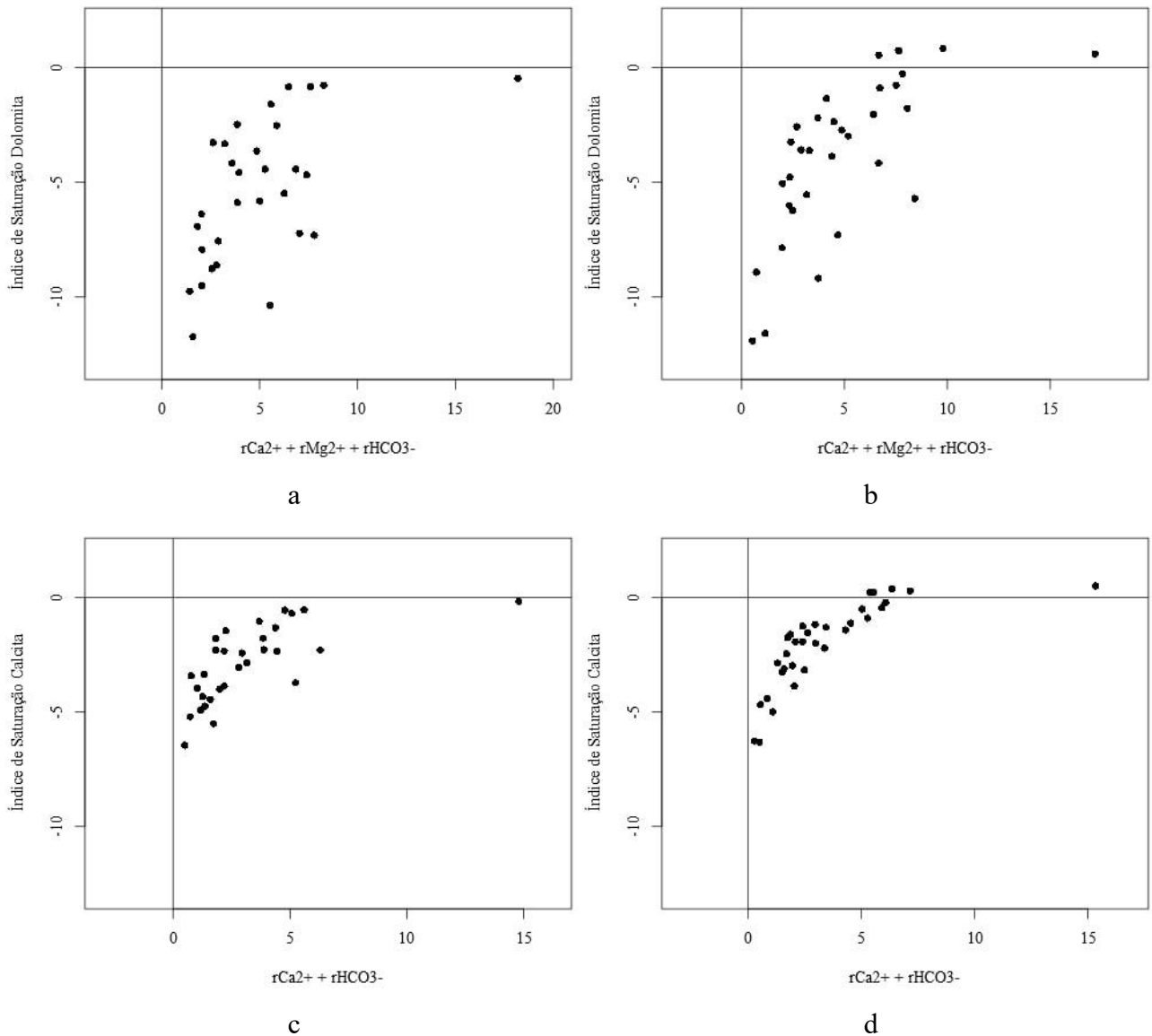
concentração urbana dos municípios, de outra forma, o íon  $\text{HCO}_3^-$  verificou-se com menores aferições nos municípios de maiores concentrações urbanas. A Condutividade Elétrica (CE), os Sólidos Totais Dissolvidos (STD), o Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e o Cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) foram identificados com maiores taxas nos municípios de menor concentração urbana, como Abaiara, Milagres, Porteiras e Brejo Santo, e as menores taxas em municípios de maior concentração urbana, como Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha. O Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e a Dureza (D) tenderam a apresentar as maiores concentrações no Aquífero Médio na Formação Santana e as menores no Aquífero Inferior na Formação Mauriti. O Potássio ( $\text{K}^+$ ) apresentou tendência de comportamento oposta ao Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e a Dureza (D), a maior concentração foi encontrada no Aquífero Inferior na Formação Mauriti, e a menor concentração no Aquífero Médio na Formação Santana. O Sódio ( $\text{Na}^+$ ) caracterizou-se com maiores concentrações em Milagres, Brejo Santo e Abaiara, as menores em Juazeiro do Norte, Missão Velha, Barbalha, Porteiras e Crato.

### 5.2.5 Índices de saturação

As Figuras 19 e 20 mostram os índices de saturação da halita, gipsita, dolomita e calcita, em função de  $(r\text{Na}^+ + r\text{Cl}^-)$ ,  $(r\text{Ca}^{2+} + r\text{SO}_4^{2-})$ ,  $(r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+} + r\text{HCO}_3^-)$  e  $(r\text{Ca}^{2+} + r\text{HCO}_3^-)$ , respectivamente (APÊNDICES A e B). Os resultados indicaram águas subsaturadas para a halita e a gipsita (Figura 19), e dolomita e calcita (Figura 20). No período seco (Figura 20) poucos poços evoluíram para o estado saturado para a dolomita e a calcita, CT13, JN1, AB1, JN2 e MV13. Uma vez que o sistema está saturado em calcita, a evolução hidroquímica é afetada pela dissolução da gipsita. A interação entre as águas subterrâneas e a camada de gesso levam à dissolução da gipsita (QIYAN; BAOPING, 2002). Os efeitos de íons comuns tendem a aumentar a deposição de calcita para manter o equilíbrio da dissolução de calcita (ALAYA *et al.*, 2014).



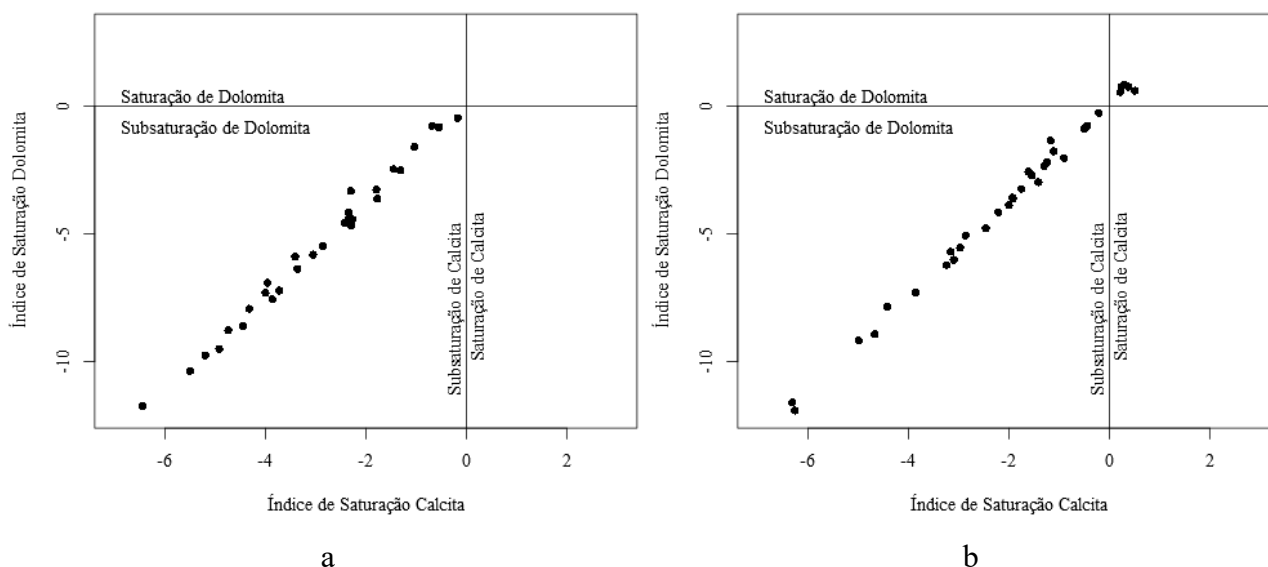
Figura 20 – Índices de saturação dolomita e calcita x respectivos íons.  
a. e c. chuvoso, b. e d. seco



Fonte: Elaborado pelo Autor.

No período chuvoso (Figura 21a) 100 % dos poços estão subsaturados para dolomita e calcita. No período seco (Figura 21b) 86 % (31 poços) estão subsaturados para dolomita e calcita, 14 % (5 poços – AB1, CT13, JN1, JN2 e MV13) estão saturados para calcita e dolomita. Os índices de saturação da calcita e dolomita foram diretamente proporcionais com  $r_{\text{ajustado}} = 0,9898$  e  $p_{\text{valor}} = 2,2 \times 10^{-16}$ . Todos os cinco poços saturados para calcita e dolomita, período seco, apresentaram como característica em comum águas bicarbonatadas.

Figura 21 – Índice de saturação calcita x dolomita. a. chuvoso, b. seco



Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 5.3 Análise multivariada

#### 5.3.1 Análise por componentes principais

Inicialmente, todos os parâmetros físico-químicos e a precipitação pluviométrica, em ambos os períodos chuvoso e seco, apresentaram  $KMO = 0,42$  e  $0,38$ , considerados valores inadequados, mas para o teste de esfericidade de *Bartlett* apresentaram p-valor menor que  $0,05$  indicando a matriz como fatorável,  $19 \cdot 10^{-298}$  e  $5,92 \cdot 10^{-310}$ , respectivamente. Após a verificação inicial do KMO e do teste de *Bartlett*, houve a necessidade de desenvolver novas simulações retirando parâmetros com menor grau de adequação ao conjunto de dados, dessa forma, no período chuvoso fez-se necessária a retirada do parâmetro  $SO_4^{2-}$ , apresentando  $KMO = 0,67$ , considerado aceitável e com teste de *Bartlett* com p-valor =  $8,34 \cdot 10^{-285}$ , permanecendo a matriz fatorável. Para o período seco, foi necessária a realização de duas outras simulações, na segunda retirando o parâmetro  $NO_2^-$ , obtendo  $KMO = 0,43$ , considerado inadequado, e na terceira retirando os parâmetros  $NO_2^-$  e  $SO_4^{2-}$ , apresentou  $KMO = 0,63$ , sendo este aceitável. Em ambas as simulações do período seco o teste de *Bartlett* foram computados p-valor  $< 0,05$  (Tabela 8). A partir da última simulação em ambos os períodos houve baixíssimo acréscimo do percentual da variância acumulada explicada e o KMO não tendeu a aumentar expressivamente.

Tabela 8 – Simulações, KMO e Bartlett, períodos chuvoso e seco

Período	Simulação	KMO	Teste Bartlett (p-valor)
Chuvoso	Todas os Parâmetros	0,42	$8,9*10^{-298}$
	Retirando $SO_4^{2-}$	0,67	$8,34*10^{-285}$
Seco	Todas os Parâmetros	0,42	0
	Retirando $NO_2^-$	0,43	$6,52*10^{-231}$
	Retirando $NO_2^-$ e $SO_4^{2-}$	0,63	$3,82*10^{-219}$

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A determinação do número de componentes (Dim) tem como sugestão o índice de autovalor (*eigenvalue*). O autovalor informa quanta variância existe nos dados em determinada direção, o autovalor também informa como os dados estão espalhados no vetor. Nesse contexto, adota-se todas as dimensões com autovalor maior que 1 (ABDI; WILLIAMS, 2010).

Para o período chuvoso foram identificadas três componentes, Dim1, Dim2 e Dim3, com autovalores 5,93, 3,46 e 1,17, explicando respectivamente 45,61, 26,59 e 8,98 % da variância total, concentrando 81,18 % das informações deste período (Tabela 9).

No período seco, apesar da componente Dim3 ter apresentado autovalor ligeiramente menor que 1, ela também foi incluída na análise para possibilitar uma comparação entre os períodos chuvoso e seco. Dessa forma, as componentes Dim1, Dim2 e Dim3 com autovalores 5,65, 3,64 e 0,97, explicando respectivamente 47,07, 30,33 e 8,12 % da variância total, concentraram 85,52 % das informações para este período (Tabela 9).

Tabela 9 – Autovalores e respectivos percentuais de variância para cada componente (Dim)  
períodos chuvoso e seco

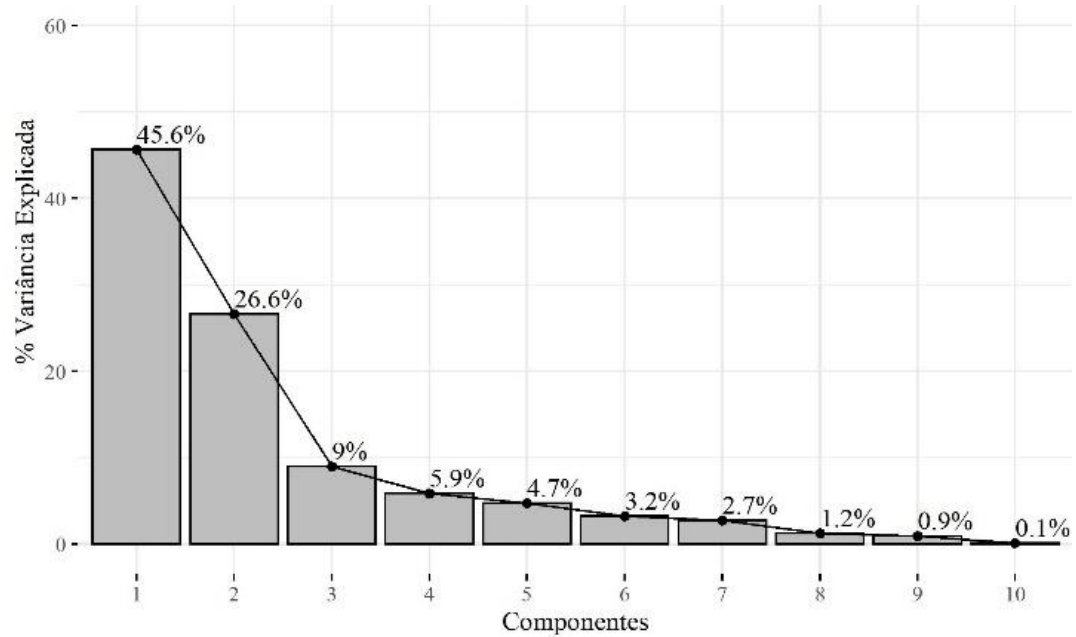
Períodos	Componentes	Autovalores	% Variância	% Variância Acumulada
Chuvoso	Dim1	<b>5,93</b>	45,61	45,61
	Dim2	<b>3,46</b>	26,59	72,20
	Dim3	<b>1,17</b>	8,98	81,18
Seco	Dim1	<b>5,65</b>	47,07	47,07
	Dim2	<b>3,64</b>	30,33	77,40
	Dim3	0,97	8,12	85,52

Fonte: Elaborado pelo Autor.

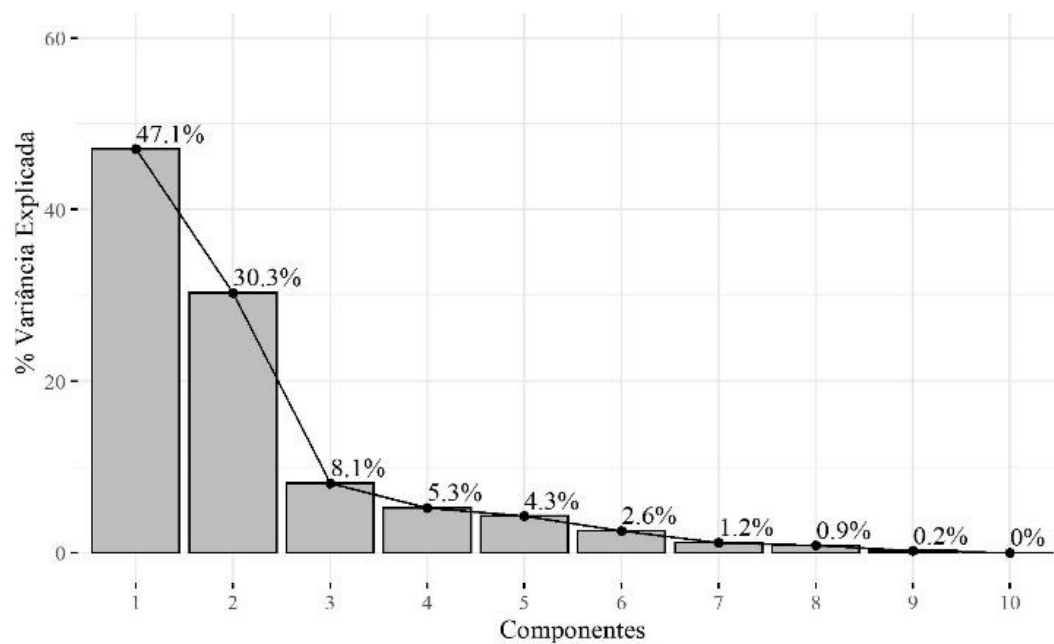
A decisão para determinação das três componentes em ambos os períodos foi reforçada pelo auxílio do método gráfico *scree plot* (Figura 22), também conhecido como teste de Cattell (CATTELL, 1966), que consiste na análise do gráfico da variância explicada vs. componente, objetivando localizar a região do gráfico na qual os autovalores apresentam tendência linear decrescente (DAMÁSIO, 2012).



Figura 22 – Variância explicada por período. a. chuvoso, b. seco



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

As componentes consideradas na análise ACP para os períodos chuvoso e seco, Dim1, Dim2 e Dim3, foram formadas com seus respectivos parâmetros hidroquímicos conforme a comunalidade igual ou superior a 0,5, de fraca a forte (Tabela 10).

Tabela 10 – *Loadings* das componentes dos parâmetros selecionadas

Períodos	Parâmetros	Loadings		
		Dim1	Dim2	Dim3
Chuvoso	pH	0,224	<b>-0,695</b>	-0,146
	CE	<b>0,980</b>	0,108	-0,053
	STD	<b>0,923</b>	-0,344	0,091
	D	<b>0,907</b>	-0,347	0,052
	Ca <sup>2+</sup>	<b>0,724</b>	<b>-0,541</b>	0,291
	Mg <sup>2+</sup>	<b>0,871</b>	-0,077	-0,190
	Na <sup>+</sup>	<b>0,705</b>	0,248	-0,121
	K <sup>+</sup>	0,495	<b>0,737</b>	-0,044
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,352	<b>-0,842</b>	0,319
	Cl <sup>-</sup>	<b>0,819</b>	0,346	-0,348
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,384	<b>0,545</b>	0,203
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,527</b>	<b>0,731</b>	0,138
	Precipitação (Ocorrência)	0,044	0,399	<b>0,843</b>
	Seco	pH	0,284	<b>-0,818</b>
CE		<b>0,964</b>	0,240	-0,017
STD		<b>0,956</b>	-0,247	0,086
D		<b>0,941</b>	-0,169	-0,063
Ca <sup>2+</sup>		<b>0,760</b>	-0,421	0,244
Mg <sup>2+</sup>		<b>0,830</b>	0,154	-0,368
Na <sup>+</sup>		<b>0,761</b>	0,167	0,086
K <sup>+</sup>		0,283	<b>0,860</b>	0,029
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		<b>0,504</b>	<b>-0,771</b>	0,286
Cl <sup>-</sup>		<b>0,777</b>	0,492	-0,280
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		0,226	<b>0,861</b>	0,211
Precipitação (Escassez)		0,053	<b>0,526</b>	<b>0,739</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Em função das comunalidades dos parâmetros que compõem as três componentes, de forma geral, em ambos os períodos, as componentes apresentaram as seguintes características, (i) Dim1 componente de salinidade (e.g. mineralização, presença de aerossóis marinhos, grau de intemperismo e composição das rochas), de alcalinidade com tendência aos alcalinos terrosos e sais dissolvidos (e.g. NaCl), e atividades antrópicas; (ii) Dim2 componente de atividades antrópicas e alcalinidade com tendência aos ânions ácidos fracos; (iii) Dim3 componente responsável pelo teor de substâncias dissolvidas, de acordo com a percolação da água precipitada no seu percurso pelo perfil do solo.

Para o período chuvoso, a componente Dim1 foi formada por CE, STD, D, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Tabela 10), a correlação forte-positiva da condutividade elétrica a esta componente (Dim1) indicou águas de poços sob a influência da salinidade, influenciados pela

composição mineralógica das rochas, possivelmente pela dissolução da calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). Indicou também, no período chuvoso, a possível contaminação de águas com elementos nitrogenados,  $\text{NO}_3^-$ , por meio de atividades antrópicas. No entanto, para o período seco, houve a inclusão do íon  $\text{HCO}_3^-$ , favorecendo o processo de dissolução calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e da dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , e a retirada do íon  $\text{NO}_3^-$ , indicando a redução da contaminação das águas de alguns poços.

A segunda componente Dim2, para o período chuvoso, foi formada pelo pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$  (Tabela 10), indicam uma possível contribuição relacionada a fatores naturais, como dissolução de rochas e oxidação da matéria orgânica, como também a contribuição de poluição de origem antrópica (e.g. esgoto) percolado nos aquíferos.

No período seco, os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{NO}_2^-$  não apareceram como formadores da componente, indicando uma redução da dissolução de calcita e dolomita, e a oxidação do  $\text{NO}_2^-$  para  $\text{NO}_3^-$  do período chuvoso para o seco (Equação 27). O  $\text{NO}_3^-$  tem alta mobilidade nos sistemas aeróbicos de águas subterrâneas, como em aquíferos onde os níveis estáticos encontram-se com baixa profundidade ou as condutividades hidráulicas são relativamente elevadas. Nestes meios, o  $\text{NO}_3^-$  move-se sem retardamento, podendo atingir extensas áreas.



A terceira componente Dim3, é caracterizada pela precipitação, ou seja, no período chuvoso a ocorrência da precipitação e no período seco a sua escassez. Nesta dimensão verificou-se possíveis relações dos poços com os índices de saturação da gipsita, calcita, dolomita e halita, visto que, a água da chuva ao infiltrar e percolar o solo dissolve minerais e dilui soluções, alterando a composição hidroquímica.

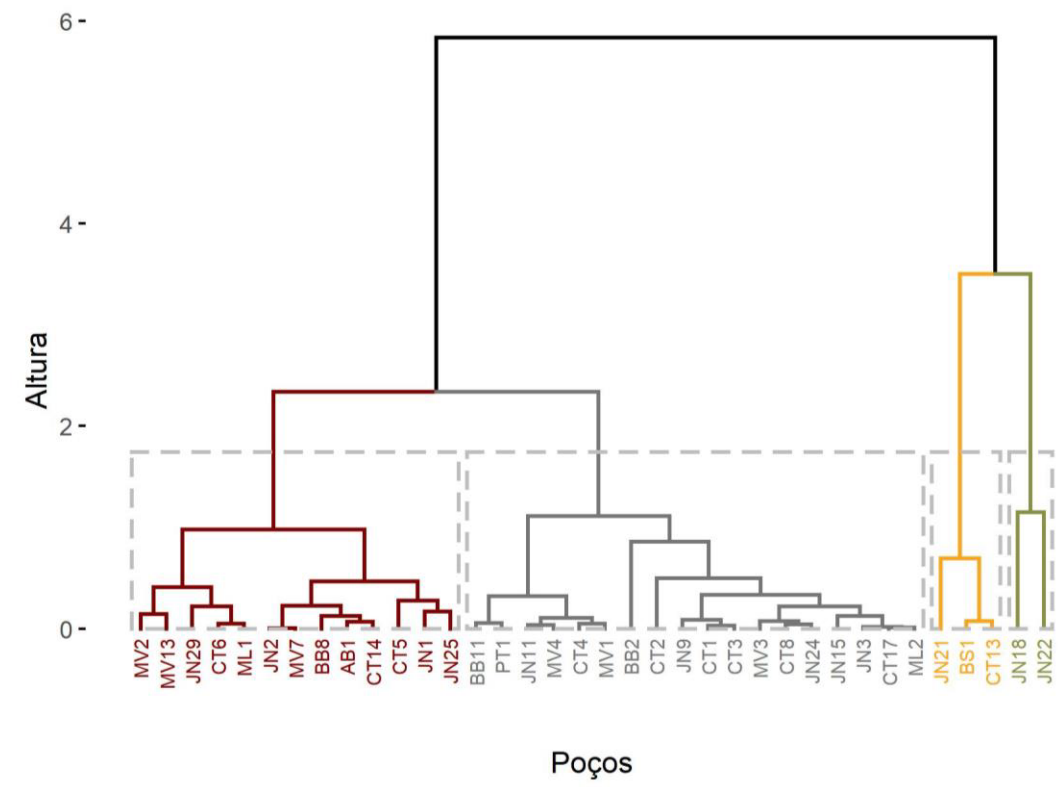
### 5.3.2 *Análise de agrupamento*

A técnica de agrupamento hierárquico interliga as amostras por suas associações, produzindo um dendrograma onde as amostras semelhantes, segundo as variáveis escolhidas, são agrupadas entre si. A suposição básica de sua interpretação é quanto menor a distância entre os pontos, maior a semelhança entre as amostras. Os dendrogramas são úteis principalmente na visualização de semelhanças entre amostras ou objetos representados por pontos em espaço com dimensão maior do que três, onde a representação por gráficos convencionais não é possível (ALMEIDA *et al.*, 2015).

Pelo teste de Hopkins (LAWSON, 1990) para os períodos chuvoso e seco foram obtidos 0,186 e 0,207, respectivamente, demonstrando a tendência de agrupamento em ambos os períodos. O número de grupos, determinado pelo algoritmo proposto por Charrad *et al.* (2014), indicou a necessidade de 4 grupos, ordenados da esquerda para a direita, em ambos os períodos. Os agrupamentos dos poços foram desenvolvidos com base nas componentes principais.

De acordo com os parâmetros da componente Dim1 (CE, STD, D,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{NO}_3^-$ ), período chuvoso, os 4 grupos similares gerados (Figura 23) foram compostos por 36 % (13 poços), 50 % (18 poços), 8 % (3 poços) e 6 % (2 poços), das amostras analisadas nos grupos 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Figura 23 – Agrupamentos dos poços Dim1 – período chuvoso



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O grupo 1 (13 poços) foi caracterizado por águas de salinidade média (Figura 23), com CE variando de 303 a 727  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Os Sólidos Totais Dissolvidos oscilaram de 203 a 509  $\text{mg}/\text{L}$ , estando o poço JN1 fora do limite permitido (500  $\text{mg}/\text{L}$ ) para águas potáveis ao consumo humano conforme a Portaria GM/MS N° 888/2021. A Dureza atingiu no máximo 215  $\text{mg}/\text{L}$ , estando dentro do limite permitido (300  $\text{mg}/\text{L}$ ) pela Portaria vigente. Em relação aos íons  $\text{Ca}^{2+}$

e  $Mg^{2+}$ , a Portaria GM/MS Nº 888/2021, não estabelece valor máximo permissível (VMP) para suas concentrações. As concentrações médias de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  foram 23 e 21 mg/L, respectivamente. Todas as treze (13) amostras de águas dos poços atenderam a norma vigente quanto a concentração de  $Cl^-$  (250 mg/L), variando de 9 a 84 mg/L. Onze poços apresentaram  $NO_3^-$  entre 0 e 39 mg/L, dentro do limite permitido (45 mg/L) pela Portaria vigente, sete desses poços não se encontraram inseridos em área urbana. Dois poços ultrapassaram o valor máximo permitido (VMP) para o íon  $NO_3^-$  (45 mg/L), com valor máximo de 78 mg/L de  $NO_3^-$ . O íon  $Na^+$  variou de 6 a 67 mg/L, pela portaria vigente está dentro do limite permitido (200 mg/L).

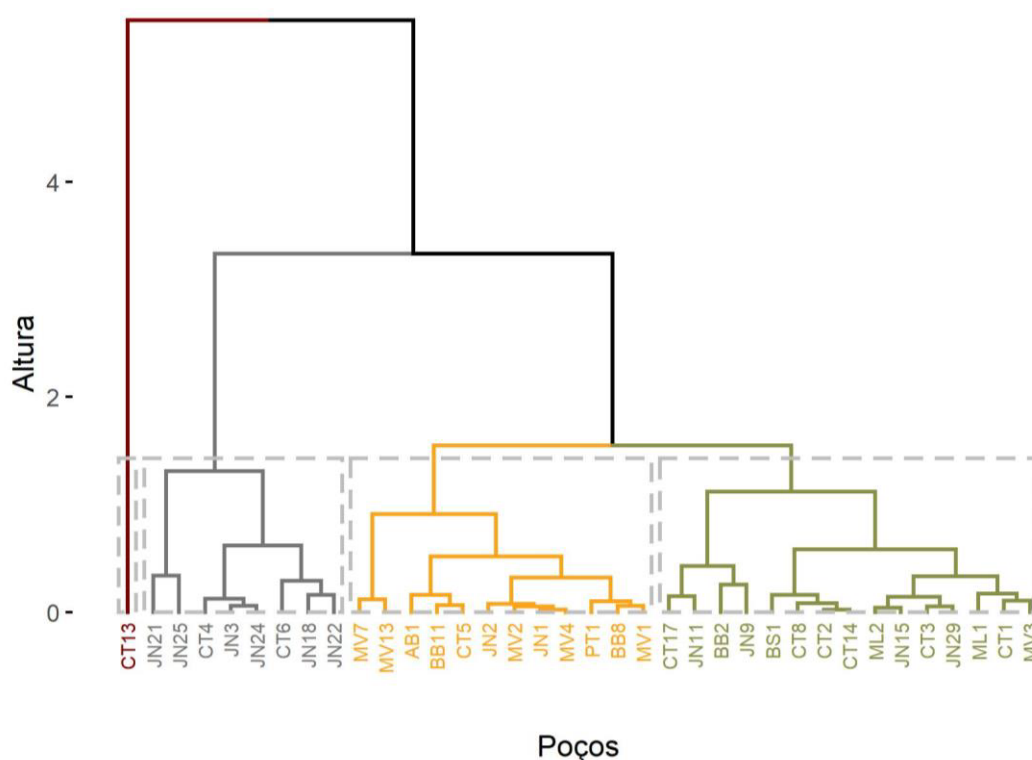
O grupo 2 (18 poços), apresentou concentrações de sais baixas comparadas aos outros grupos, com CE oscilando de 111 a 419  $\mu S/cm$  (Figura 23). São águas dentro dos padrões de potabilidade quanto a concentração de STD, Dureza,  $Cl^-$  e  $Na^+$ . O STD variou de 60 a 249 mg/L. A concentração máxima para a Dureza,  $Cl^-$  e  $Na^+$ , foi de 130, 55 e 26 mg/L, respectivamente. As concentrações médias de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  foram de 8 e 10 mg/L. O  $NO_3^-$  somente para o poço CT4 ultrapassou o valor máximo permitido para o íon  $NO_3^-$  (45 mg/L), com máximo de 55 mg/L de  $NO_3^-$ , situado em área urbana. Dezesete poços apresentaram  $NO_3^-$  abaixo do limite permitido, sendo 65 % desses, localizados em área urbana. Para 95 % dos poços deste grupo a relação  $Na^+ < Cl^-$  é verdadeira, indicando a possibilidade de amolecimento reverso, dada pela Equação 18 (SANTOS *et al.*, 2021; KARUNANIDHI *et al.*, 2020). Esse conjunto de poços apresentou a particularidade da relação  $rMg^{2+} / rCa^{2+} > 1$  e STD moderado, indicando a possibilidade da dissolução de minerais ferromagnesianos de sedimentos de rochas máficas ou ultramáficas (HOUNSLOW, 1995).

O grupo 3 (3 poços) foi composto por poços com altas concentrações de sais, variando de 1103 a 1300  $\mu S/cm$  (Figura 23). As águas desse grupo não atenderam aos padrões de qualidade da norma vigente para STD, D e  $Cl^-$ . O poço JN21 apresentou a maior concentração de  $NO_3^-$  (152 mg/L) situado na Formação Rio da Batateira, com a característica de ser um poço raso (8m), há evidências, em alguns estudos, que o excesso de nitrato é mais perceptível em poços mais rasos, com menos de 15 metros de profundidade (FRANCA *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2017; ATOR; FERRARI, 1997). As concentrações médias de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  foram de 68 e 49 mg/L. O  $Cl^-$  indicou estar associado à influência de uma fonte de poluição antrópica rica em cloretos e que possa estar cedendo-os para as águas subterrâneas dos referidos poços. A alta taxa de STD associada a relação  $rMg^{2+} / rCa^{2+} > 1$  indicou presença de salmouras e evaporitos, reforçada pela relação  $rNa^+ / rCl^- < 1$ , dada pela Equação 18 (WAGH, 2019; HOUNSLOW, 1995).

O grupo 4 (2 poços) situados na Formação Rio da Batateira, na área urbana de Juazeiro do Norte, formado por águas com altas concentração de sais, com CE de 707 e 954  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Figura 23). São águas dentro do padrão de potabilidade quanto ao STD, Dureza e  $\text{Cl}^-$ , mas não atenderam quanto a concentração de  $\text{NO}_3^-$ , com 96 e 114 mg/L. As concentrações médias de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram de 17 e 41 mg/L. As águas magnesianas cloretadas desses poços sugerem a ocorrência da troca iônica reversa (Figura 17), pela liberação de cálcio e magnésio de uma argila, geralmente montmorilonita, e a adsorção de sódio por essa argila (Equações 19 e 20) (MACHADO *et al.*, 2004; HOUNSLOW, 1995).

De acordo com os atributos da componente Dim2 (pH,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$ ), período chuvoso, os 4 grupos similares gerados (Figura 24) foram compostos por 3 % (1 poços), 22 % (8 poços), 33 % (12 poços) e 42 % (15 poços), das amostras analisadas nos grupos 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Figura 24 – Agrupamentos dos poços Dim2 – período chuvoso



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O grupo 1 (1 poço) foi caracterizado com pH ácido (6,7) dentro do limite permitido (6,0 a 9,0) pela Portaria GM/MS N° 888/2021. O poço CT13 apresentou as maiores concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{HCO}_3^-$  (124 mg/L e 525 mg/L), localizado na Formação Rio da

Batateira, fora da área urbana e possui profundidade de 111 m. A associação do  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{HCO}_3^-$  sugere uma mistura de águas que contribuem para a dissolução dos minerais calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), presentes no Aquitardo Santana. A reação de dissociação da calcita é dada pelas Equações 17, 18 e 19. Os íons  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$  apresentaram níveis dentro do permitido pela norma vigente (3,3 mg/L e 45 mg/L), que foi de 0,6 e 2,8 mg/L, respectivamente. O íon  $\text{K}^+$  apresentou concentração de 6,2 mg/L, a portaria vigente não estabelece um valor máximo permissível.

O grupo 2 (8 poços) foi formado por poços localizados em área urbana e em contato com solo argiloso da Formação Santana e Coberturas Recentes. As águas apresentaram a característica de serem ácidas (100 % deste grupo), variando de 3,4 a 6,2, apenas 12 % (1 poço) dentro do limite permitido. Uma possível razão do aumento da acidez das águas subterrâneas é a influência do gás carbônico dissolvido ( $\text{CO}_2$ ) e dos ácidos orgânicos disponíveis nos solos, dessa forma, influenciando a capacidade de dissolver Fe e Mg (SAHA *et al.*, 2019; MOSTAFA *et al.*, 2017; SANTOS, 2008). A concentração de  $\text{NO}_2^-$  encontrou-se abaixo do limite permitido (3,3 mg/L) em todos os poços, apresentou valor máximo de 1,35 mg/L. Para o íon  $\text{NO}_3^-$  apenas dois poços, JN3 e JN24, estiveram abaixo do permitido pela norma vigente, com 19,2 e 30,9 mg/L, respectivamente, os demais poços apresentaram concentrações acima do limite permitido, variando de 51,5 a 151,6 mg/L. Para o íon  $\text{NO}_2^-$  todos os poços apresentaram valores abaixo do limite permitido (3,3 mg/L), com valor máximo de 1,32 mg/L. O íon  $\text{K}^+$  apresentou valor médio de 18,55 mg/L.

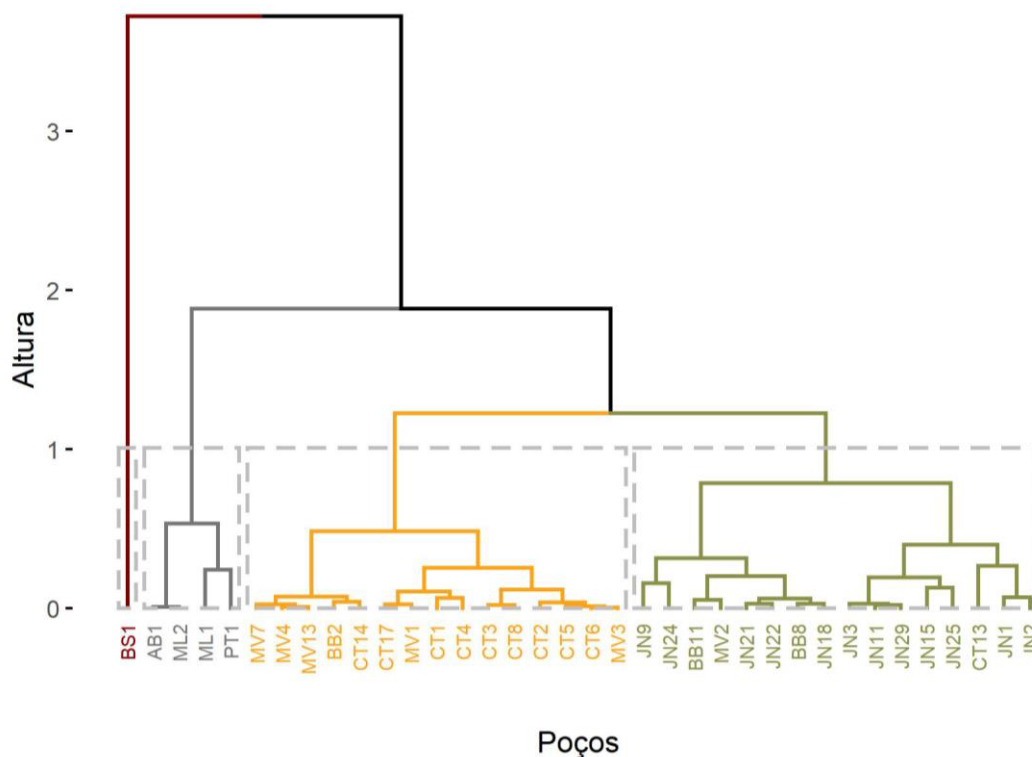
O grupo 3 (12 poços) semelhante ao grupo 2 apresentou predominância de águas ácidas (67 % das amostras). São águas com pH variando de 5,1 a 7,2, 75 % (9 poços) permitidas para o consumo humano. A concentração média de  $\text{HCO}_3^-$  de 182 mg/L sugere sua influência nos valores mais elevados de pH. As águas presentes em aluviões demonstraram ser as águas mais ácidas com valor médio de pH 5,1; as águas neste tipo de solo apresentaram concentração máxima de 14 mg/L do íon  $\text{NO}_3^-$ . A concentração do íon  $\text{NO}_2^-$  para todos os poços deste grupo apresentaram valor máximo de 1,1 mg/L. Os íons  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  apresentaram concentração máxima de 12,2 e 36 mg/L, respectivamente.

O grupo 4 (15 poços) foi caracterizado por águas ácidas variando de 4,3 a 6,9, 20 % (3 poços) das águas foram identificadas como aceitáveis pela Portaria vigente. Apresentou águas com concentração média de 61 mg/L do íon  $\text{HCO}_3^-$ . Para o íon  $\text{NO}_2^-$  todos os poços deste grupo apresentaram-se abaixo de 1,19 mg/L. A poluição antrópica por  $\text{NO}_3^-$  para todas as águas

variou de 0 a 39 mg/L. Os íons  $K^+$  e  $Ca^{2+}$  apresentaram concentração média de 8 e 11 mg/L, respectivamente.

De acordo com o atributo da componente Dim3 (precipitação – ocorrência), período chuvoso, os 4 grupos similares gerados (Figura 25) foram compostos por 3 % (1 poço), 11 % (4 poços), 42 % (15 poços) e 45 % (16 poços), das amostras analisadas nos grupos 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Figura 25 – Agrupamentos dos poços Dim3 – período chuvoso



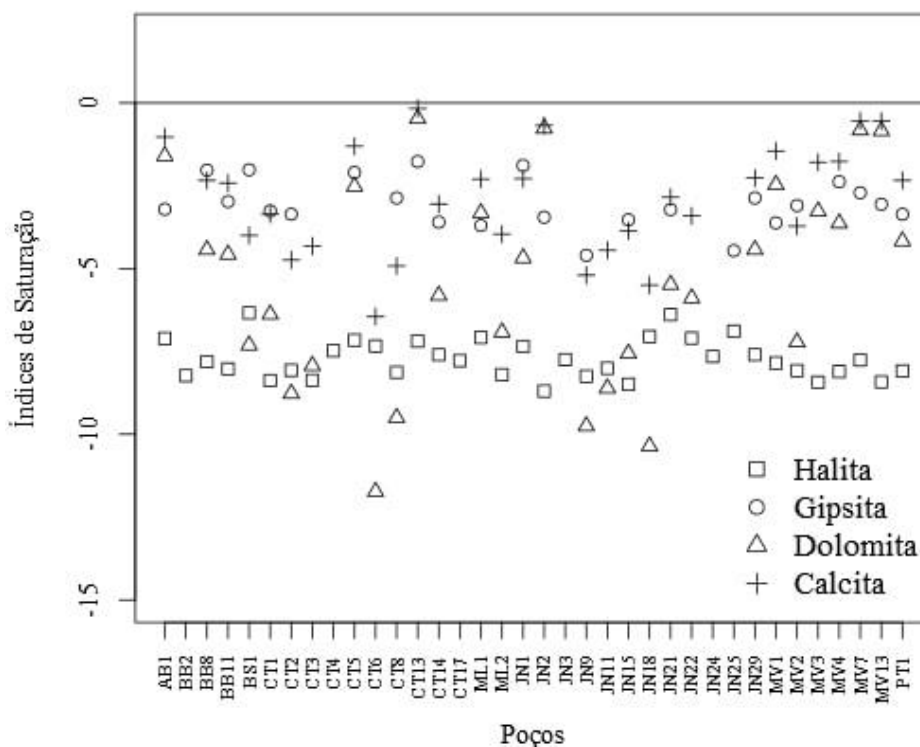
Fonte: Elaborado pelo Autor.

O grupo 1 (1 poço) localizado no município de Brejo Santo com registro de precipitação pluviométrica de 208 mm, é representado pelo poço BS1, é uma água com tendência a saturação da gipsita (Figura 26), apresentou a maior concentração do íon  $SO_4^{2-}$ , 107 mg/L. A gipsita dissolve-se na água do solo para produzir  $Ca^{2+}$  e  $SO_4^{2-}$ . A reação direta para solução de gipsita é dada pela Equação 28 (MANAHAN, 2017).





Figura 26 – Índices de saturação da halita, gipsita, dolomita e calcita – chuvoso



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O grupo 2 (4 poços) possui poços localizados em Abaiara, Milagres e Porteiras, apresentou precipitação pluviométrica variando de 159,9 a 226 mm, são poços em áreas não urbanas e pertencentes ao Sistema Aquífero Médio, detentores de águas subsaturadas para a calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), o índice de saturação variou de -3,96 a -1,03. A reação generalizada para carbonatos é dada pela Equação 29 (HOLLAND; TUREKIAN, 2014).

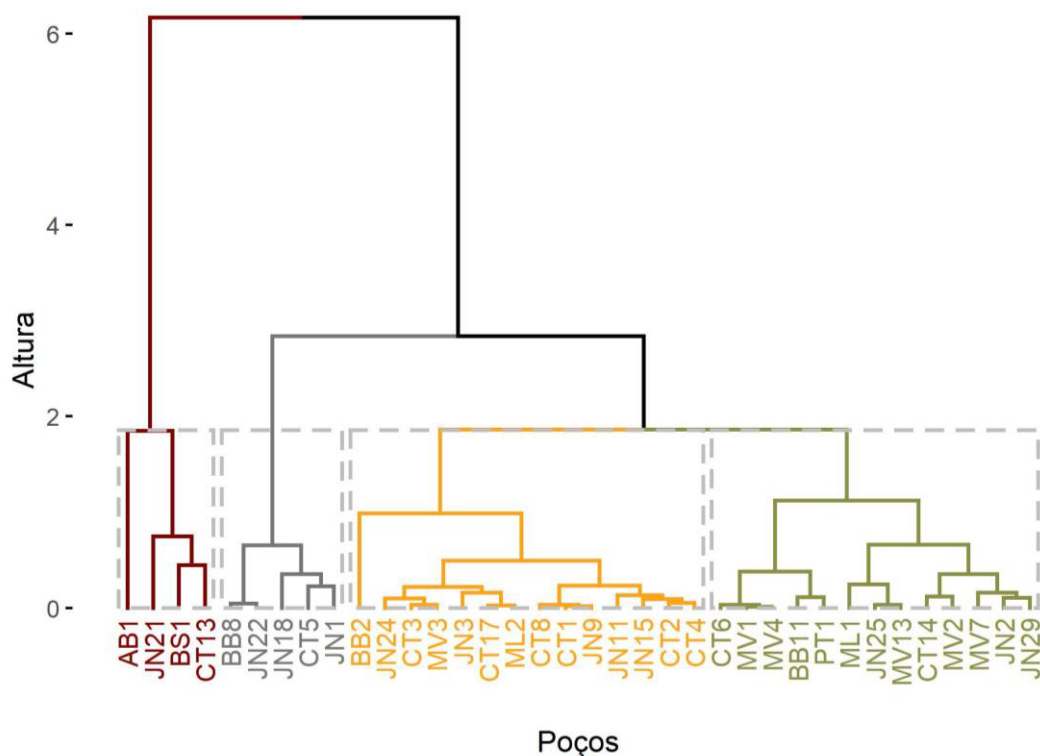


O grupo 3 (15 poços) apresentou a maior homogeneidade do atributo investigado, formado por poços localizados nos municípios de Barbalha, Crato e Missão Velha, com variação da precipitação pluviométrica de 301,1 a 354 mm, apresentando predominância de águas com tendência a subsaturação da halita ( $\text{NaCl}$ ), com índices de saturação variando de -8,43 a -7,16.

O grupo 4 (16 poços), representado por poços localizados em Juazeiro do Norte, 16 poços (75 %), Barbalha, 2 poços (12,5 %), Missão velha, 1 poço (6,25 %) e Crato, 1 poço (6,25 %), apresentou precipitação pluviométrica variando de 302,1 a 402,1 mm, semelhante ao grupo 3, verificou-se a predominância de águas com tendência a subsaturação da halita ( $\text{NaCl}$ ), com índices de saturação variando de -8,70 a -6,39.

De acordo com os parâmetros da componente Dim1 (CE, STD, D,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$ ), período seco, os 4 grupos similares gerados, Figura 27, foram compostos por 11 % (4 poços), 14 % (5 poços), 39 % (14 poços) e 36 % (13 poços), das amostras analisadas nos grupos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Diferente da componente Dim1, período chuvoso, verificou-se a ausência do íon  $\text{NO}_3^-$ , e a presença do íon  $\text{HCO}_3^-$ .

Figura 27 – Agrupamentos dos poços Dim1 – período seco



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O grupo 1 (4 poços), período seco, agrupou poços com características heterogêneas. A salinidade deste grupo foi considerada alta apresentou condutividade elétrica variando de 931 a 1233  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . A menor concentração para os Sólidos Totais Dissolvidos foi 539 mg/L. A dureza total apresentou-se dentro do limite (300 mg/L) em 50 % (2) dos poços. A relação  $r\text{Na}^+ / r\text{Cl}^-$  foi menor que 1 para todos os poços, indicando amolecimento reverso, dada pela Equação 18. Os valores médios de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  foram 65 e 178 mg/L, respectivamente. Os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  estão dentro do limite (200 mg/L e 250 mg/L) pela norma vigente. Em 3 poços (75 %) percebeu-se a presença de evaporitos de origem marinha, pela relação  $r\text{Mg}^{2+} / r\text{Ca}^{2+} > 1$  (mínimo de 1,27 e máximo de 3,01), reforçada pela concentração de STD maior que 500 mg/L

(HOUNSLOW, 1995; HEM, 1989). O íon  $\text{Cl}^-$  apresentou-se acima do limite (250 mg/L) para 25 % (1 poço) das águas, com concentração de 287 mg/L.

O grupo 2 (5 poços) apresentou salinidade variando de média, em 80 % (4 poços) das águas, a alta, em 20 % das águas (1 poço). A condutividade elétrica máxima foi de 827  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . O Sólido Total Dissolvido oscilou de 302 a 535 mg/L, em 20 % (1 poço) das águas com valor acima do permitido (500 mg/L). Para a dureza total todos os poços foram identificados como próprias para o consumo humano. Os íons  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$  apresentaram valores médios de 29 e 28 mg/L, respectivamente. Da relação  $r\text{Mg}^{2+} / r\text{Ca}^{2+}$  os poços BB8, JN18 e JN22 apresentaram taxas maiores que 1 (oscilando de 1,95 a 4,73). A concentração de magnésio na água tende a aumentar ao longo do caminho do fluxo de um terreno até o maior valor da relação  $r\text{Mg}^{2+} / r\text{Ca}^{2+} > 1$  ser atingida (HEM, 1989). Os poços JN18 e JN22 encontraram-se próximos e pertencentes a mesma formação, com base na relação  $r\text{Mg}^{2+} / r\text{Ca}^{2+} > 1$ , inferiu-se o sentido do fluxo das águas de JN18 para JN22 (Tabela 11). Para o conjunto de poços deste grupo, verificou-se a relação inversa da profundidade com a concentração de  $\text{NO}_3^-$  (Tabela 11), reforçando as evidências de alguns estudos do excesso de nitrato ser mais perceptível à medida que a profundidade em poços de abastecimento de águas diminui (FRANCA *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2017; ATOR; FERRARI, 1997).

Tabela 11 – Características dos poços, componente Dim1, grupo 2, período seco

Poços	$\text{NO}_3^-$	Formação Superficial	Profundidade (m)	$r\text{Mg}^{2+} / r\text{Ca}^{2+}$
BB8	0,0	Aluviões	134	2,101
JN1	0,0	Formação Brejo Santo	110	0,731
CT5	6,5	Formação Rio da Batateira	*	0,956
JN22	61,9	Formação Rio da Batateira	*	4,726
JN18	73,1	Formação Rio da Batateira	84	1,946

Obs.: \* profundidade não disponível

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O grupo 3 (14 grupos), 72 % (10 poços) das águas apresentaram salinidade baixa com condutividade elétrica máxima de 225  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 28 % (4 poços) das águas apresentam salinidade alta variando de 277 a 374  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Os Sólidos Totais Dissolvidos oscilaram de 71 a 164 mg/L, estando todas as amostras dentro do limite permitido (500 mg/L) da norma vigente. A dureza total variou de 12 a 92 mg/L, com concentrações dentro do limite permitido (250 mg/L). Para o íon  $\text{Na}^+$  a concentração máxima foi de 28 mg/L, abaixo dentro do máximo permitido (250 mg/L) pela norma vigente. Os íons  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$  apresentaram valores médios

de 8 e 7 mg/L. Em 100 % das águas (14 poços) houve a relação  $rMg^{2+} / rCa^{2+} > 1$  e mediante a variação dos sólidos totais percebeu-se a dissolução de minerais ferromagnesianos. A oxidação é um fenômeno que ocorre na decomposição das rochas, tanto por agentes orgânicos como inorgânicos. Numa reação química, característica de oxidação, o ferro encontrado nas rochas altera-se de bivalente ( $Fe^{2+}$ ) para trivalente ( $Fe^{3+}$ ), provocando mudanças na estrutura cristalina dos minerais ricos em ferro, é visto normalmente na água em vermelho ou amarelo (FREEZE; CHERRY, 1979).

O grupo 4 (13 poços) apresentou salinidade média para todos os poços, variando de 253 a 551  $\mu S/cm$ . A concentração máxima dos Sólidos Totais Dissolvidos, da dureza total e do sódio foram de 395, 188 e 58 mg/L, respectivamente, estando dentro do limite (500, 300 e 200 mg/L) permitido pela norma vigente. A concentração média dos íons  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  foram 24 e 17 mg/L. Para os poços localizados na formação Rio da Batateira, MV13, JN29, CT6 e CT14, à medida que a profundidade aumenta, as dissoluções da calcita ( $CaCO_3$ ) e da dolomita ( $CaMg(CO_3)_2$ ) tendem a deixar de ocorrer,  $(rCa^{2+} + rMg^{2+}) / rHCO_3^- < 1$ , dando lugar a precipitação,  $(rCa^{2+} + rMg^{2+}) / rHCO_3^- > 1$ . Nesse caso, como as águas de recarga possuem baixa concentração de  $Ca^{2+}$ , com o aumento da profundidade há também um maior tempo de contato com a rocha, contribuindo com o aumento da concentração de  $Ca^{2+}$  no fluxo regional. Já para os poços MV7 e ML1 localizados na formação Missão Velha, e para os poços PT1 e JN2 localizados na formação Brejo Santo, percebeu-se uma relação inversa ao ocorrido na formação Rio da Batateira. Nesse caso, a dissolução tendeu a aumentar à medida que a profundidade aumentou. As águas das formações Missão Velha e Brejo afiguraram-se predominantemente bicarbonatadas indicando um fluxo local, significando menor contato água-rocha.

Tabela 12 – Características dos poços em Dim 1, grupo 4, período seco

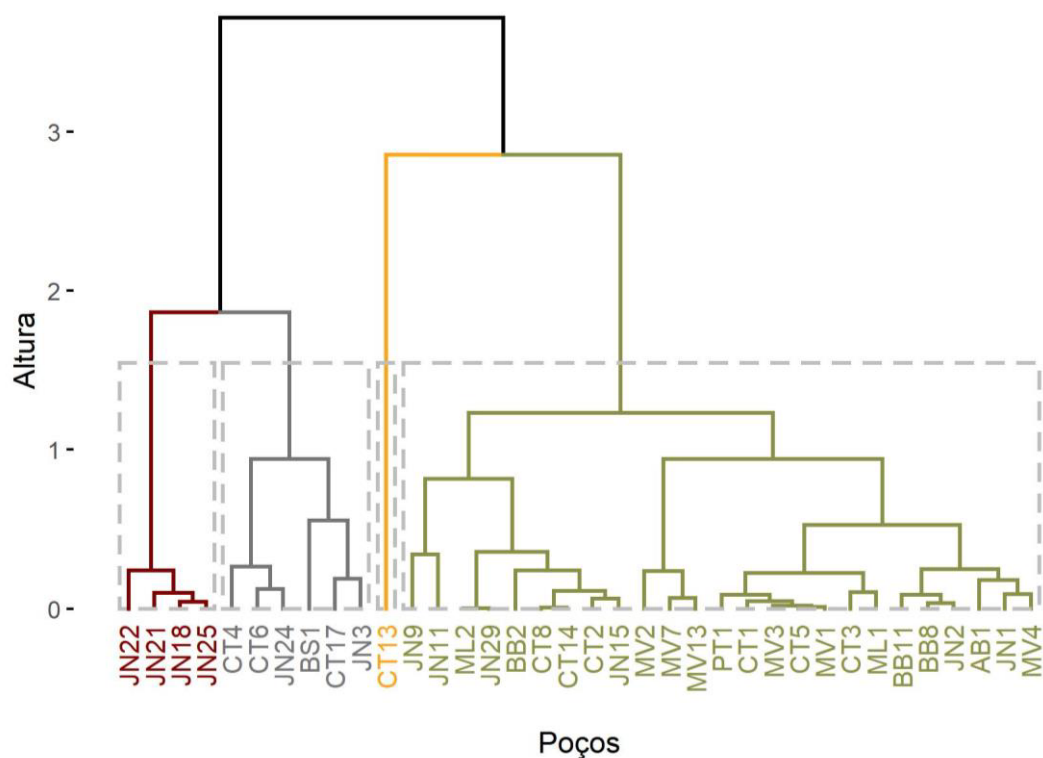
Amostra	Formação	Profundidade	$(rCa^{2+} + rMg^{2+}) / rHCO_3^-$	Índice Saturação
MV13	Rio da Batateira	180	0,67	0,22
JN29	Rio da Batateira	140	1,42	-0,9
CT6	Rio da Batateira	*	1,86	-4,42
CT14	Rio da Batateira	109	2,83	-1,54
MV7	Missão Velha	90	0,78	-0,21
ML1	Missão Velha	60	0,47	-1,17
PT1	Brejo Santo	84	1,41	-1,24
JN2	Brejo Santo	80	0,89	0,24

Obs.: \* dado não informado

Fonte: Elaborado pelo Autor.

De acordo com os atributos da componente Dim2 (pH,  $K^+$ ,  $HCO_3^-$ , e  $NO_3^-$ ), período seco, 4 grupos similares foram gerados compostos por 11 % (4 poços), 17 % (6 poços), 3 % (1 poço) e 69 % (25 poços) das amostras analisadas nos grupos 1, 2, 3 e 4, respectivamente (Figura 28). Diferente da componente Dim2, período chuvoso, os íons  $Ca^{2+}$  e  $NO_2^-$  não fizeram parte desta componente.

Figura 28 – Agrupamentos dos poços Dim2 – período seco



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O grupo 1 (4 poços) composto por poços localizados em área urbana no município de Juazeiro do Norte, apresentou pH ácido variando de 4,0 a 6,2, os poços JN25, JN22 e JN18 apresentaram pH abaixo do limite permitido (6,0 a 9,0) pela portaria vigente. A concentração de  $\text{NO}_3^-$  variou de 54,6 a 73,1 mg/L, superior ao permitido (45 mg/L) pela norma vigente, refletindo a possível ação antrópica em todos os poços deste grupo. Pela portaria vigente não há um valor máximo permissível para o íon  $\text{K}^+$ , os teores de potássio nas águas subterrâneas são inferiores a 10 mg/L, sendo mais frequente valores entre 1 e 5 mg/L (SANTOS, 2008), os poços deste grupo apresentaram concentração média de 25,2 mg/L. O alto nível de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{K}^+$  e a correlação forte positiva desses íons,  $r = 0,842$  (Figura 10b), reforçam a influência antrópica. Em áreas urbanas, o esgoto é uma rica fonte de  $\text{K}^+$ , a maior parte de  $\text{K}^+$  consumido pela população humana é excretada pela urina, havendo também perdas pelo trato digestivo e pelo suor (KRINGEL *et al.*, 2016; PUTNAM, 1971). Os poços de mesma formação, Rio da Batateira, JN21, JN18 e JN22 apresentaram concentração de  $\text{HCO}_3^-$  decrescente, respectivamente. À medida que a profundidade aumenta as águas evoluem na acidez, indicando um fluxo de descarga local para JN21, por ser raso (8 m), e de descarga regional para JN18 e JN22. Inferiu-se para JN22 como o poço mais profundo dos três por possuir menor concentração de  $\text{HCO}_3^-$  e conter águas mais ácidas.

O grupo 2 (6 poços), apresentou a característica de ser o mais ácido, o pH variou de 4,2 a 5,2, estando suas águas abaixo do limite permitido (6,0 a 9,0) pela portaria vigente. Para o íon  $\text{NO}_3^-$  todos os poços apresentaram concentração abaixo do limite permitido (45 mg/L), contudo o poço CT4 apresentou nível próximo ao máximo permitido com 42,3 mg/L. Os íons  $\text{K}^+$  e  $\text{HCO}_3^-$  apresentaram concentração média de 18 e 19 mg/L.

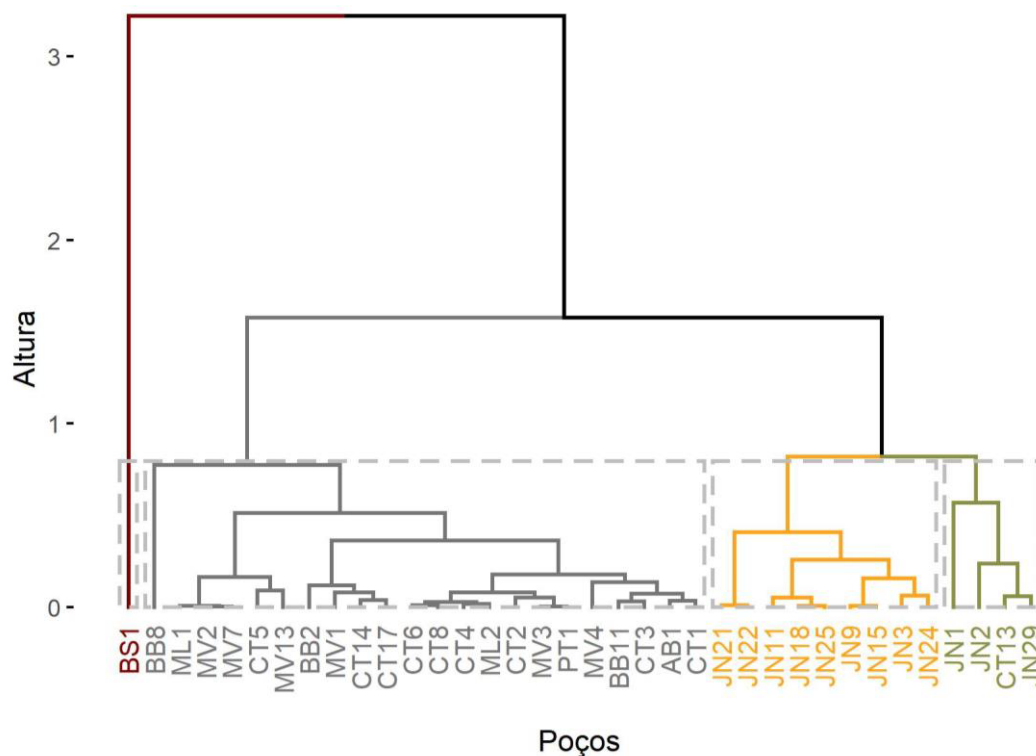
O grupo 3 (1 poço), é representado por um poço localizado fora da área urbana, o pH foi caracterizado como básico dentro do limite permitido (6,0 a 9,0) pela portaria vigente. Com relação ao íon  $\text{NO}_3^-$  o mesmo não apresentou indício de contaminação. O poço CT13 possivelmente está localizado em área de descarga local, a água do poço conteve alta concentração de  $\text{HCO}_3^-$ , 536 mg/L, classificada como bicarbonatada pelo diagrama de Piper (Tabela 6). O fluxo local por ser mais dinâmico, há o menor contato água-rocha, as águas tendem a serem bicarbonatadas devido a dissolução de  $\text{CO}_2$  do solo (GOMES *et al.*, 2017; MESTRINHO, 2008).

O grupo 4 (25 poços), foi caracterizado como o de menor acidez, apresentou pH variando de 5,7 a 7,9, quatro poços abaixo do limite e vinte e um poços com pH dentro do limite permitido (6,0 a 9,0) pela portaria vigente. A concentração de  $\text{NO}_3^-$  em todos os poços foi abaixo

do limite máximo permitido (45 mg/L), 88 % deles variou de 0 a 3,2 mg/L, os poços JN9, JN11 e CT14 apresentaram concentrações de 9,3; 11,1 e 20,7. Sob o ponto de vista da influência antrópica este grupo de poços apresentou a melhor qualidade das águas. A concentração média do íon  $K^+$  foi de 7,2 mg/L. O íon  $K^+$  apresentou valores dentro do previsto para águas subterrâneas. O íon  $HCO_3^-$  oscilou de 29,1 mg/L a 310,1 mg/L, a maior concentração foi observada no poço AB1, Formação Abaiara.

De acordo com o atributo da componente Dim3 (precipitação – ausência), período seco, os 4 grupos similares gerados, Figura 29, foram compostos por 3 % (1 poço), 61 % (22 poços), 25 % (9 poços) e 11 % (4 poços), das amostras analisadas nos grupos 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

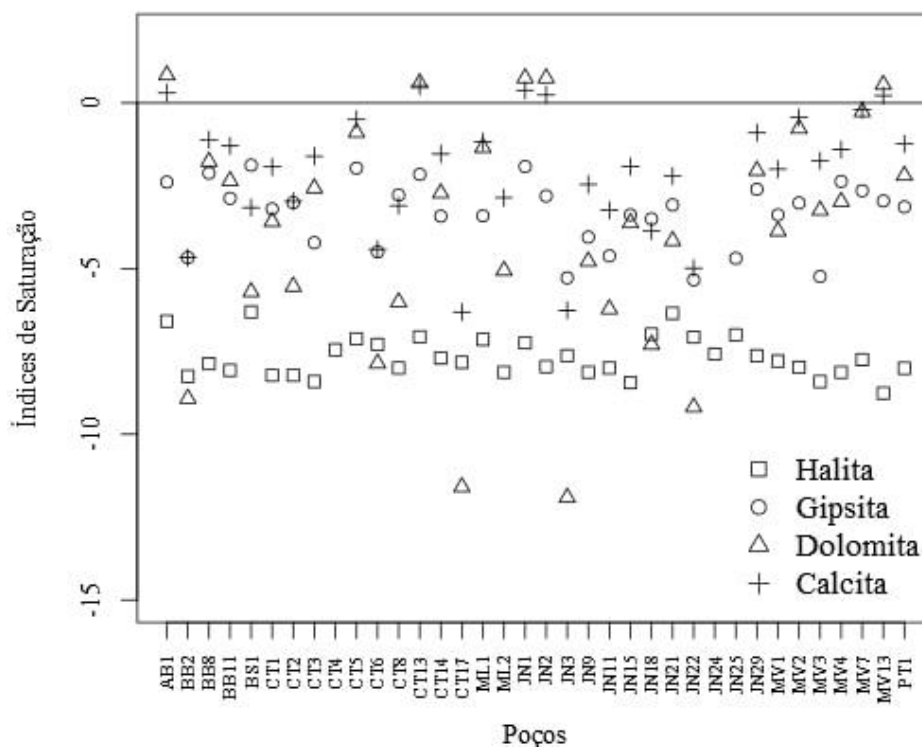
Figura 29 – Agrupamentos dos poços Dim3 – período seco



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O grupo 1 (1 poço) formado pelo poço BS1, continuou no período seco com a maior concentração de  $SO_4^{2-}$ , com aumento na proporção de 17 % em relação ao período chuvoso. Com o déficit da precipitação, de 208 para 7 mm, possivelmente proporcionou a redução da diluição do íon  $SO_4^{2-}$  ou o aumento da dissolução da gipsita, aumentando assim sua tendência a saturação (Figura 30) dada pela Equação 26.

Figura 30 – Índices de saturação da halita, gipsita, dolomita e calcita – seco



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O grupo 2 (22 poços), apresentou precipitação variando de 0 a 8,9 mm, com predominância de águas tendendo a subsaturação da halita (NaCl), os índices de saturação variaram de -8,76 a -6,59. A halita (NaCl) apresentou correlação forte-positiva com a condutividade elétrica (CE),  $r = 0,802$ , e correlação forte-negativa com a profundidade (m),  $r = -0,714$ . Ao passo da diminuição da profundidade, máxima de 180 e mínima de 70 (m), houve o aumento da concentração da halita possivelmente ao contato com sais solúveis associados a evaporitos marinhos. Todos os poços para o íon  $\text{NO}_3^-$  apresentaram águas dentro do limite permitido.

O grupo 3 (9 poços), foi caracterizado por poços localizados em área urbana no município de Juazeiro do Norte, cujo período seco apresentou precipitação pluviométrica de 52 mm. Cinco poços, JN3, JN9, JN11, JN15 e JN24 atenderam aos padrões de potabilidade, quanto ao íon  $\text{NO}_3^-$ , com valor máximo de 23,6 mg/L. As concentrações de  $\text{NO}_3^-$  dos demais poços foram maiores que o limite permitido, com mínimo de 54,6 e máximo de 73,1 mg/L, possivelmente devido a ação antrópica. Ao comparar com o período chuvoso (precipitação de 422,1 mm), houve uma redução do íon  $\text{NO}_3^-$  no período seco em todos os 9 poços, oscilando de 23 a 100 %, indicando a possibilidade da ocorrência da precipitação como influência no



aumento da contaminação desses poços por  $\text{NO}_3^-$  devido a lixiviação de resíduos de origem antrópica.

O grupo 4 (4 poços) foi composto por poços localizados nos municípios de Crato e Juazeiro do Norte, onde os poços CT13, JN1 e JN2 foram identificados em área urbana. As precipitações nos dois municípios foram de 7,2 e 52 mm, respectivamente. No período seco, 75 % dos poços (CT13, JN1 e JN2) apresentaram-se saturados para calcita e dolomita, a água aumenta o contato com a rocha, permitindo maior liberação e possível precipitação de  $\text{Ca}^{2+}$ .

A análise multivariada de dados (ACP), permitiu verificar a intensidade dos grupos de poços (clusters) em relação as dimensões: no período chuvoso, em Dim1 (CE, STD, D,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{NO}_3^-$ ), o agrupamento dois obteve a menor intensidade, aumentando em direção dos agrupamentos um, quatro e três (Figura 23); a Dim2 (pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$ ) pôde ser dividido em dois subgrupos de variáveis, *i.* pH,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{HCO}_3^-$ , *ii.*  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$ , com a característica de serem inversamente proporcionais entre si, para o subgrupo *ii.* percebeu-se a menor intensidade no agrupamento dois, evoluído no sentido dos subagrupamentos quatro, três e um (Figura 24); em Dim3 (ocorrência/ausência da precipitação) a menor intensidade ocorreu no subagrupamento um, evoluindo no sentido dos subagrupamentos dois, três e quatro (Figura 25). No período seco, em Dim1 (CE, STD, D,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ), o subagrupamento três apresentou a menor intensidade, seguido pelos subagrupamentos quatro, dois e um (Figura 27); Dim2 (pH,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{NO}_3^-$ ) pôde ser dividido em dois subgrupos de variáveis, *i.* pH e  $\text{HCO}_3^-$ , *ii.*  $\text{K}^+$  e  $\text{NO}_3^-$ , permanecendo a característica de serem inversamente proporcionais entre si, no subgrupo *i.* percebeu-se a menor intensidade para o subagrupamento um, evoluído no sentido dos subagrupamentos dois, quatro e três (Figura 28); em Dim3, período seco, a intensidade apresentou características semelhantes a Dim3 do período chuvoso (Figura 29).

#### 5.4 Modelagem espacial

Os dados utilizados na modelagem espacial, para os períodos chuvoso e seco, são uma combinação de dados estocásticos e reais (APÊNDICES C e D). O teste para verificação da tendência de uma distribuição a normalidade (Teste de Shapiro) foi empregado para os dados COGERH, para os dados CPRM (imputados e não imputados), e para o conjunto COGERH e CPRM, em ambos os períodos (Tabela 13). Verificou-se a não tendência a uma distribuição normal, p-valor  $< 0,05$ , para todos os conjuntos de dados e em ambos os períodos, (Tabela 13).

A discordância quanto à possibilidade de uma distribuição normal não caracteriza critério de exclusão para o modelo adotado neste estudo, mas sim de escolha quanto ao tipo de teste estatístico a ser aplicado quanto a identificação da similaridade: ANOVA, para os dados que possam apresentar tendência a uma distribuição normal e, Wilcoxon-Mann-Whitney, para os que não apresentam essa tendência.

Tabela 13 – Testes estatísticos: normalidade

Parâmetros	Normalidade	Normalidade	Normalidade	Normalidade	Normalidade	Normalidade
	Shapiro (p-valor) COGERH (Chuvoso)	Shapiro (p-valor) COGERH (Seco)	Shapiro (p-valor) CPRM (Chuvoso)	Shapiro (p-valor) CPRM (Seco)	Shapiro (p-valor) COGERH e CPRM (Chuvoso)	Shapiro (p-valor) COGERH e CPRM (Seco)
pH	7,451x10 <sup>-11</sup>	2,506x10 <sup>-11</sup>	2,785x10 <sup>-13</sup>	2,097x10 <sup>-12</sup>	1,345x10 <sup>-17</sup>	2,981x10 <sup>-21</sup>
CE	7,953x10 <sup>-05</sup>	9,113x10 <sup>-05</sup>	1,109x10 <sup>-08</sup>	6,903x10 <sup>-09</sup>	2,126x10 <sup>-10</sup>	1,483x10 <sup>-10</sup>
STD	6,516x10 <sup>-04</sup>	8,973x10 <sup>-04</sup>	2,773x10 <sup>-09</sup>	2,773x10 <sup>-09</sup>	1,354x10 <sup>-10</sup>	2,380x10 <sup>-10</sup>
D	2,747x10 <sup>-04</sup>	1,426x10 <sup>-03</sup>	2,046x10 <sup>-04</sup>	2,634x10 <sup>-04</sup>	2,535x10 <sup>-06</sup>	4,779x10 <sup>-06</sup>
Ca <sup>2+</sup>	2,721x10 <sup>-07</sup>	1,118x10 <sup>-06</sup>	2,791x10 <sup>-06</sup>	3,342x10 <sup>-05</sup>	3,603x10 <sup>-10</sup>	1,323x10 <sup>-09</sup>
Mg <sup>2+</sup>	1,297x10 <sup>-04</sup>	3,471x10 <sup>-05</sup>	2,112x10 <sup>-06</sup>	3,143x10 <sup>-06</sup>	3,870x10 <sup>-08</sup>	2,490x10 <sup>-08</sup>
Na <sup>+</sup>	3,502x10 <sup>-05</sup>	7,967x10 <sup>-06</sup>	1,390x10 <sup>-06</sup>	1,127x10 <sup>-08</sup>	3,043x10 <sup>-09</sup>	7,938x10 <sup>-11</sup>
K <sup>+</sup>	1,504x10 <sup>-06</sup>	1,695x10 <sup>-06</sup>	5,082x10 <sup>-11</sup>	1,137x10 <sup>-10</sup>	7,473x10 <sup>-13</sup>	3,961x10 <sup>-12</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,785x10 <sup>-05</sup>	1,851x10 <sup>-04</sup>	5,488x10 <sup>-08</sup>	2,239x10 <sup>-07</sup>	3,035x10 <sup>-10</sup>	7,166x10 <sup>-09</sup>
Cl <sup>-</sup>	8,176x10 <sup>-08</sup>	1,582x10 <sup>-07</sup>	3,980x10 <sup>-11</sup>	2,956x10 <sup>-11</sup>	5,035x10 <sup>-14</sup>	6,105x10 <sup>-14</sup>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4,196x10 <sup>-08</sup>	1,800x10 <sup>-08</sup>	1,029x10 <sup>-11</sup>	5,100x10 <sup>-12</sup>	2,308x10 <sup>-14</sup>	7,597x10 <sup>-15</sup>
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1,333x10 <sup>-05</sup>	4,076x10 <sup>-07</sup>	3,643x10 <sup>-08</sup>	1,172x10 <sup>-08</sup>	1,556x10 <sup>-10</sup>	1,506x10 <sup>-11</sup>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3,005x10 <sup>-07</sup>	3,807x10 <sup>-08</sup>	3,563x10 <sup>-13</sup>	4,128x10 <sup>-16</sup>	1,504x10 <sup>-15</sup>	1,175x10 <sup>-17</sup>

Nível de significância  $\alpha = 0,05$ .

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A homogeneidade (Levene) e a similaridade (Wilcoxon-Mann-Whitney) foram aplicadas para cada parâmetro na comparação entre os dados COGERH e CPRM (imputados e não imputados). Pelo teste de Levene há tendência de igualdade de variância, com nível de significância  $\alpha = 0,05$ , para os parâmetros CE, STD, D, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, o pH no período seco e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em ambos os períodos, apresentaram tendência de

igualdade de variância para  $\alpha = 0,01$ . Pelo teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, os parâmetros STD no período seco,  $K^+$  em ambos os períodos e  $NO_3^-$  no período chuvoso, apresentaram similaridade para  $\alpha = 0,01$ , os demais em ambos os períodos apresentaram similaridade para  $\alpha = 0,05$ , entre seus respectivos dados COGERH e CPRM (imputados e não imputados) (Tabela 14).

Sendo assim, para todos parâmetros em ambos os períodos, serão verificadas a possibilidade da modelagem de espacialidade, por não apresentarem divergência quanto a homogeneidade e similaridade ( $\alpha = 0,05$  ou  $\alpha = 0,01$ ) (Tabela 14).

Tabela 14 – Testes estatísticos: homogeneidade e similaridade

Parâmetros	Homogeneidade	Homogeneidade	Similaridade	Similaridade
	Levene	Levene	Wilcox	Wilcox
	(p-valor)	(p-valor)	(p-valor)	(p-valor)
	CPRM	CPRM	CPRM	CPRM
	x	x	x	x
	COGERH	COGERH	COGERH	COGERH
	(Chuvoso)	(Seco)	(Chuvoso)	(Seco)
pH	$7,435 \times 10^{-01}$	$1,445 \times 10^{-02*}$	$9,638 \times 10^{-02}$	$7,861 \times 10^{-02}$
CE	$9,524 \times 10^{-01}$	$9,505 \times 10^{-01}$	$3,144 \times 10^{-01}$	$5,126 \times 10^{-01}$
STD	$4,949 \times 10^{-01}$	$6,351 \times 10^{-01}$	$6,386 \times 10^{-02}$	$3,318 \times 10^{-02*}$
D	$9,685 \times 10^{-01}$	$7,760 \times 10^{-01}$	$5,591 \times 10^{-01}$	$3,375 \times 10^{-01}$
$Ca^{2+}$	$8,927 \times 10^{-01}$	$4,886 \times 10^{-01}$	$6,292 \times 10^{-01}$	$9,838 \times 10^{-01}$
$Mg^{2+}$	$9,374 \times 10^{-01}$	$5,035 \times 10^{-01}$	$2,919 \times 10^{-02*}$	$1,972 \times 10^{-01}$
$Na^+$	$8,420 \times 10^{-02}$	$4,682 \times 10^{-01}$	$4,035 \times 10^{-01}$	$9,003 \times 10^{-01}$
$K^+$	$1,662 \times 10^{-01}$	$3,154 \times 10^{-01}$	$3,225 \times 10^{-02*}$	$1,108 \times 10^{-02*}$
$HCO_3^-$	$8,481 \times 10^{-01}$	$9,823 \times 10^{-01}$	$4,246 \times 10^{-01}$	$1,242 \times 10^{-01}$
$Cl^-$	$7,534 \times 10^{-01}$	$9,824 \times 10^{-01}$	$9,247 \times 10^{-01}$	$9,704 \times 10^{-01}$
$SO_4^{2-}$	$9,969 \times 10^{-01}$	$6,626 \times 10^{-01}$	$1,029 \times 10^{-01}$	$1,984 \times 10^{-01}$
$NO_2^-$	$7,592 \times 10^{-01}$	$4,374 \times 10^{-01}$	$5,266 \times 10^{-01}$	$8,982 \times 10^{-01}$
$NO_3^-$	$1,410 \times 10^{-02*}$	$9,710 \times 10^{-03*}$	$5,564 \times 10^{-03*}$	$6,185 \times 10^{-01}$

Níveis de significância  $\alpha = 0,05$ ,  $\alpha = 0,01$  \*.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os gráficos em três dimensões foram desenvolvidos para identificar a melhor adequação dos dados a malha (UTME x UTMN), na perspectiva: *i.* de dados originais (APÊNDICES C e D); *ii.* de dados com direcionamento linear (APÊNDICES E e F), *iii.* de dados com direcionamento não linear de segunda ordem (APÊNDICES G e H). Os dados com direcionamento linear foram escolhidos por apresentarem menor RMSE entre os dados e a malha (APÊNDICES I, J, K, L, M e N). Os dados com melhor adequação à malha (UTME x UTMN) possibilitaram a obtenção dos melhores variogramas para o desenvolvimento da modelagem espacial (APÊNDICES O e P).

#### 5.4.1 Período chuvoso

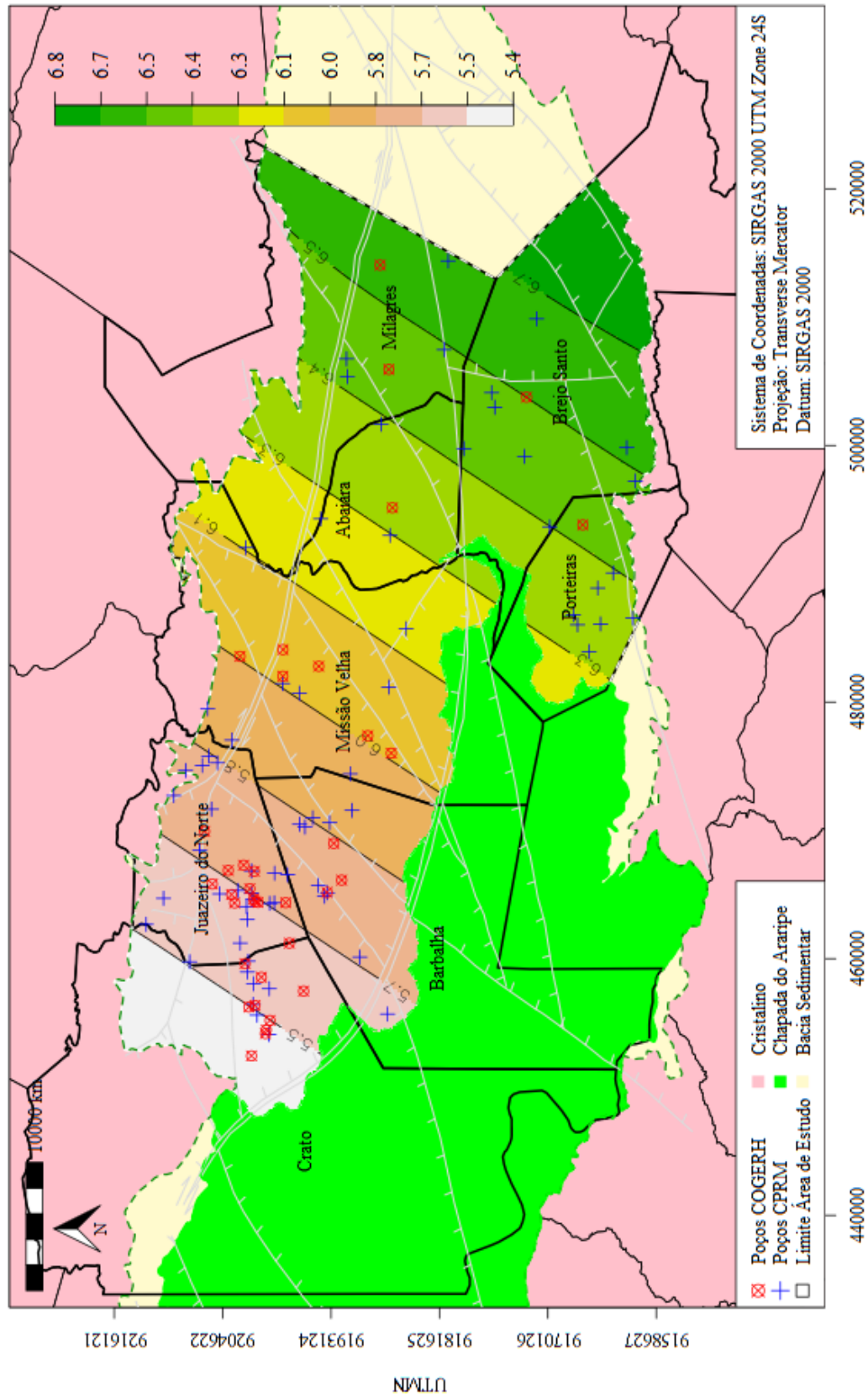
No período chuvoso, considerando o fator de anisotropia maior que 0,90, verificou-se a tendência de isotropia, para STD e D, 0,964 e 0,946, respectivamente. Os parâmetros pH, CE,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{NO}_3^-$  apresentaram fator de anisotropia variando de 0,109 ( $\text{Na}^+$ ) a 0,826 ( $\text{Mg}^{2+}$ ) (APÊNCIDE Q).

Ao verificar a intensidade das correlações, de fraca a forte, no período chuvoso (Figura 10a), com o pH correlacionando-se positivamente com o  $\text{HCO}_3^-$ , percebeu-se uma semelhança de direção, de  $135^\circ$  e  $115^\circ$ , respectivamente. As modelagens espaciais para o pH e o  $\text{HCO}_3^-$  (Mapas 3 e 4), apresentaram faixas crescentes de isolinhas com direções e sentidos de noroeste para sudeste.

Pela análise hidroquímica o íon  $\text{HCO}_3^-$  apresentou a mesma tendência de comportamento do pH, a predominância da interação água-rocha, conforme percebido pelo diagrama de Gibbs, indica o intemperismo químico de minerais formadores da rocha com influência na qualidade da água subterrânea pela dissolução de minerais (DATTA; TYAGI, 1996), tendo a calcita e a dolomita como minerais com tendência a saturação (Figuras 20 e 21).

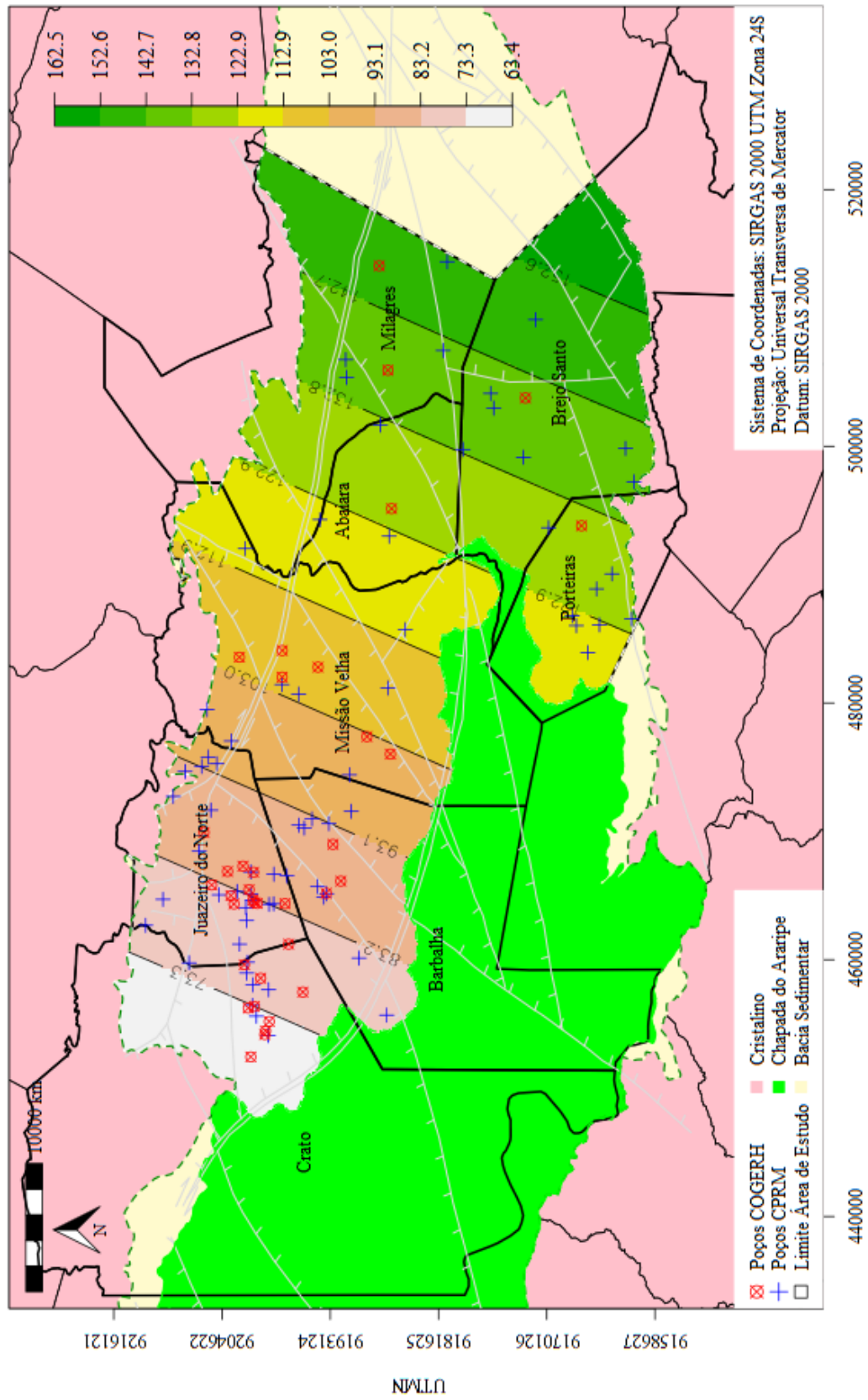
As zonas de maior acidez (pH de 5,4 a 6,1) e de menor incidência de  $\text{HCO}_3^-$  (de 63,4 a 112,9), foram localizadas em áreas urbanas. O  $\text{NO}_3^-$  apresentou correlação negativa com o pH e o  $\text{HCO}_3^-$ , com faixas de isolinhas decrescentes de noroeste para sudeste, à  $130^\circ$ , evidenciando, por meio da modelagem espacial e pela análise hidroquímica, as maiores concentrações de  $\text{NO}_3^-$  nos municípios de maior ação antrópica, Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha e Missão Velha (Mapa 5).

Mapa 3 – Modelagem espacial pH – janeiro



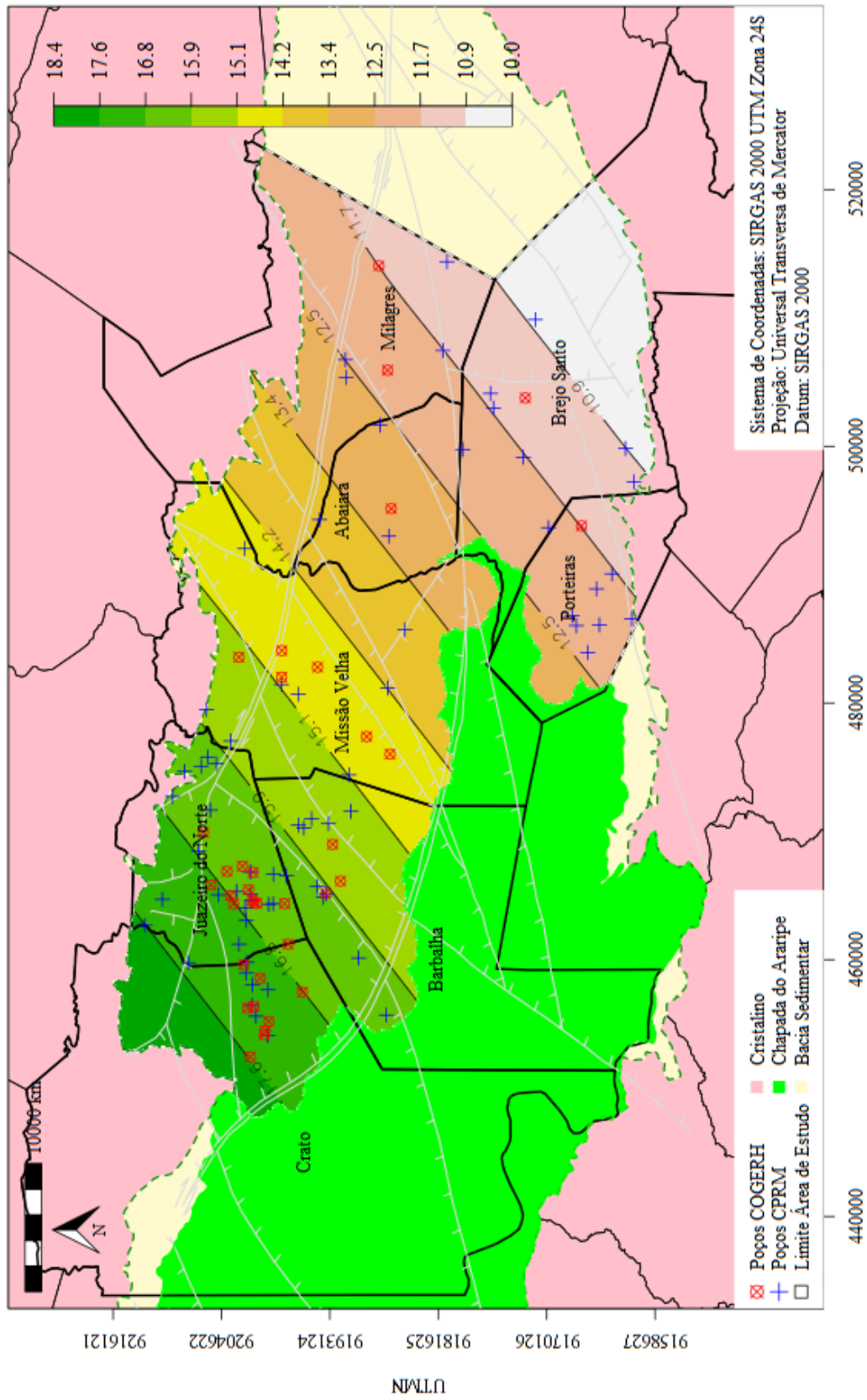
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Mapa 4 – Modelagem espacial HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> – janeiro



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Mapa 5 – Modelagem espacial  $\text{NO}_3^-$  – janeiro



Fonte: Elaborado pelo Autor.

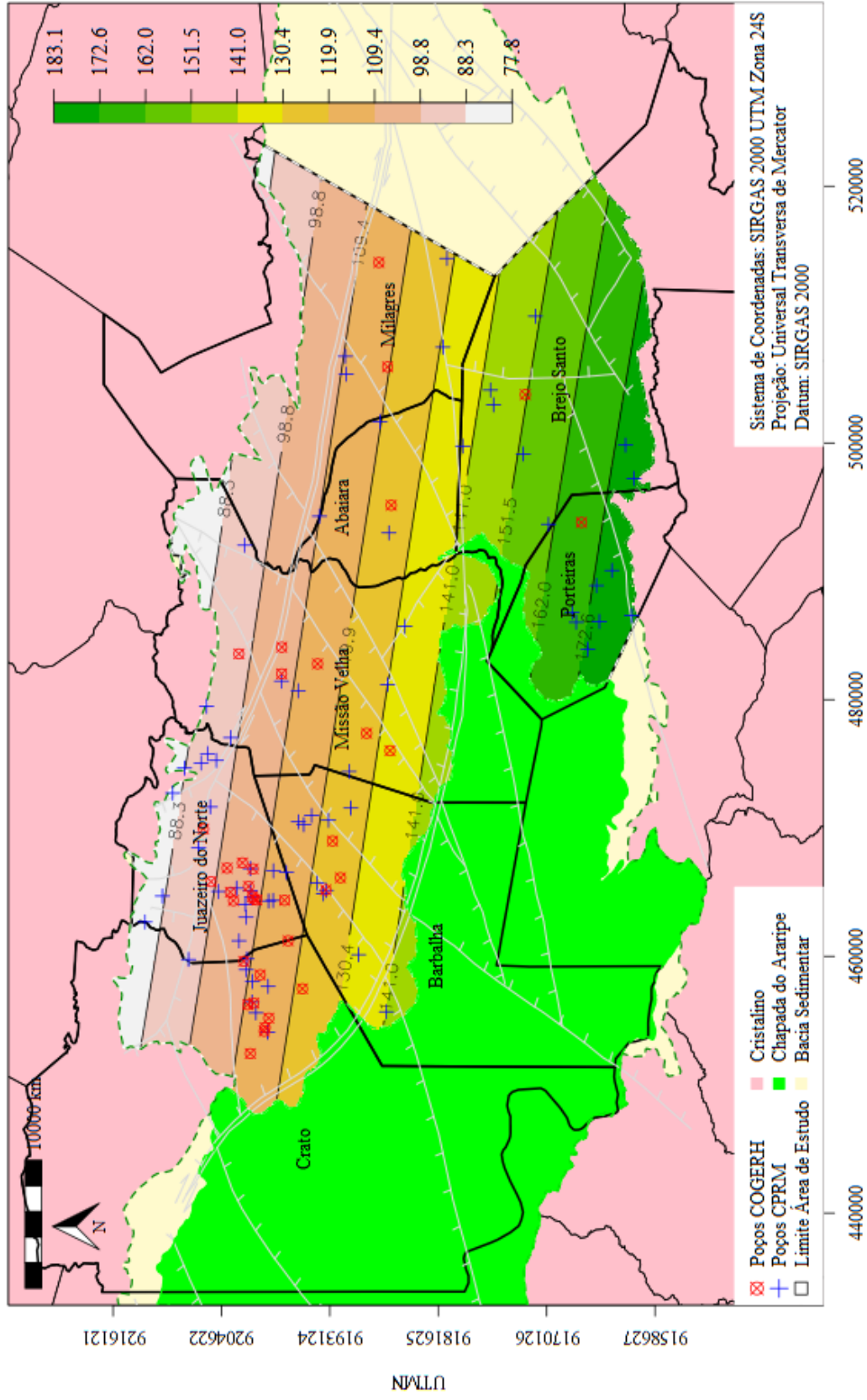
A dureza, no período chuvoso, apresentou correlação forte-positiva com o  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $r = 0,875$  (Figura 10a), as direções e sentidos de ambos foram iguais,  $115^\circ$  de sudoeste para nordeste. Conforme as modelagens espaciais (Mapas 6 e 7) verificou-se a diminuição da concentração da dureza e de  $\text{Ca}^{2+}$ , partindo do Sistema Aquífero Médio ao Sistema Aquífero Inferior, sentido de sudoeste para nordeste.

O  $\text{Mg}^{2+}$  (Mapa 8) apresentou correlação forte-positiva com a dureza,  $r = 0,885$ , apesar do maior *range* na direção  $80^\circ$ , teve a sua evolução de intensidade na direção de menor *range* a  $170^\circ$ , sentido de noroeste para sudeste. Pela análise hidroquímica verificou-se a prevalência de águas alcalinas terrosas [ $r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}$ ], com o poço BS1 detentor da maior concentração de  $r\text{Mg}^{2+}$ .

Pelo diagrama de Chadha identificou-se a prevalência dos alcalinos terrosos,  $r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}$ , em 75 % dos poços, confirmando os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , como fortes contribuidores para a dureza das águas em estudo. As trocas iônicas reversas (Figura 17) indicaram a liberação de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (Equações 23 e 24). Devido a maioria dos poços estarem localizados no aquífero argiloso Rio da Batateira, estes foram influenciados pela ocorrência de trocas iônicas reversas.

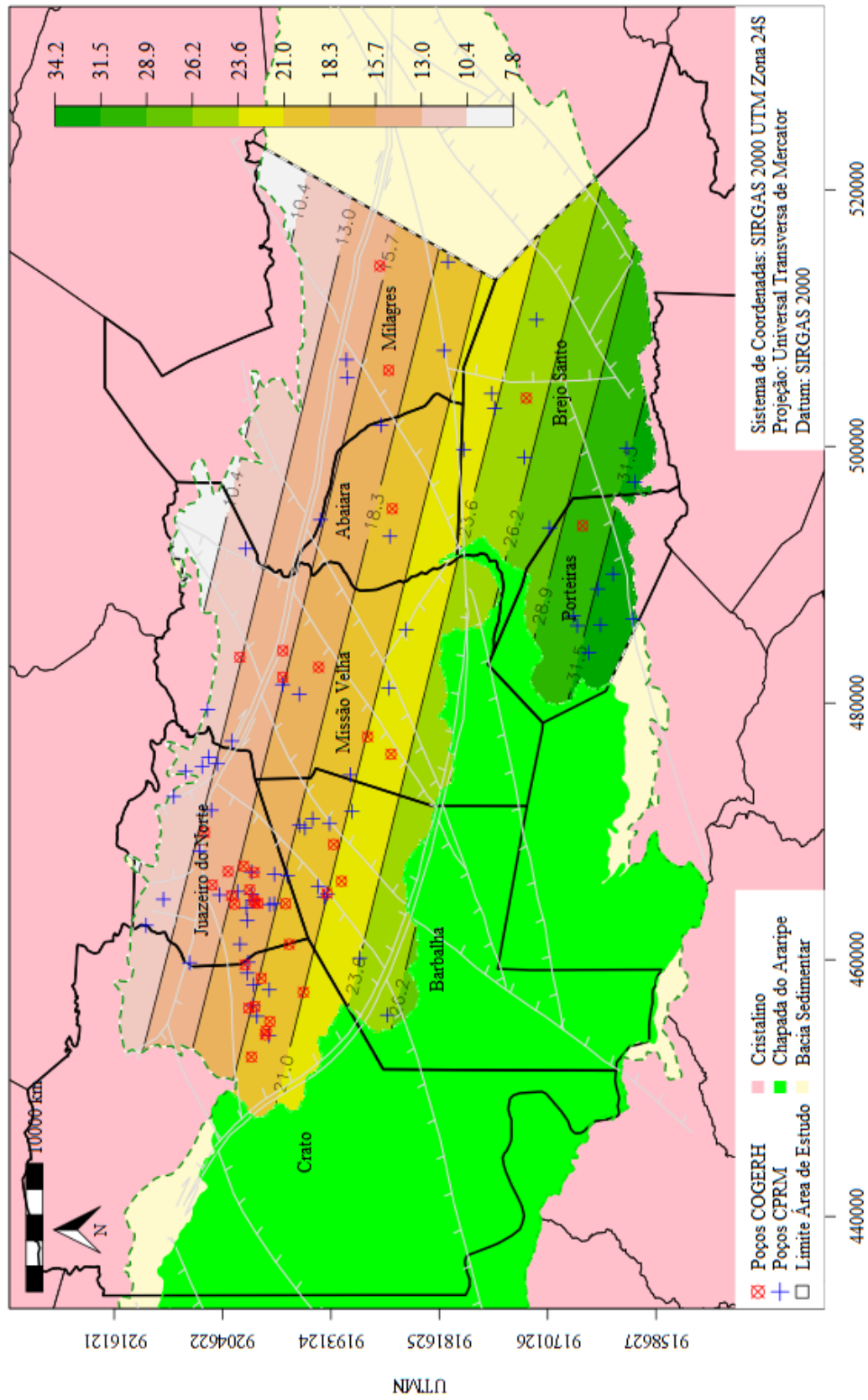


Mapa 6 – Modelagem espacial Dureza – janeiro

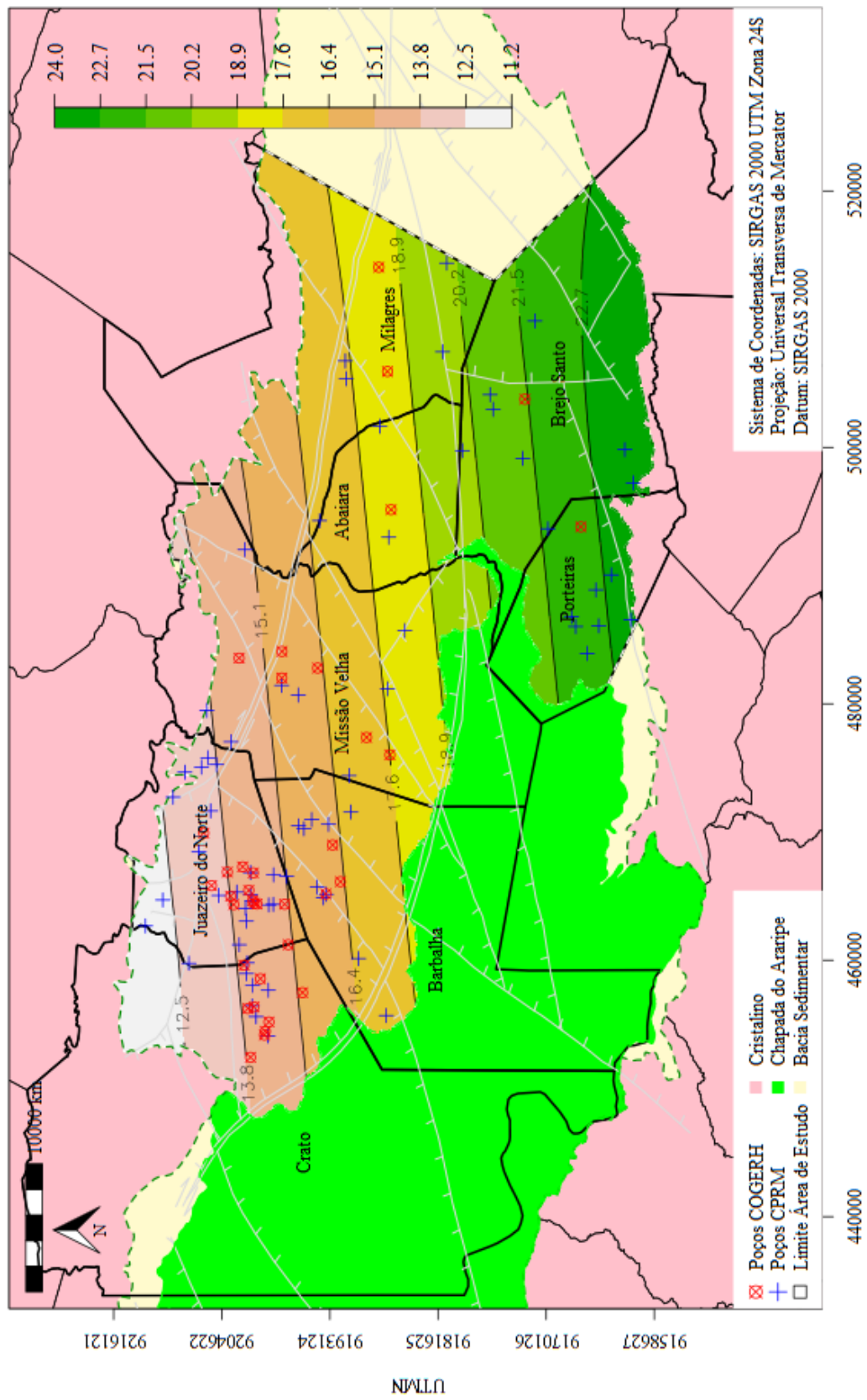


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Mapa 7 – Modelagem espacial  $Ca^{2+}$  – janeiro



Mapa 8 – Modelagem espacial  $Mg^{2+}$  – janeiro



Fonte: Elaborado pelo Autor.

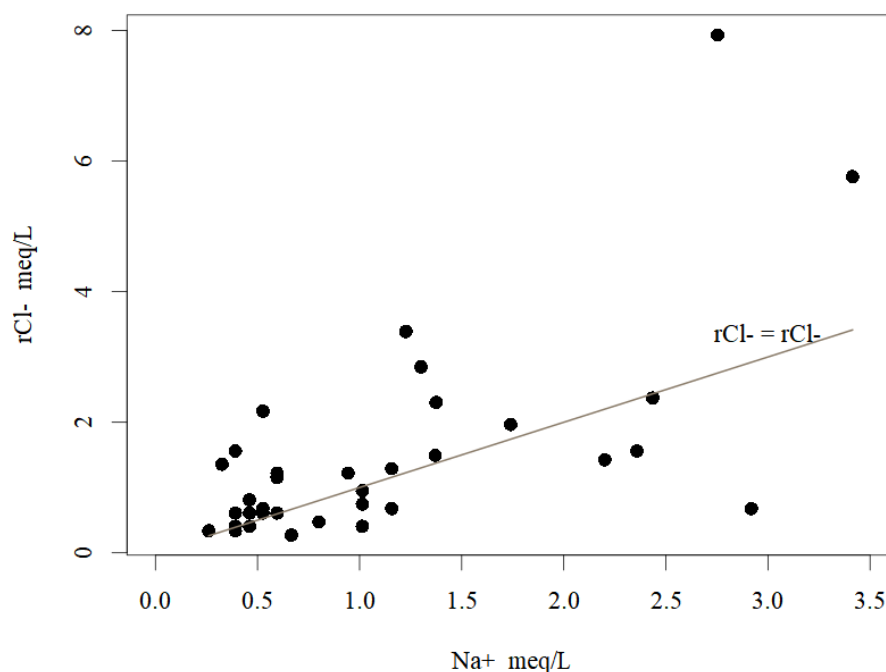
A condutividade elétrica apresentou correlação forte-positiva com o  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , STD e o  $\text{Mg}^{2+}$ . A direção de maior *range* para a condutividade elétrica ocorreu a  $65^\circ$ , já para o  $\text{Na}^+$ , o  $\text{Cl}^-$ , o STD e o  $\text{Mg}^{2+}$  entre  $155^\circ$  e  $170^\circ$ . Para a condutividade elétrica, o  $\text{Cl}^-$ , o STD e o  $\text{Mg}^{2+}$  as isolinhas foram crescentes no sentido de noroeste para sudeste, no entanto, para o  $\text{Na}^+$  as isolinhas foram crescentes no sentido de oeste para leste (Mapas 9, 10, 11 e 12).

O  $\text{Cl}^-$  e o  $\text{Na}^+$  apresentaram correlação diretamente proporcional (Figura 10a), apesar da direção de maior *range* ser  $155^\circ$  para ambos, houve o aumento da intensidade de  $\text{Cl}^-$  no sentido de noroeste para sudeste, conforme a direção de maior *range* ( $155^\circ$ ), mas para o  $\text{Na}^+$  o aumento de sua intensidade aconteceu no sentido de oeste para leste, mediante a direção de menor *range* ( $65^\circ$ ).

O alcalino metálico  $\text{Na}^+$  foi preponderante em relação ao ácido forte  $\text{Cl}^-$  em 22 % (8) dos poços no período chuvoso, em aquíferos contendo argila montmorilonítica configurou-se amolecimento natural (Figuras 15a e 31). Tanto o  $\text{Ca}^{2+}$  quanto o  $\text{Mg}^{2+}$  foram removidos da água e substituídos por  $\text{Na}^+$ . Os ânions permaneceram inalterados (Equação 30) (KSHETRIMAYUM; THOKCHOM, 2017). O cloreto pode provir da dissolução de sais como  $\text{NaCl}$ , de evaporitos marinhos e da lixiviação de minerais ferromagnesianos (GUPTA *et al.*, 2009).



Figura 31 – Razão  $r\text{Na}^+ / r\text{Cl}^-$

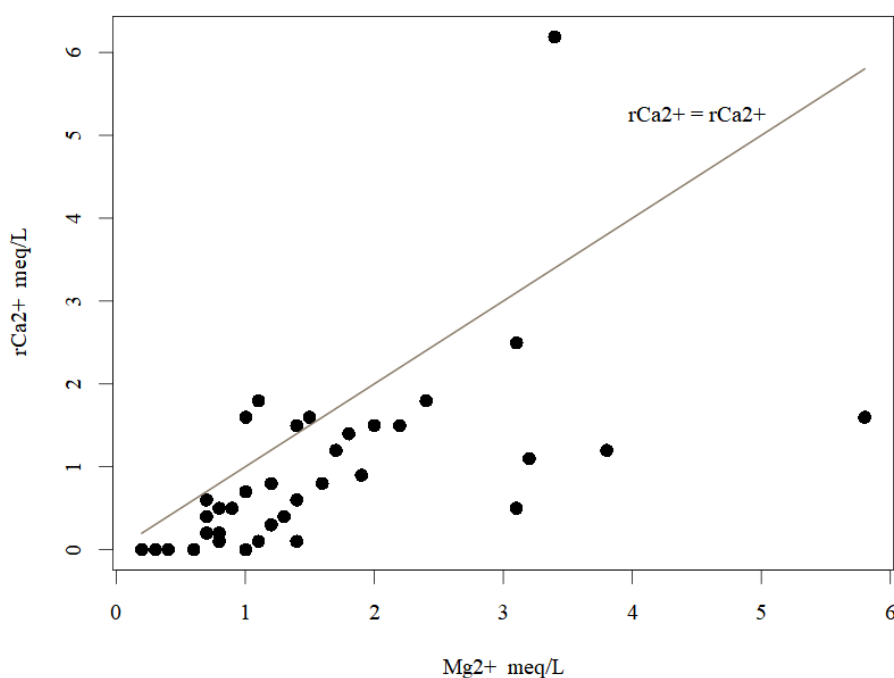


Fonte: Elaborado pelo Autor.

As regiões de maiores concentrações de  $\text{Na}^+$  (Mapa 10), direção  $65^\circ$  e sentido (oeste/leste), municípios de Brejo Santo e Milagres, apresentaram poços localizados na Formação Missão Velha, com a profundidade média de 60 m, em área não urbana, com concentrações de  $\text{NO}_3^-$  abaixo do VMP de 45 mg/L. No poço ML1, no extremo leste, verificou-se a dissolução da halita ( $\text{Na}^+ = \text{Cl}^-$ ), pela relação  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$  e sua classificação pelo diagrama de Piper como sódica mista (Figura 11a) percebeu-se como sendo um poço em área de descarga regional, a concentração de sais solúveis associados a evaporitos marinhos torna a água muito salina (SONNENFELD, 1995).

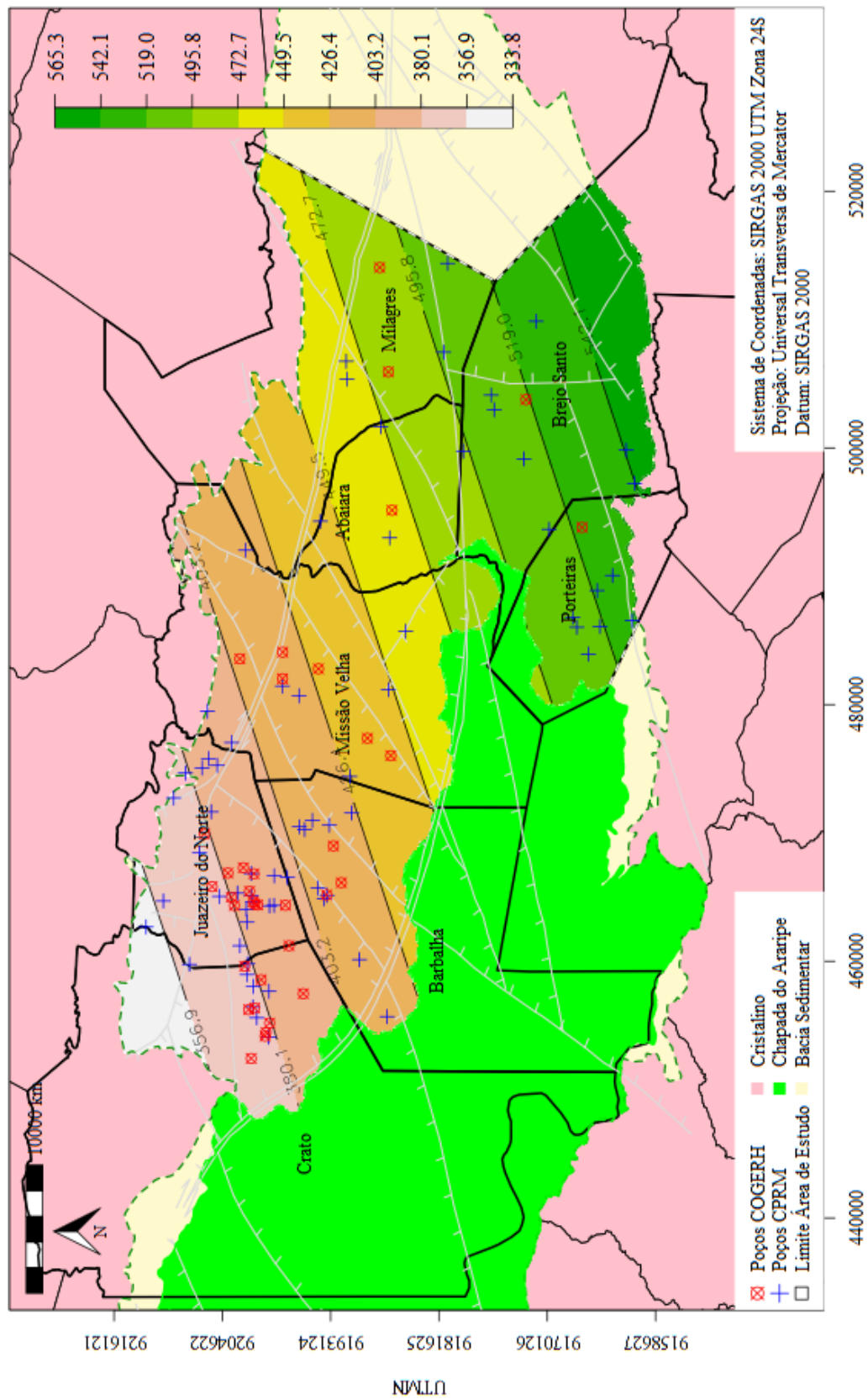
Dentre os cátions, a condutividade elétrica apresentou correlação forte-positiva, com o  $\text{Mg}^{2+}$ , 56 % (20) dos poços foram identificados com razão  $r\text{Mg}^{2+} / r\text{Ca}^{2+} \gg 1$  e os sólidos totais dissolvidos entre 100 e 200 mg/L, indicando a dissolução de minerais ferromagnesianos, de origem de rochas máficas ou ultramáficas. Em 11 % (4) dos poços apresentaram a característica da razão  $r\text{Mg}^{2+} / r\text{Ca}^{2+} \gg 1$  e sólidos totais maior que 500 mg/L, indicando a intrusão de aerossóis marinhos (Figura 32).

Figura 32 – Razão  $r\text{Mg}^{2+} / r\text{Ca}^{2+}$



Fonte: Elaborado pelo Autor.

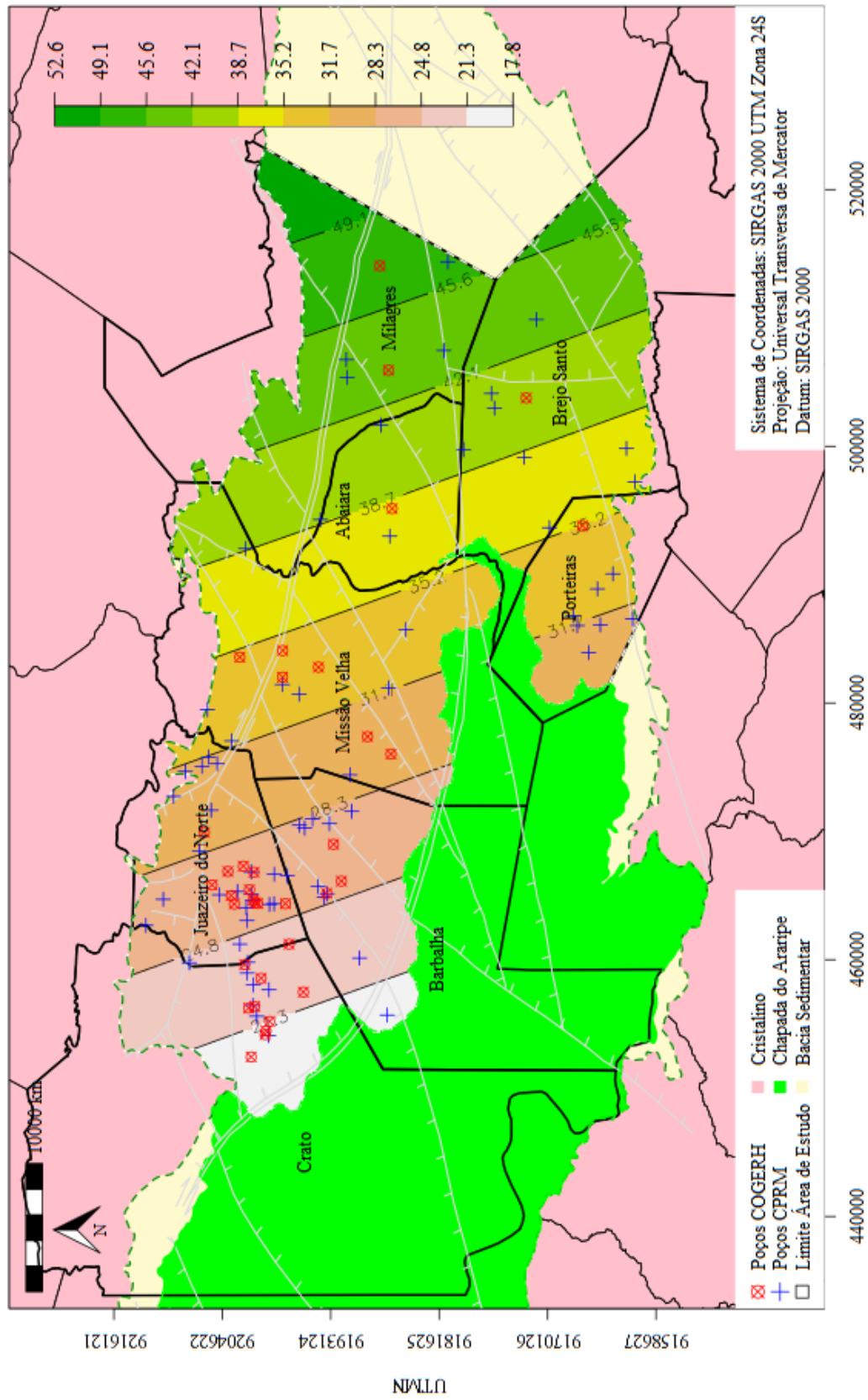
Mapa 9 – Modelagem espacial CE – janeiro



UTME

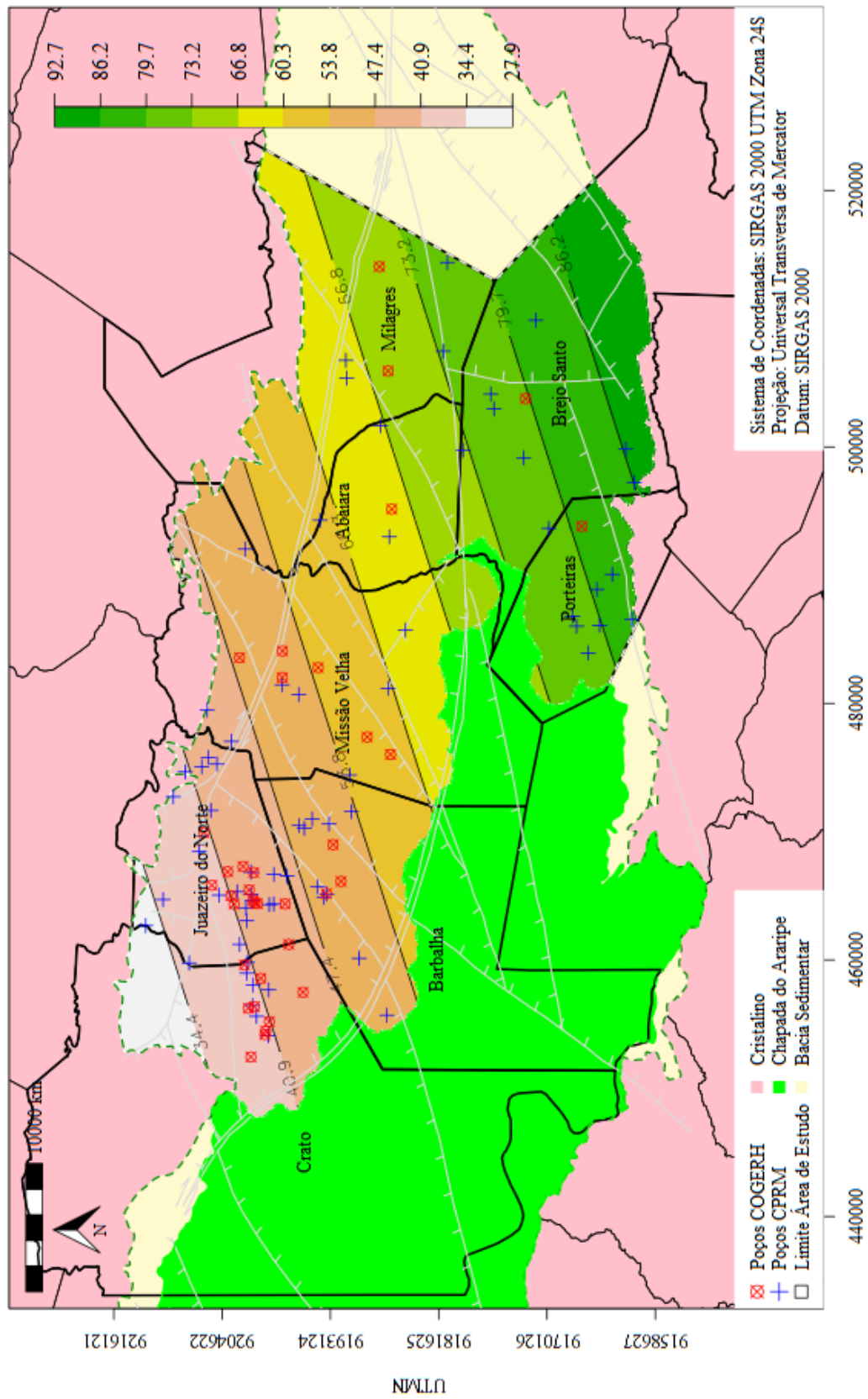
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Mapa 10 – Modelagem espacial Na<sup>+</sup> – janeiro



Fonte: Elaborado pelo Autor.

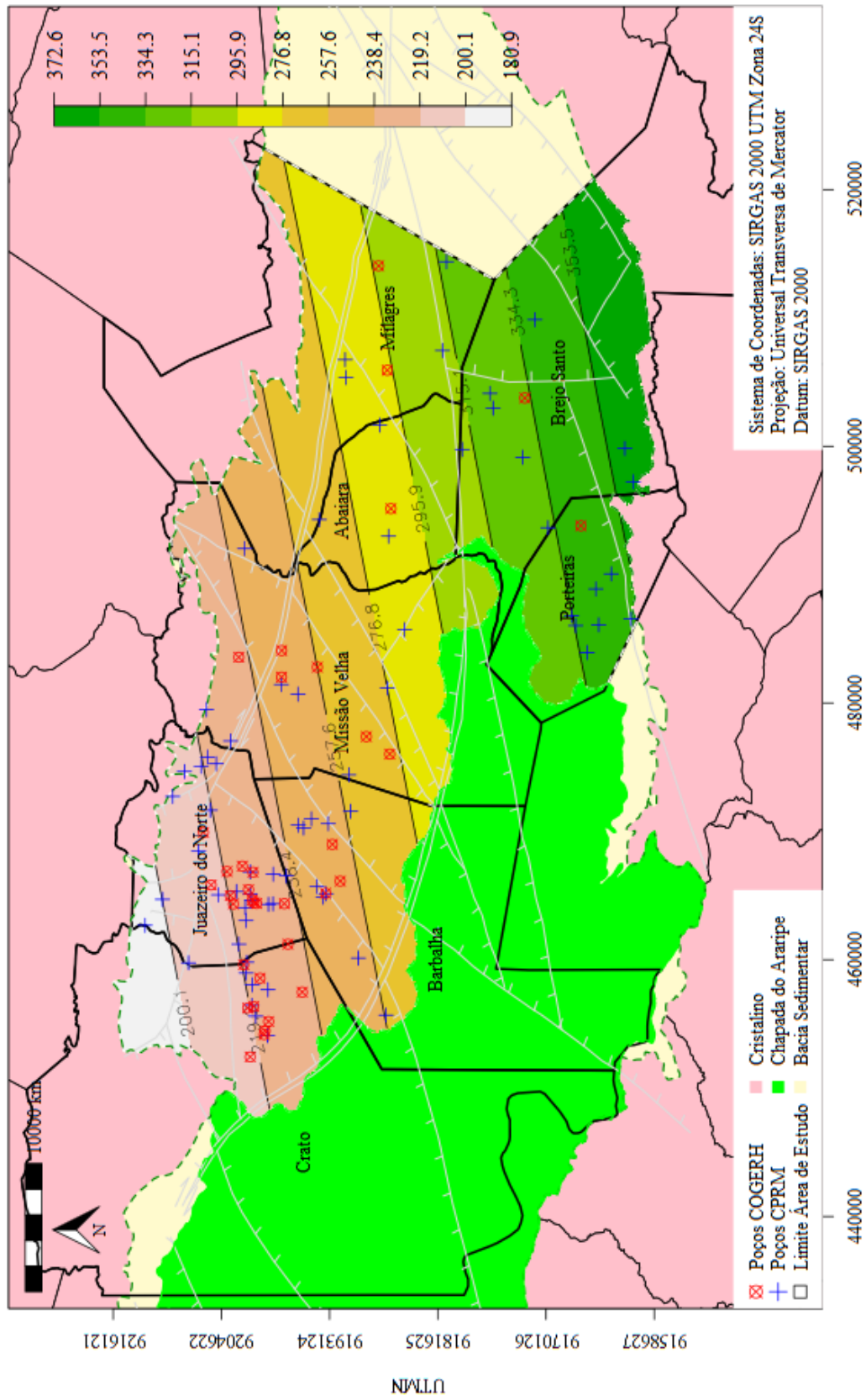
Mapa 11 – Modelagem espacial CI – janeiro



Fonte: Elaborado pelo Autor.



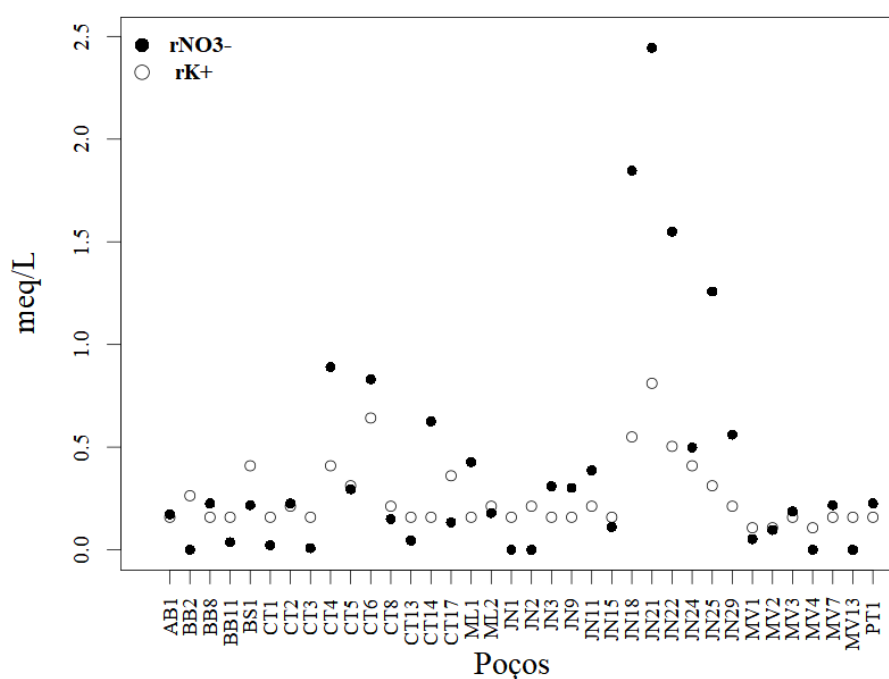
Mapa 12 – Modelagem espacial STD – janeiro



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O íon  $K^+$  apresentou correlação positiva, de intensidade fraca com o  $Cl^-$  e forte com o  $NO_3^-$  (Figura 10a). A sua direção de maior *range* foi a  $160^\circ$ , com aumento da concentração no sentido de sudeste para noroeste (Mapa 13). As maiores concentrações do íon  $K^+$ , tal como o  $NO_3^-$ , ocorreram nos municípios de Crato e Juazeiro do Norte (Figura 33). Os poços com concentração de  $NO_3^-$  acima do VMP foram localizados nos municípios de Crato e Juazeiro do Norte, em área urbana. Os esgotos das áreas urbanas são uma rica fonte de  $K^+$ , geralmente excretada pela urina e oriundos do trato digestivo (KRINGEL *et al.*, 2016; PUTNAM, 1971).

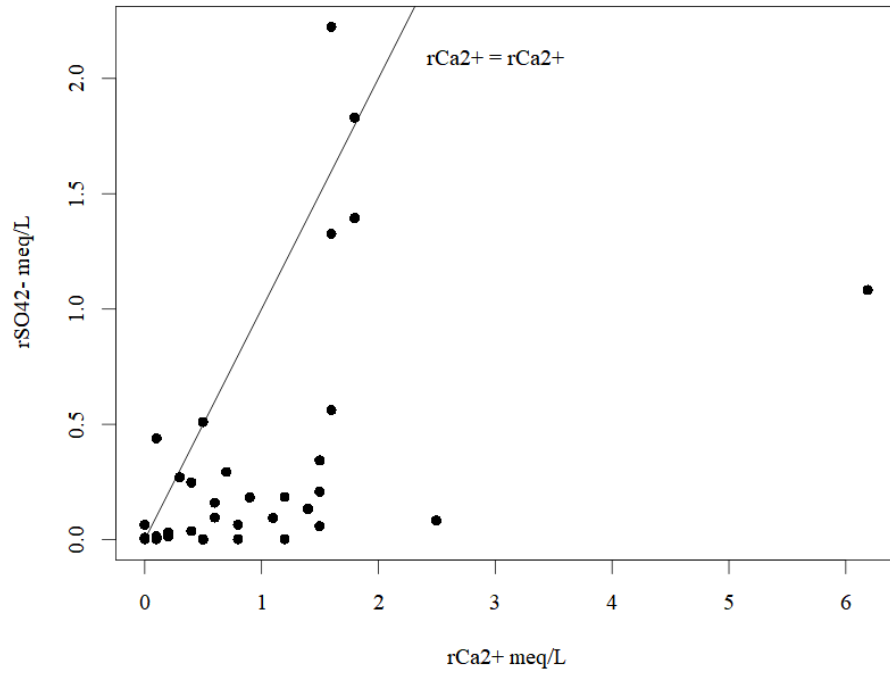
Figura 33 – Concentração  $NO_3^-$  e  $K^+$  – janeiro



Fonte: Elaborado pelo Autor.

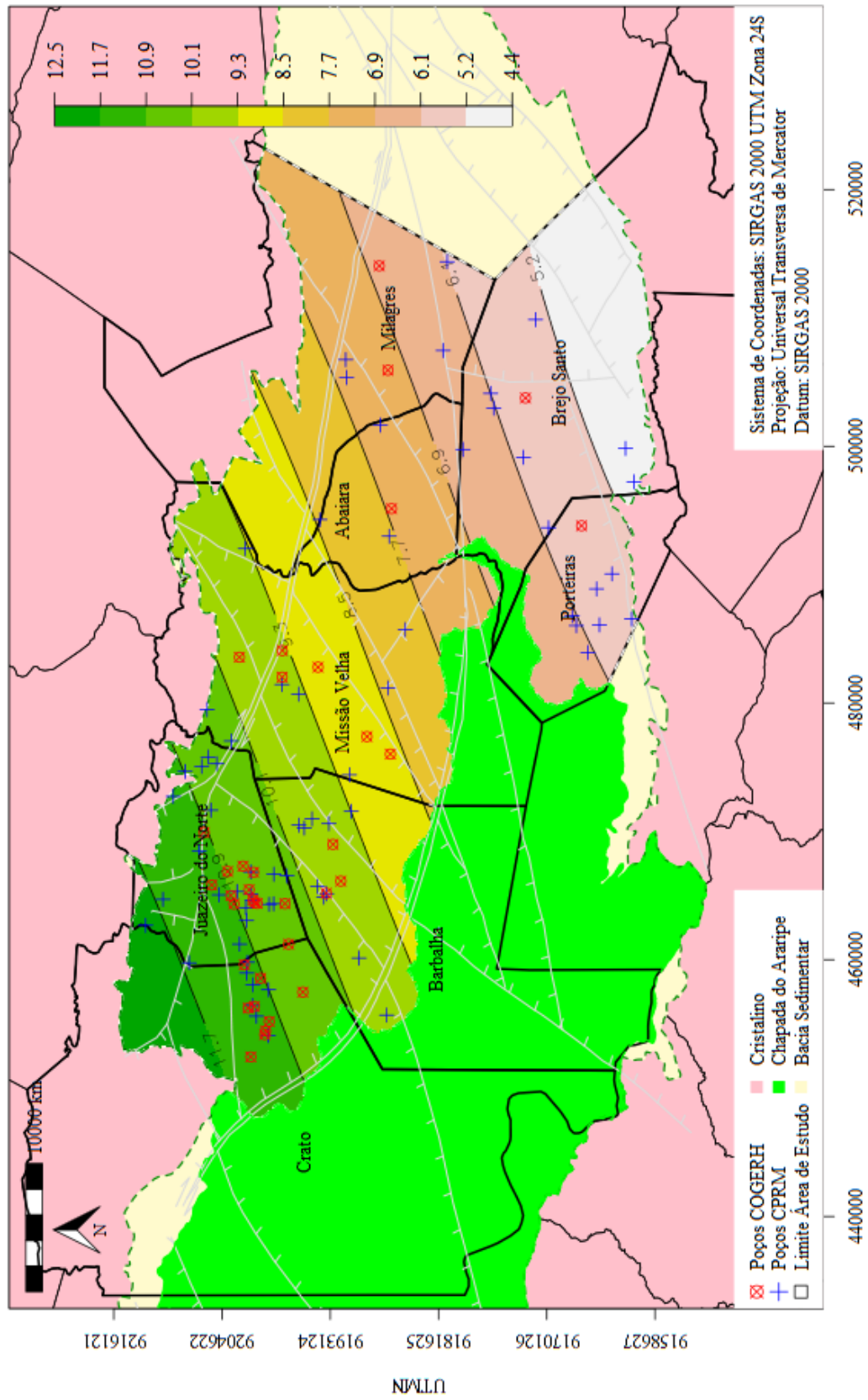
O íon  $SO_4^{2-}$  correlacionou-se de forma fraca com o  $Ca^{2+}$ , indicando a baixa prevalência da gipsita ( $rCa^{2+} + rSO_4^{2-}$ ) na área de estudo. A direção de maior *range* para o  $Ca^{2+}$ , ocorreu a  $115^\circ$ , já para o  $SO_4^{2-}$  a  $45^\circ$ . O sentido de evolução das isolinhas para o  $Ca^{2+}$  e o  $SO_4^{2-}$  ocorreu de forma próxima a uma perpendicular,  $Ca^{2+}$  no sentido de sudoeste para nordeste, e o  $SO_4^{2-}$  no sentido de noroeste para sudeste (Mapas 7 e 14). Pela relação  $rCa^{2+}/rSO_4^{2-}$  percebeu-se na maioria dos poços a característica de  $rSO_4^{2-}$  ser menor que  $rCa^{2+}$  (Figura 34) principalmente em áreas de maior acidez (Mapa 3), Crato, Juazeiro e Barbalha.

Figura 34 – Predominância de  $\text{SO}_4^{2-}$



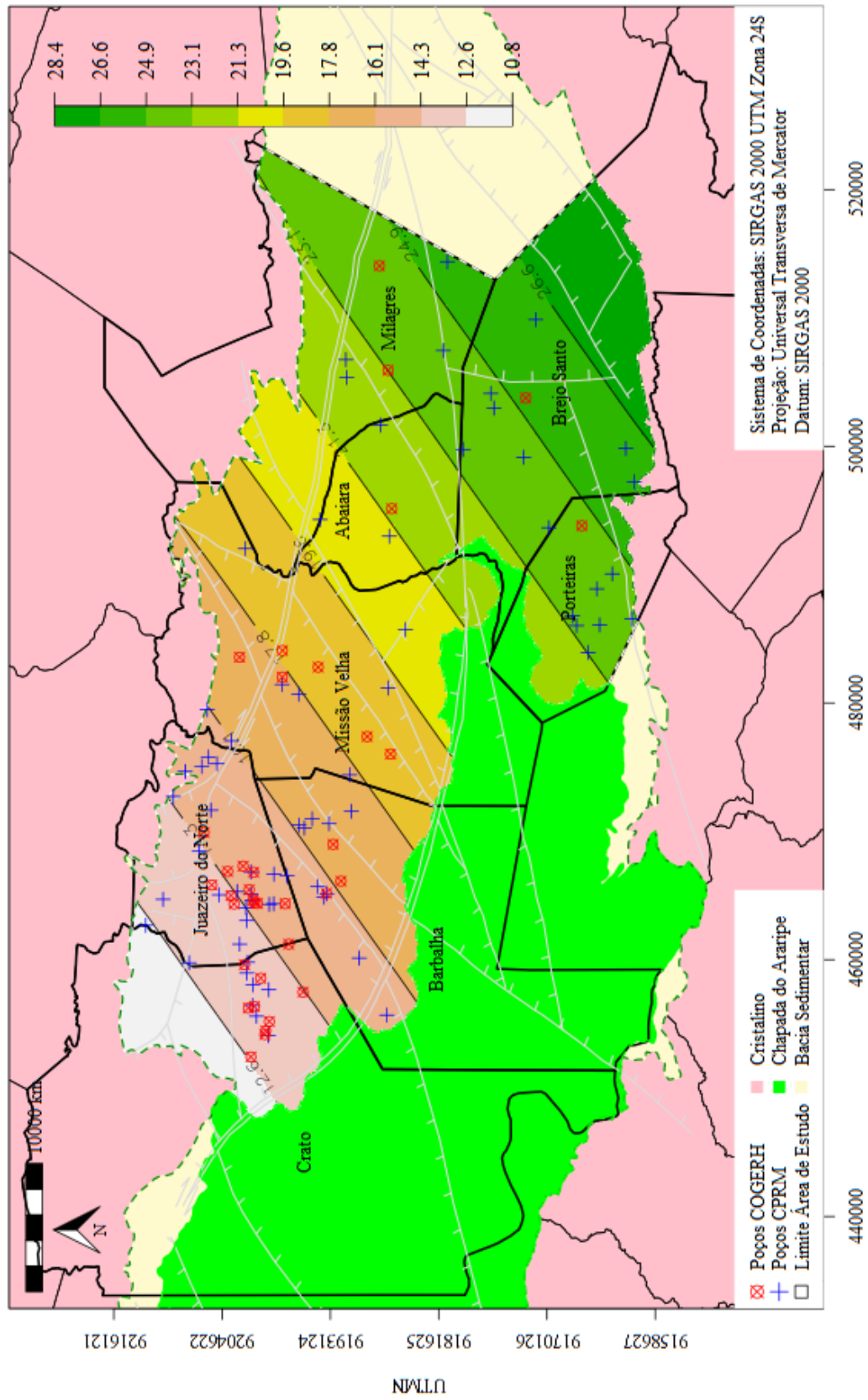
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Mapa 13 – Modelagem espacial K<sup>+</sup> – janeiro



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Mapa 14 – Modelagem espacial  $SO_4^{2-}$  – janeiro



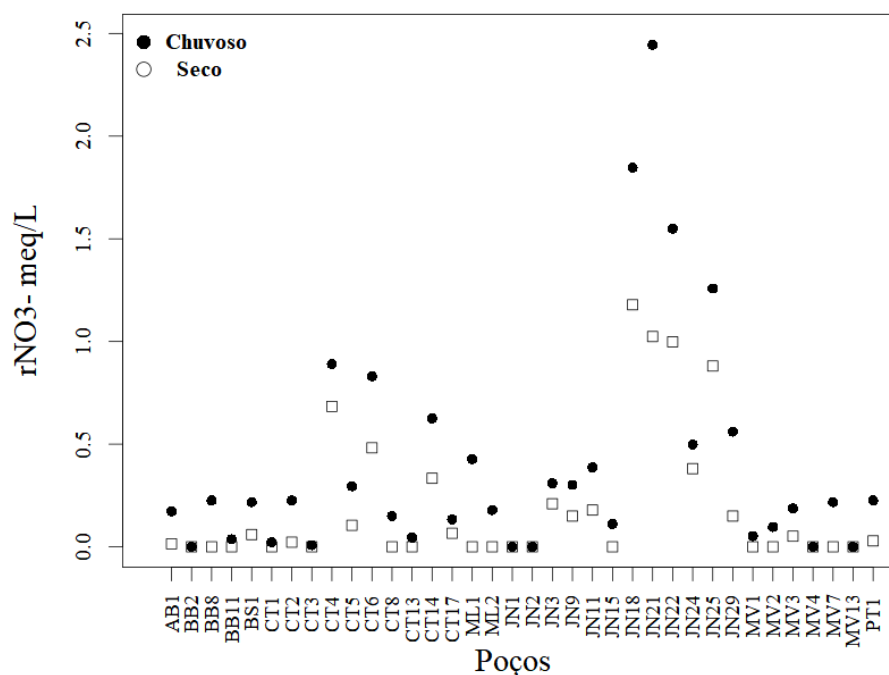
Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 5.4.2 Período seco

No período seco, CE e o STD apresentaram comportamento isotrópico, 0,997 e 0,901, respectivamente, já os parâmetros pH, D,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{NO}_3^-$ , demonstrou comportamento anisotrópico, oscilando de 0,037 ( $\text{K}^+$ ) para 0,423 ( $\text{Ca}^{2+}$ ) (APÊNCIDE R).

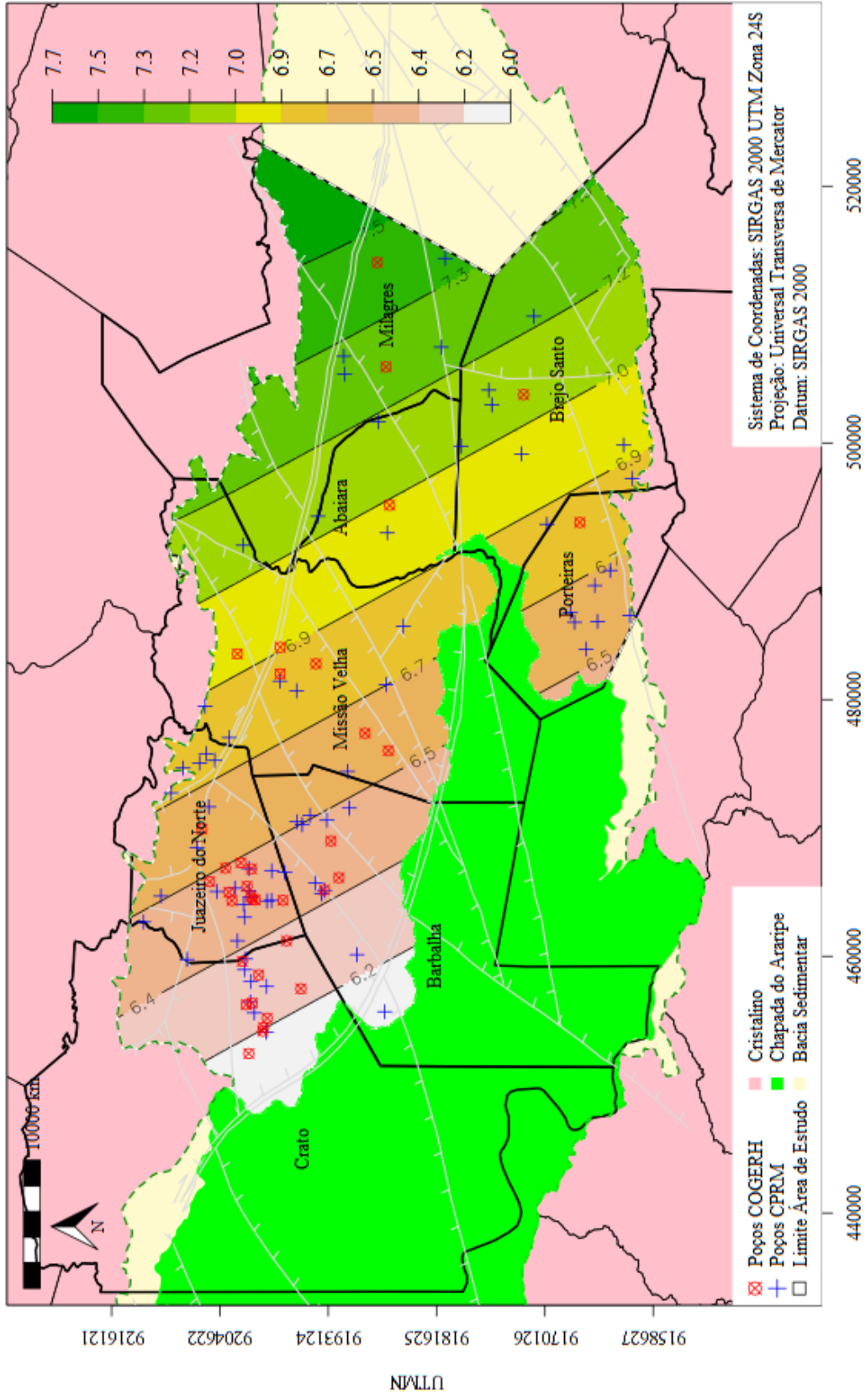
O pH correlacionou-se positivamente com o  $\text{HCO}_3^-$  e tal como o período chuvoso foi percebido semelhança de direção, de  $135^\circ$  e  $155^\circ$ , respectivamente (Figura 10b). As modelagens espaciais para o pH e o  $\text{HCO}_3^-$  (Mapas 15 e 16), apresentaram faixas crescentes de isolinhas com direções e sentidos de noroeste para sudoeste. As zonas de maior acidez (pH de 6,1 a 6,8) e de menores concentrações de  $\text{HCO}_3^-$  (de 68,2 a 123,5), encontraram-se localizadas em áreas urbanas. O  $\text{NO}_3^-$  apresentou correlação negativa com o pH e o  $\text{HCO}_3^-$  (Figura 10b) e assim como o período chuvoso, evidenciou-se as maiores concentrações de  $\text{NO}_3^-$ , a oeste, nos municípios de Crato e Juazeiro do Norte, (Mapa 17), com faixas decrescentes de isolinhas de  $\text{NO}_3^-$  para leste. A modelagem espacial e a hidroquímica convergiram nos resultados, houve um aumento do pH no período seco em relação ao período chuvoso, possivelmente devido a redução da lixiviação e conseqüente redução da contaminação dos poços pelo  $\text{NO}_3^-$  (Figura 35) (KIM *et al.*, 2019; RUDD *et al.*, 1988).

Figura 35 – Concentração  $\text{NO}_3^-$  – chuvoso e seco



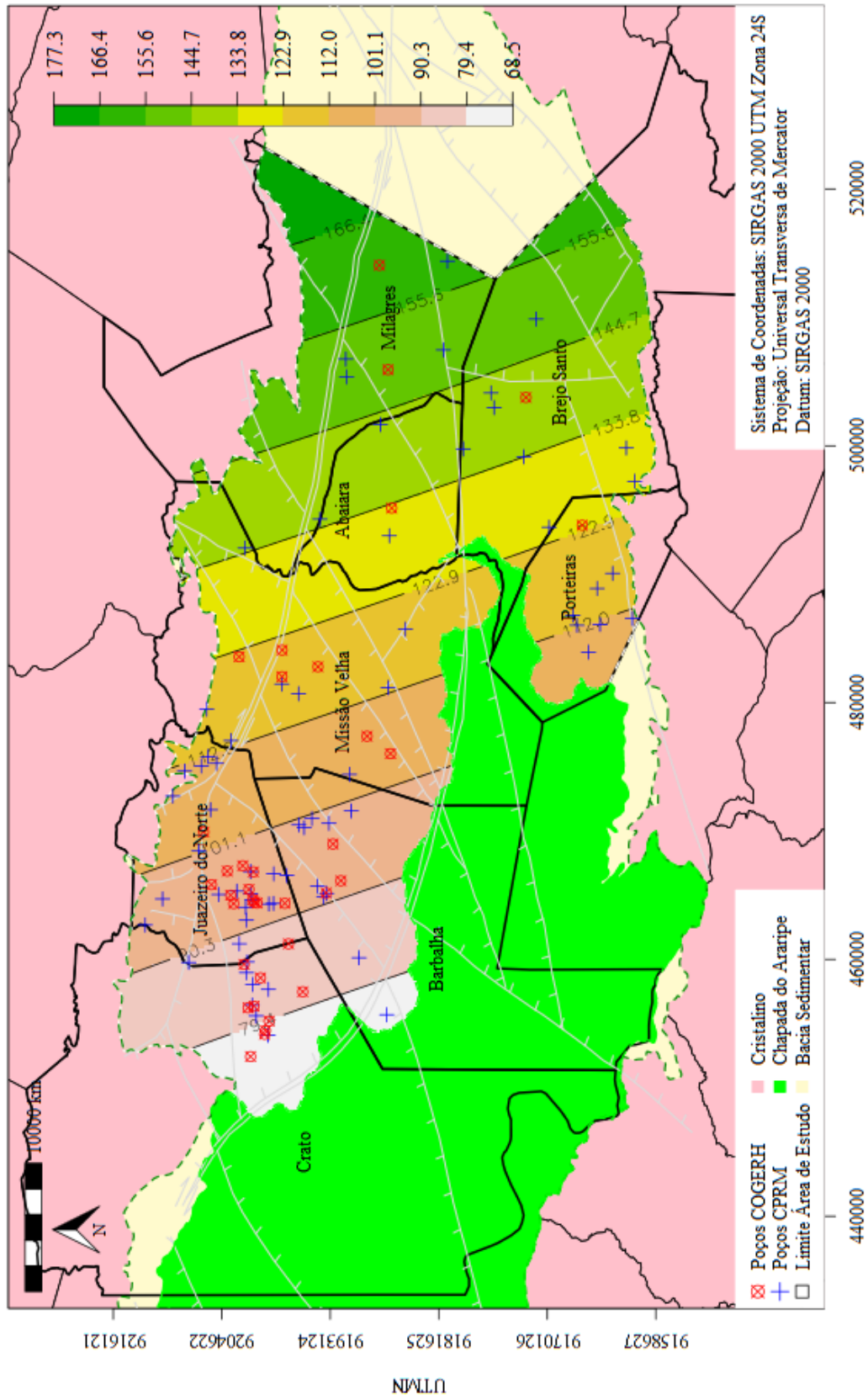
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Mapa 15 – Modelagem espacial pH – julho



Fonte: Elaborado pelo Autor.

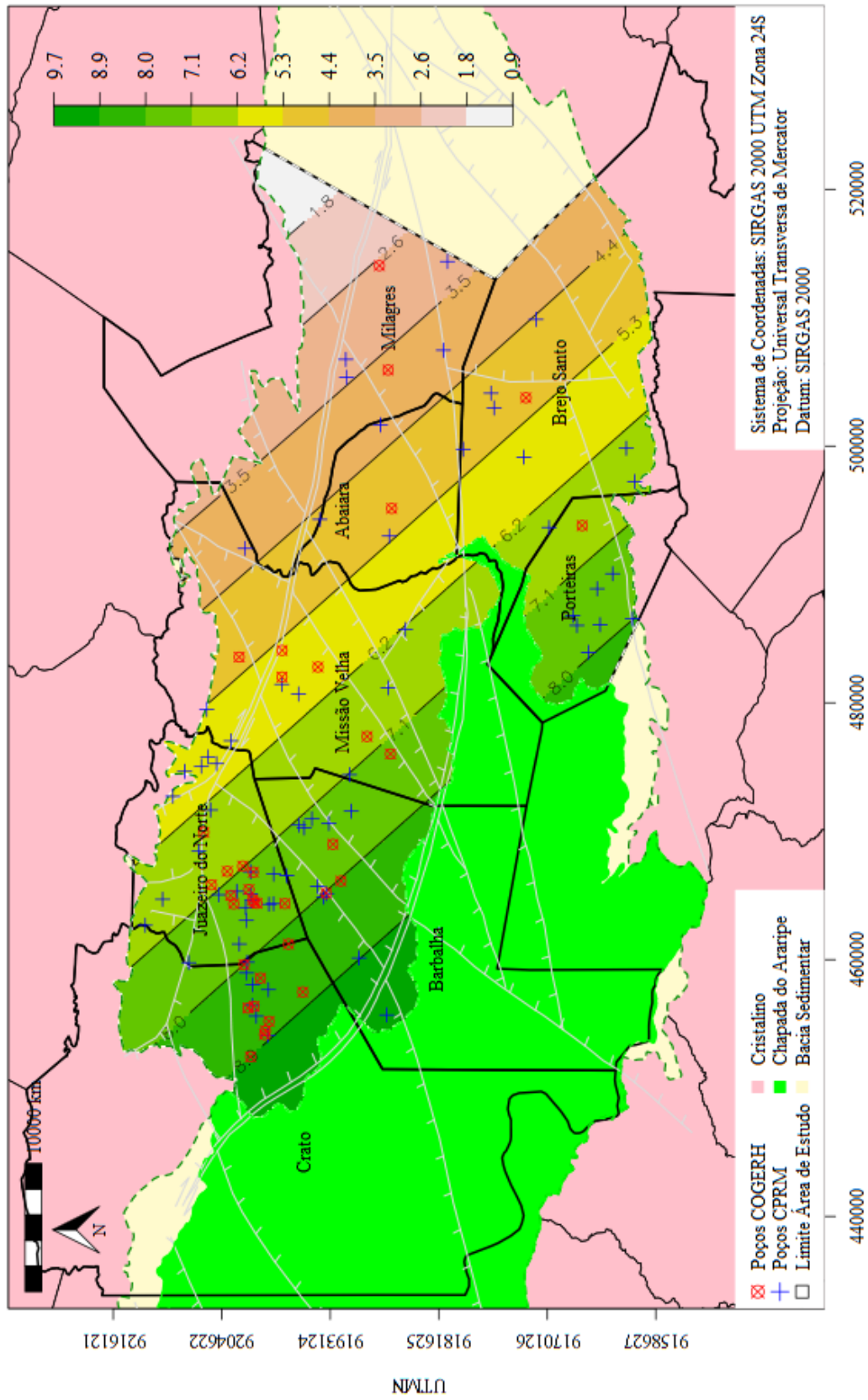
Mapa 16 – Modelagem espacial HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> – julho



Fonte: Elaborado pelo Autor.



Mapa 17 – Modelagem espacial  $\text{NO}_3^-$  – julho

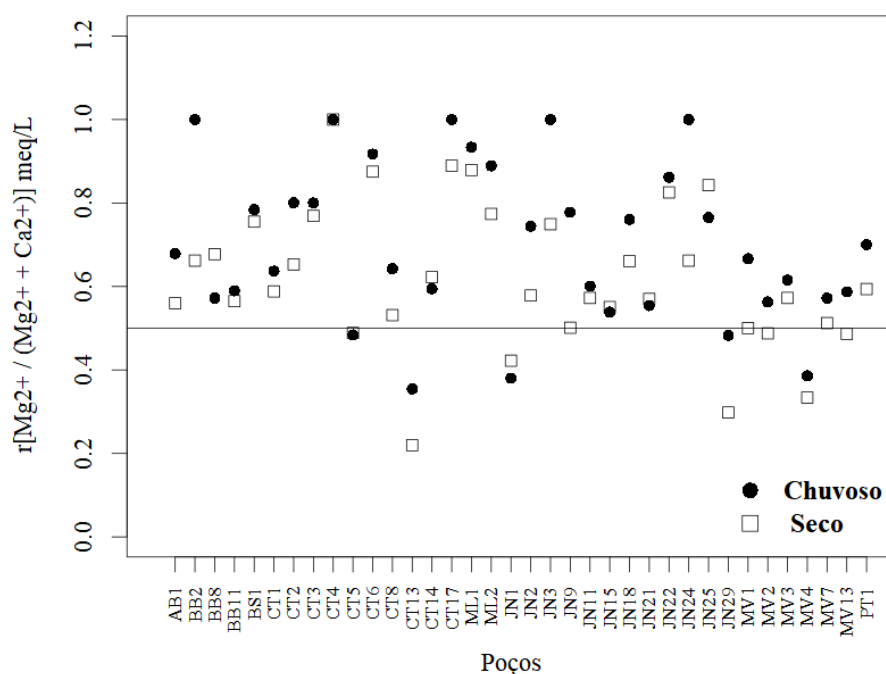


Fonte: Elaborado pelo Autor.

A dureza, no período seco, apresentou correlação forte-positiva com o  $\text{Ca}^{2+}$  e o  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $r = 0,855$  e  $r = 0,834$  (Figura 10b), respectivamente. A direção de maior *range* para a dureza foi a  $85^\circ$  com evolução de isolinhas no sentido noroeste para sudeste. O  $\text{Ca}^{2+}$  apresentou evolução na direção de  $125^\circ$ , relativamente igual ao período chuvoso, permanecendo a diminuição nas concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$ , partindo do Sistema Aquífero Médio ao Sistema Aquífero Inferior, sentido de sudoeste para nordeste, mas com direção diferente da dureza (Mapas 18 e 19).

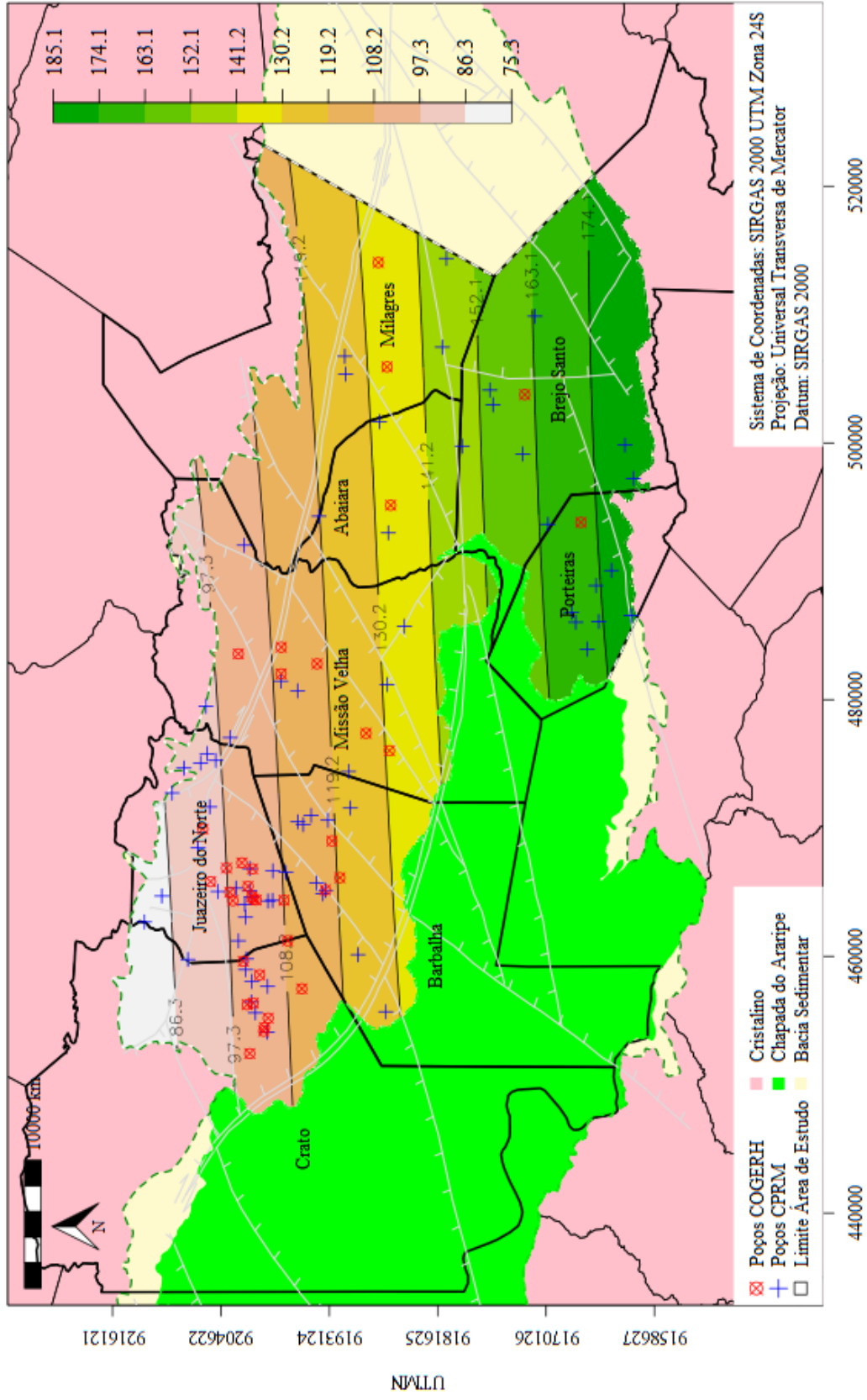
O  $\text{Mg}^{2+}$ , no período seco, apresentou direção de maior *range* a  $140^\circ$ , com sentido de noroeste para sudeste, semelhante ao da dureza (Mapas 18 e 20). Os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  independente do período ser chuvoso ou seco não sofreram modificações nos sentidos, a dureza apresentou sentido semelhante ao do  $\text{Ca}^{2+}$ , no período chuvoso, e ao do  $\text{Mg}^{2+}$ , no período seco. A mudança de direção da dureza pode estar relacionada a redução da precipitação da calcita (JIN *et al.*, 2010) no período seco dada por  $r[\text{Mg}^{2+}/(\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+})] > 0,5$ , reduzindo assim a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  nas águas dos Aquíferos Médio e Inferior da Bacia Sedimentar do Cariri Cearense (Figura 36).

Figura 36 – Precipitação calcita



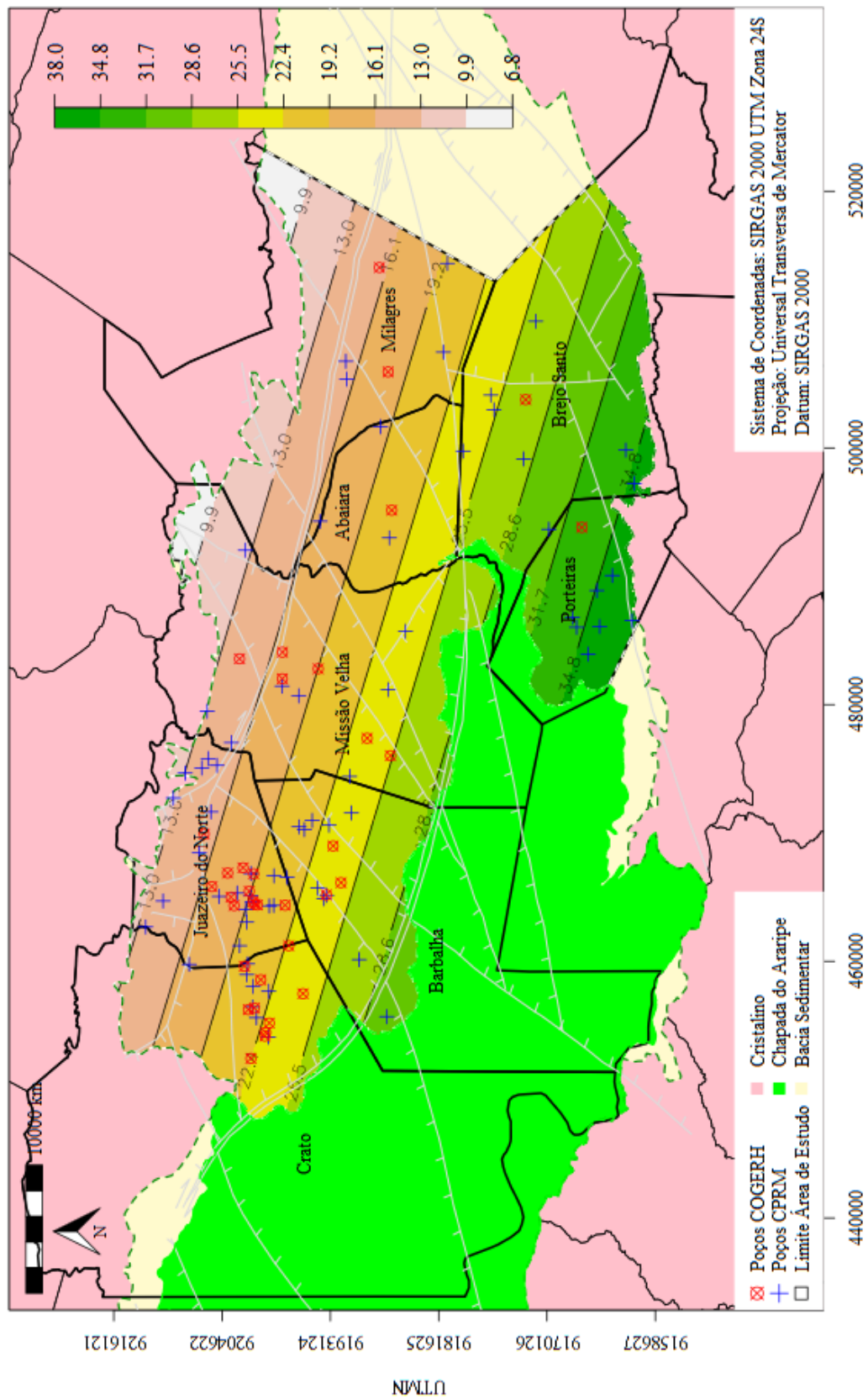
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Mapa 18 – Modelagem espacial Dureza – julho



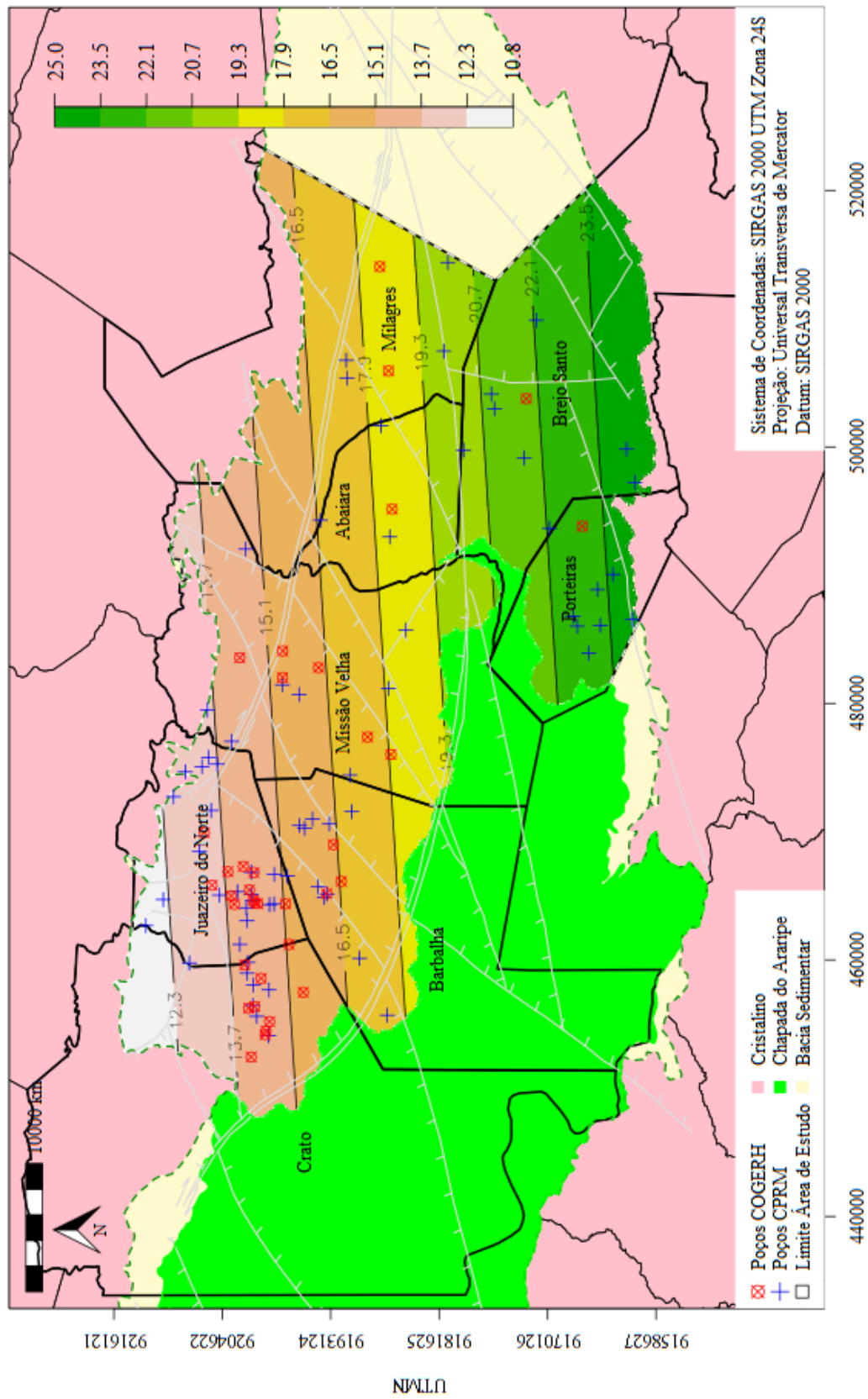
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Mapa 19 – Modelagem espacial  $Ca^{2+}$  – julho



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Mapa 20 – Modelagem espacial Mg<sup>2+</sup> – julho

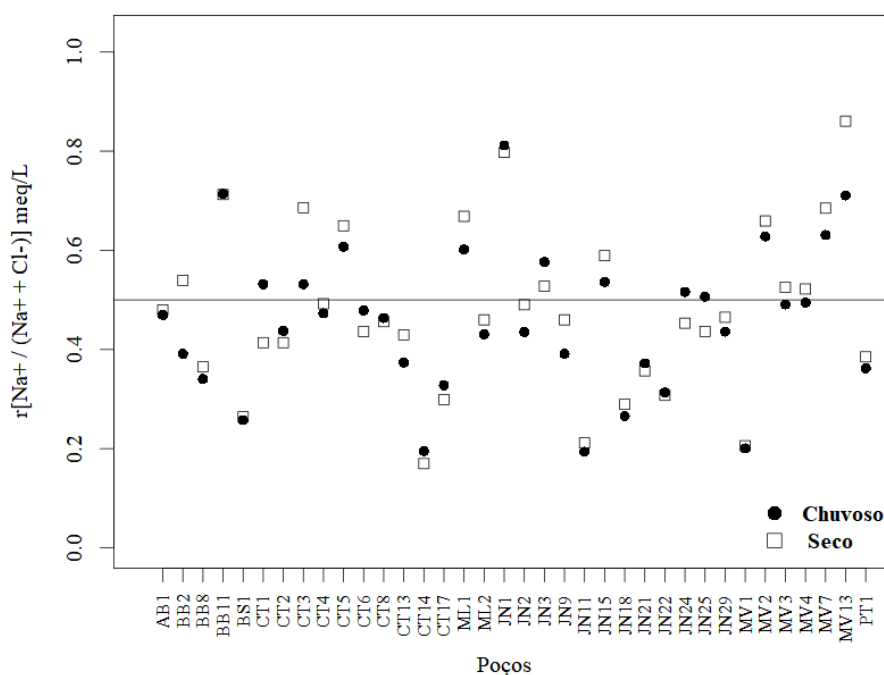


Fonte: Elaborado pelo Autor.

A condutividade elétrica apresentou correlação forte-positiva com o  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e o STD. A direção de maior *range* para a condutividade elétrica ocorreu a  $40^\circ$ , para o  $\text{Cl}^-$  a  $55^\circ$  e para o  $\text{Na}^+$  e o STD ocorreram a  $155^\circ$ . Para a condutividade elétrica, o  $\text{Cl}^-$  e o STD as isolinhas foram crescentes no sentido de noroeste para sudeste, no entanto, para o  $\text{Na}^+$  as isolinhas foram crescentes no sentido de oeste para leste na direção de menor *range* ( $65^\circ$ ) (Mapas 21, 22, 23 e 24).

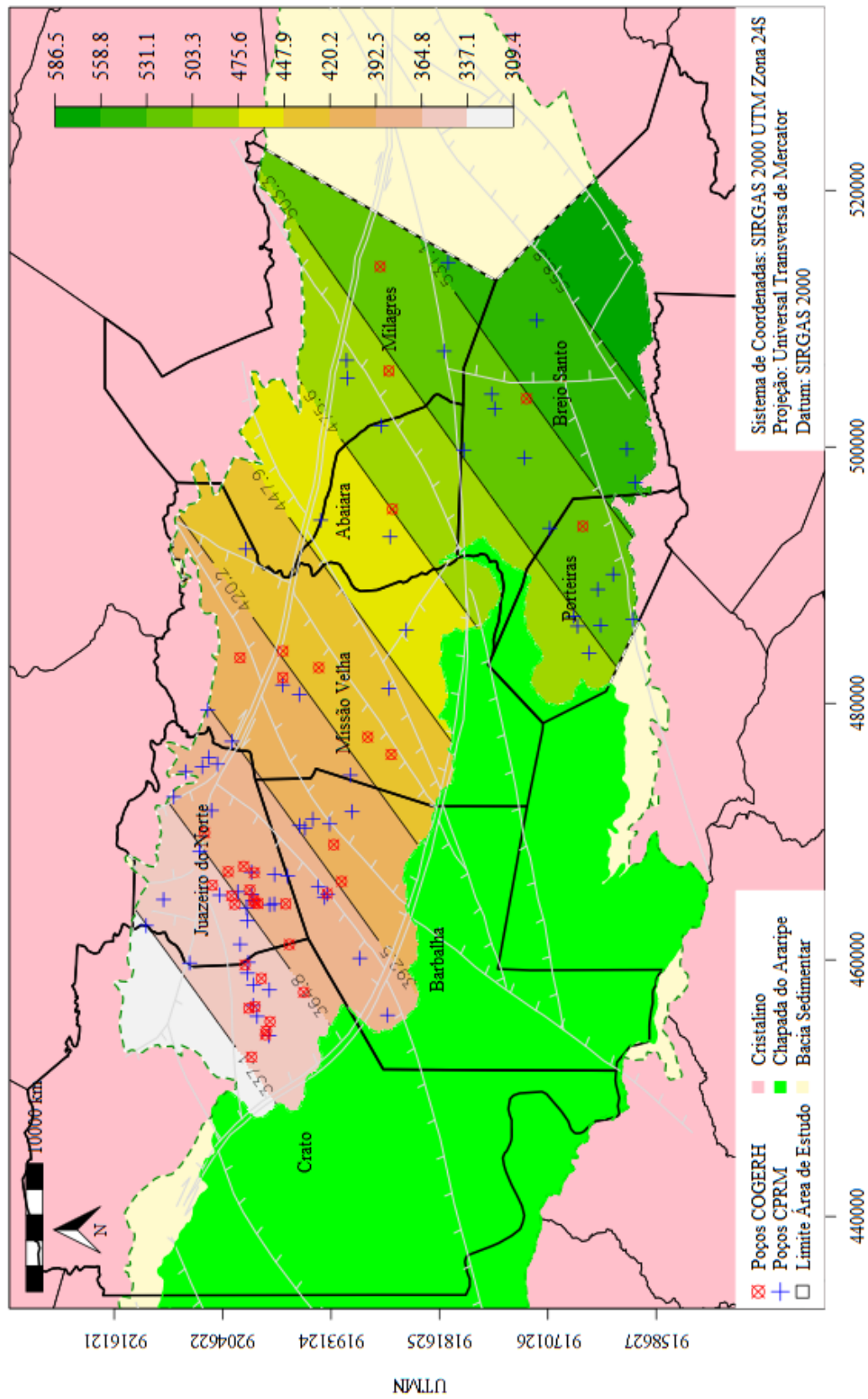
Para o íon  $\text{Na}^+$  o fator de anisotropia permaneceu praticamente inalterado, 0,1092 (chuvoso) e 0,1158 (seco), já para o  $\text{Cl}^-$  percebeu-se o aumento de aproximadamente 180 % no fator de anisotropia (APÊNCIDES O e P), do período chuvoso para o seco. Ao verificar a incidência do amolecimento reverso dado por  $r[\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Cl}^-)] > 0,5$ , percebeu-se uma redução do  $\text{Cl}^-$  no período seco, influenciado pela menor concentração de  $\text{NO}_3^-$  lixiviado às águas dos poços (Figura 37), possível causa do aumento da anisotropia.

Figura 37 – Razão  $r\text{Na}^+ / (r\text{Na}^+ / r\text{Cl}^-)$  – períodos chuvoso e seco



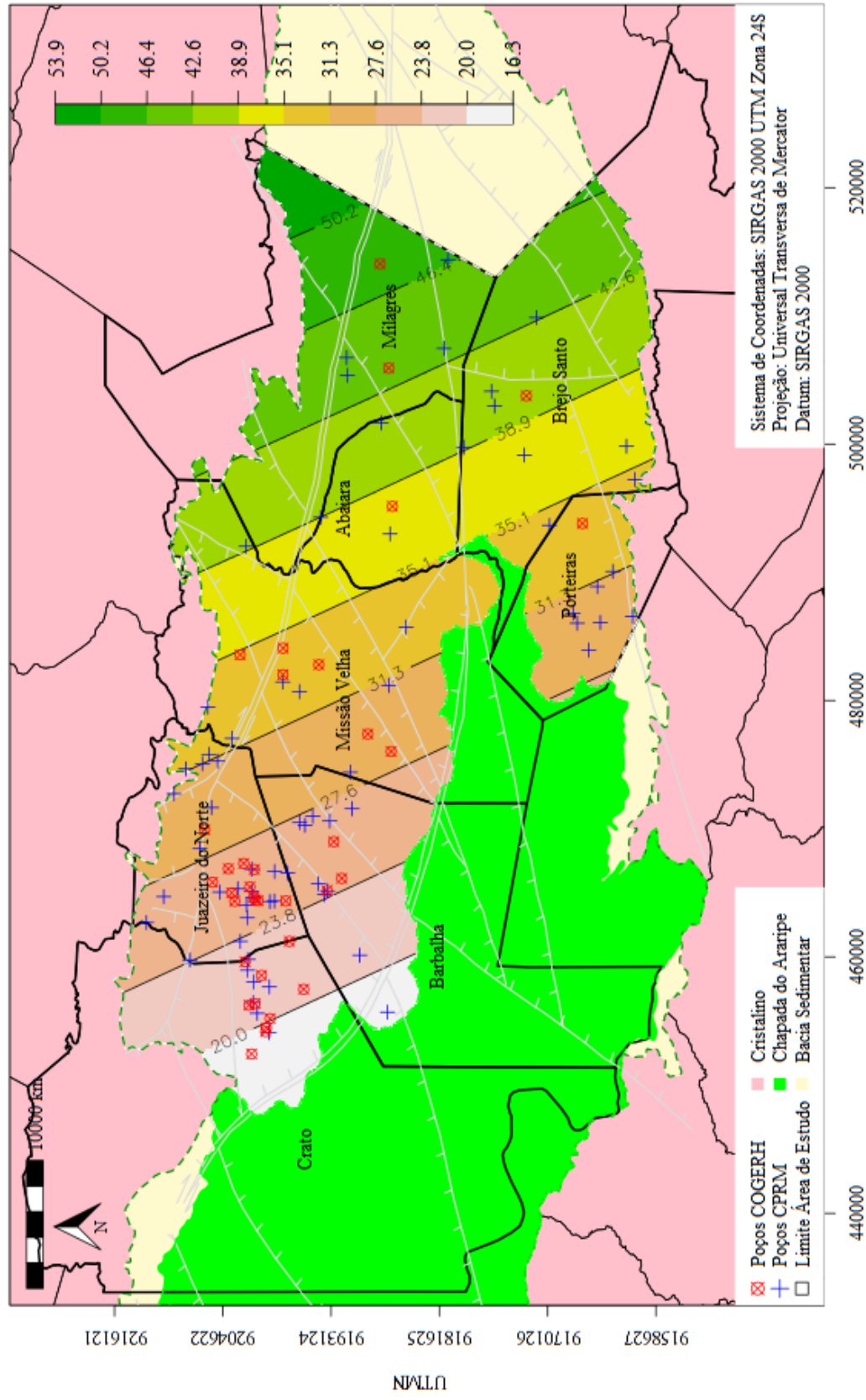
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Mapa 21 – Modelagem espacial CE – julho



Fonte: Elaborado pelo Autor.

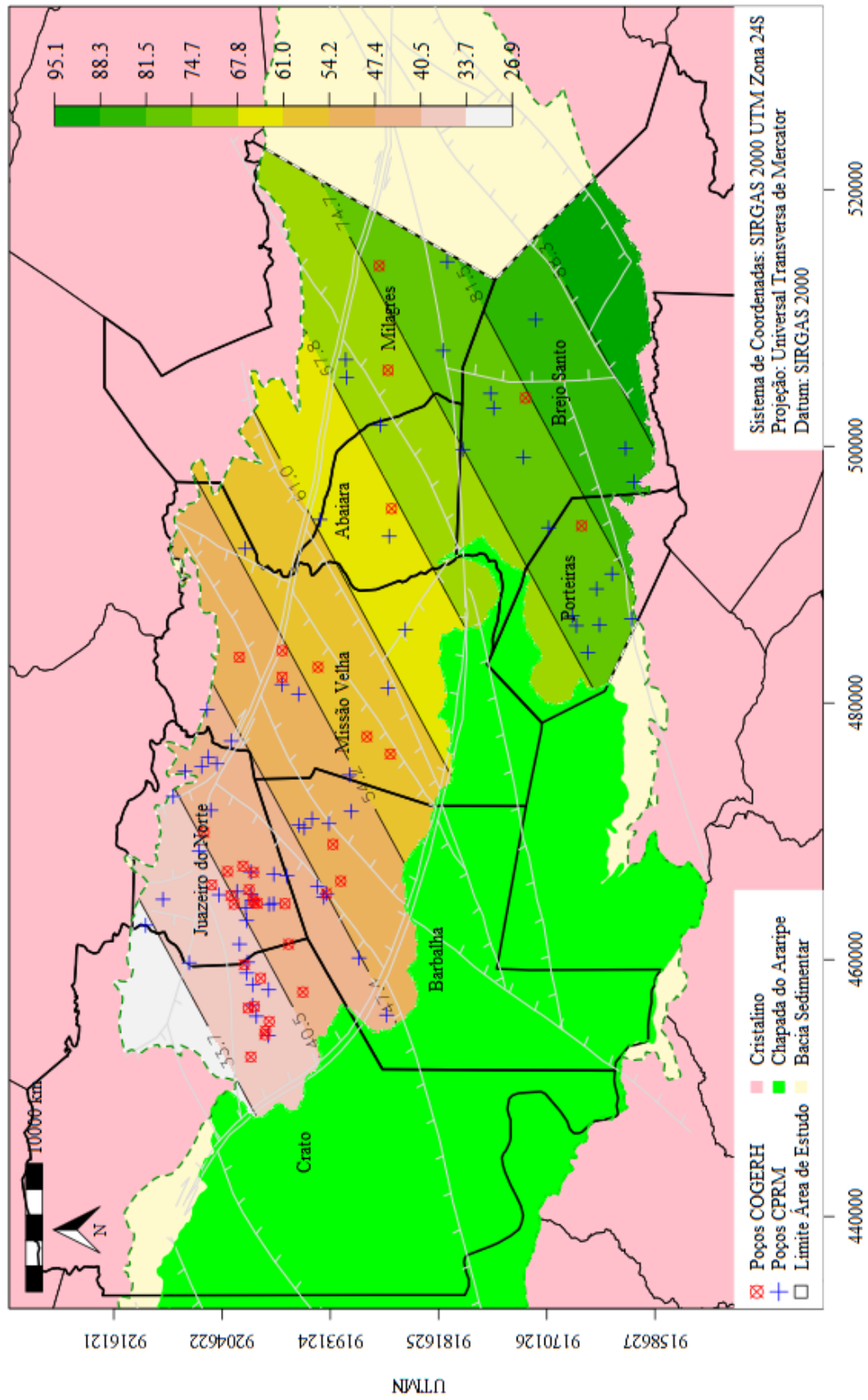
Mapa 22 – Modelagem espacial Na<sup>+</sup> – julho



Fonte: Elaborado pelo Autor.

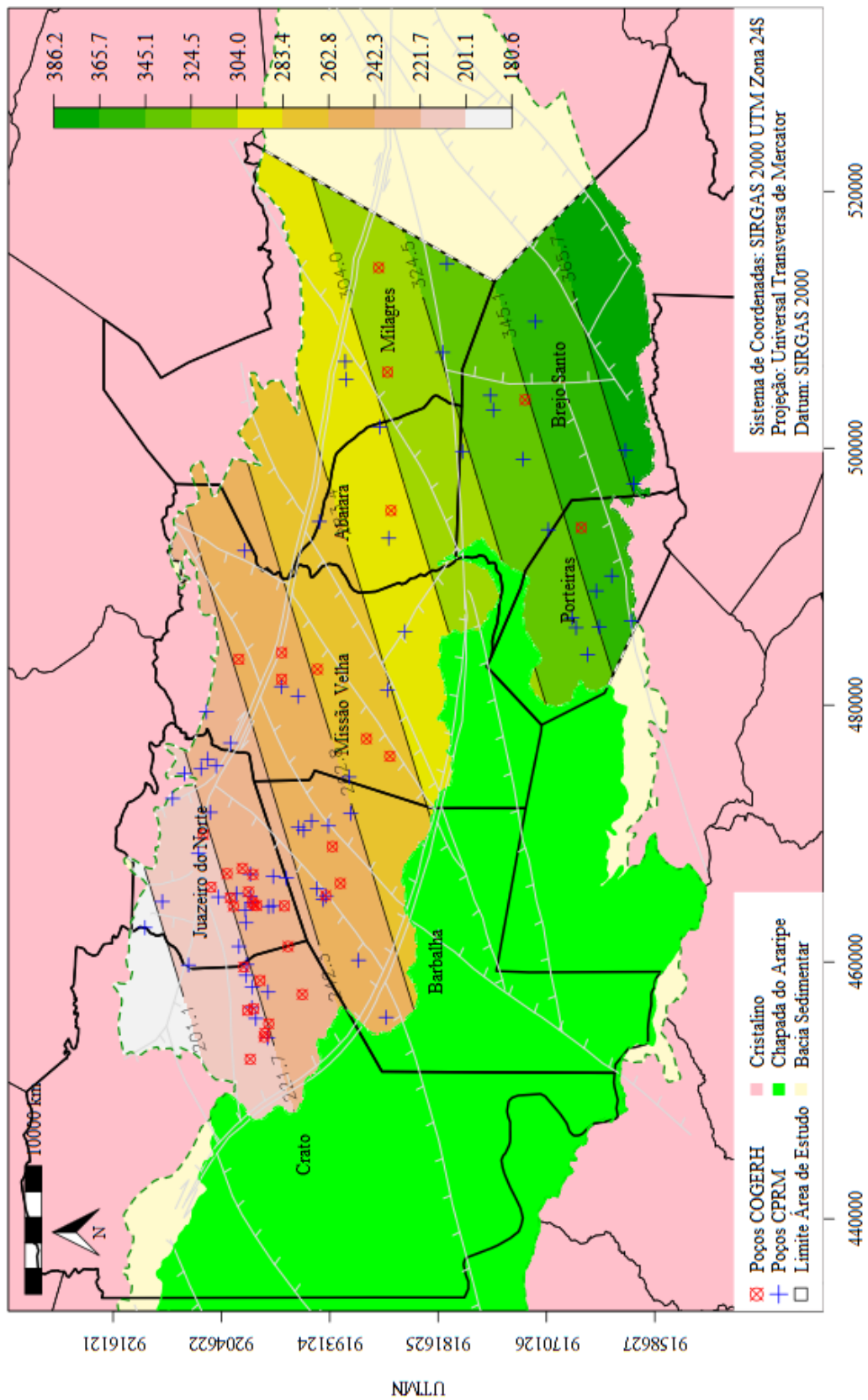


Mapa 23 – Modelagem espacial CI\* – julho



Fonte: Elaborado pelo Autor.

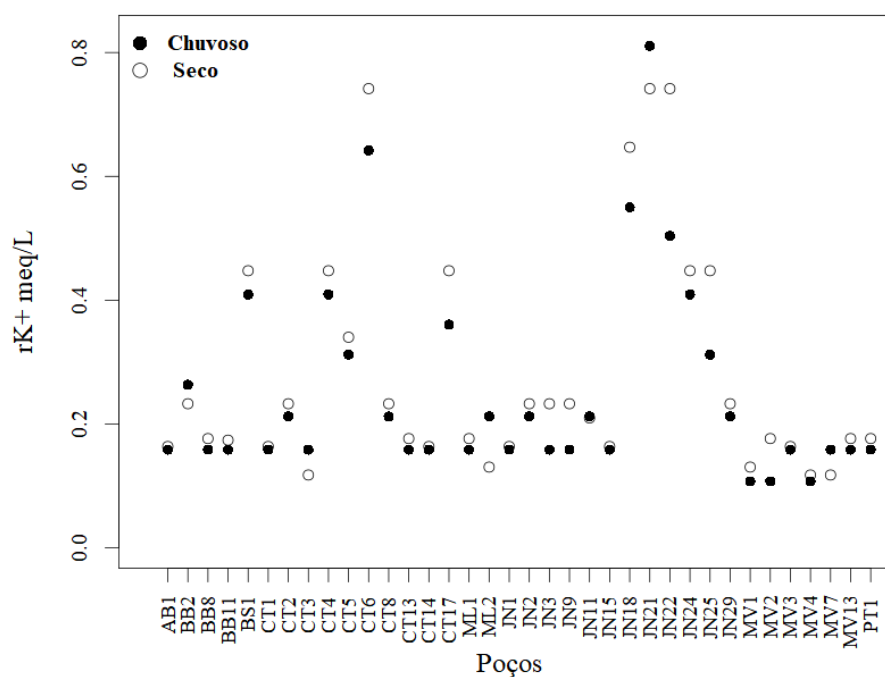
Mapa 24 – Modelagem espacial STD – julho



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O íon  $K^+$  apresentou direção de maior *range* a  $25^\circ$ , com aumento de intensidade do Sistema Aquífero Médio ao Sistema Aquífero Inferior, sentido de sudoeste para nordeste. O fator de anisotropia variou do período chuvoso para o seco, de respectivamente 0,5201 para 0,0367, um aumento do fator de anisotropia de aproximadamente 193 %. No período seco houve um aumento da concentração de  $K^+$  em 83 % (30) dos poços e aumento da correlação de  $K^+$  com  $NO_3^-$  do período chuvoso para o seco, de 0,824 e 0,842, respectivamente (Figura 38). Em ambos os períodos o  $K^+$  aumentou sua intensidade no sentido de sudoeste para nordeste. No período seco (Mapa 25) os poços de maior concentração de  $K^+$  estão localizados em Crato e Juazeiro do Norte em áreas urbanas.

Figura 38 – Concentrações de  $K^+$  – chuvoso e seco



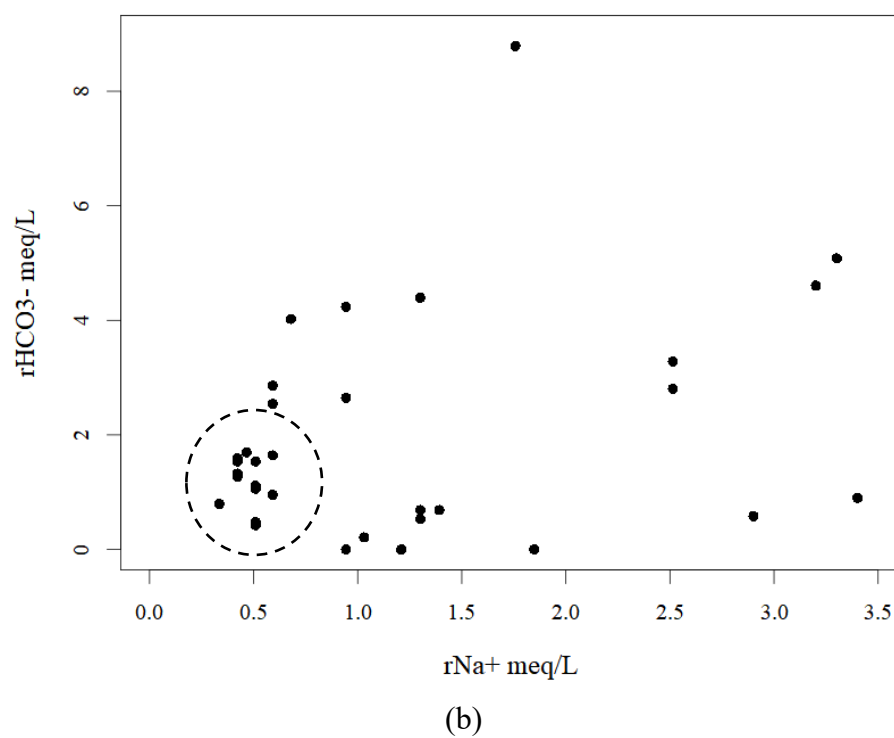
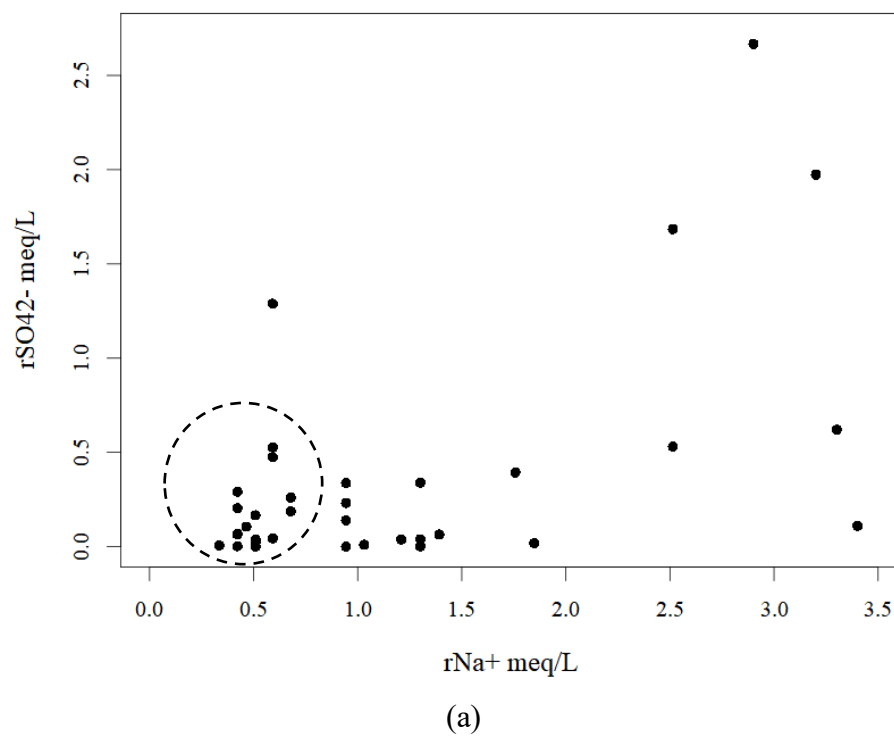
Fonte: Elaborado pelo Autor.

O ânion ácido forte  $SO_4^{2-}$  apresentou direção de maior *range* a  $155^\circ$ , com intensidade crescente no sentido de oeste para leste (Mapa 26). Apresentou semelhante direção ( $135^\circ$ ) e mesmo sentido de intensidade com o pH, a mesma direção e sentido do ânion ácido fraco  $HCO_3^-$  e do metal alcalino  $Na^+$  (Mapas 15, 16 e 22). Os poços com menores concentrações de  $Na^+ \times SO_4^{2-}$  e  $Na^+ \times HCO_3^-$  encontraram-se nos municípios de Crato, Barbalha, Juazeiro do Norte e Missão Velha (Figura 39). Foi possível visualizar o aumento da concentração de  $NO_3^-$  em sentido oposto ao  $SO_4^{2-}$ , o  $HCO_3^-$ , o  $Na^+$  e o pH. O aumento do  $NO_3^-$  tende a influenciar na diminuição do pH das águas subterrâneas (KIM *et al.*, 2019; QIAO *et al.*, 2015). A

nitrificação devida as entradas antropogênicas de N ocorrem quando a amônia é oxidada por bactérias autotróficas (e.g. Nitrosomonas), resultando nos íons  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{H}^+$  (Equação 31), dessa forma, a acidez na água subterrânea aumenta com o fornecimento da amônia, o  $\text{NO}_2^-$  é subsequentemente oxidado por nitrito-bactérias oxidantes (e.g. Nitrobacter) para a forma de  $\text{NO}_3^-$  (Equação 32). Combinando as Equações 31 e 32 as reações de nitrificação podem ser resumidas pela Equação 33.

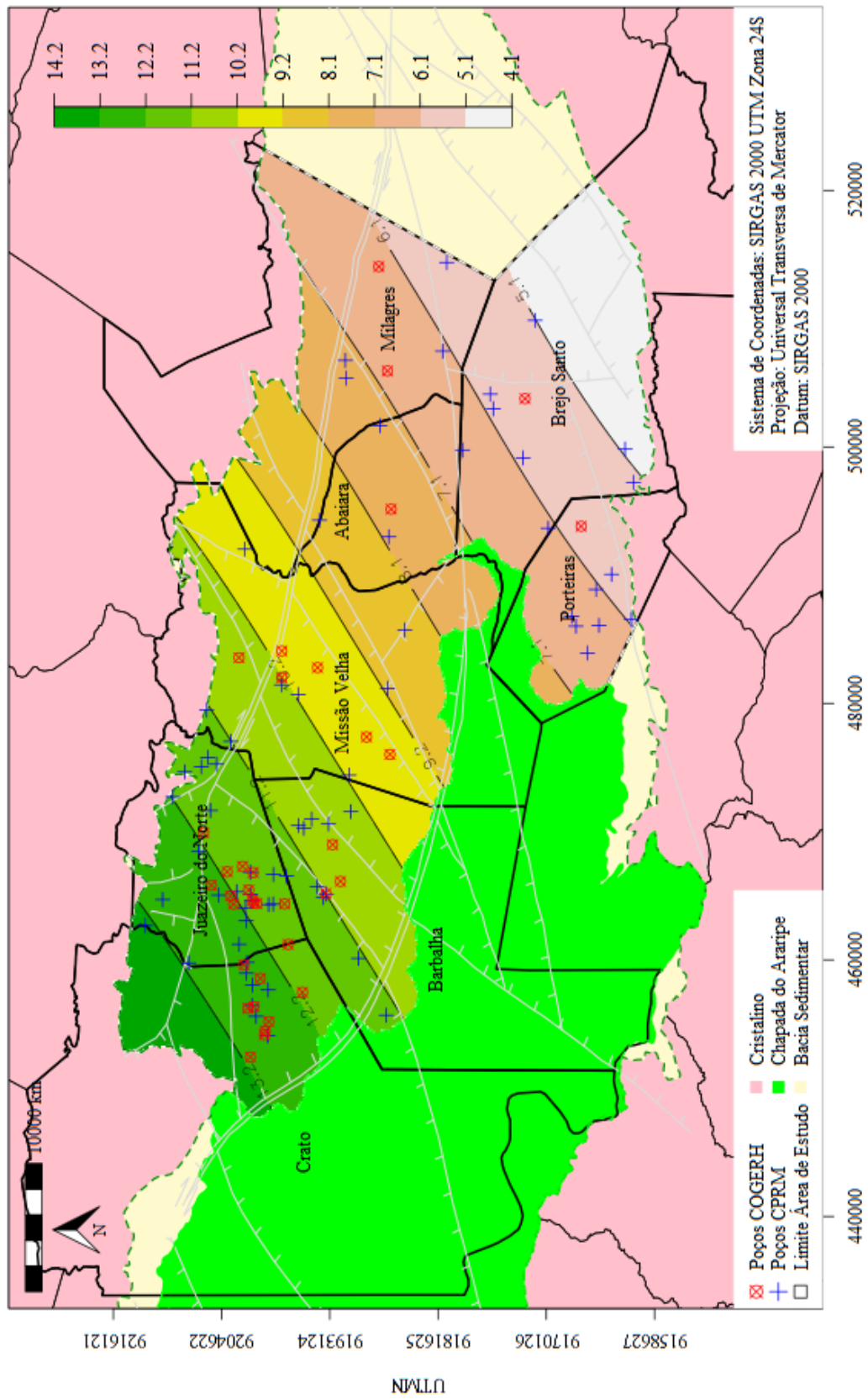


A acidez das águas por íons de hidrogênio produzidos através da nitrificação foi observada em pequenos lagos em Ontário, Canadá (RUDD *et al.*, 1988). Bactérias oxidantes da amônia e do nitrito, como a Nitrosomonas e a Nitrobacter, são onipresentes nos solos. Assim, a nitrificação da amônia desempenha um papel importante na liberação de hídrões (Cátion hidrogênio,  $\text{H}^+$ ) em solos e águas subterrâneas, constituindo o processo de acidificação das águas subterrâneas (CHAE *et al.*, 2004; PIERSON-WICKMANN *et al.*, 2009).

Figura 39 – Concentrações de a.  $\text{Na}^+ \times \text{SO}_4^{2-}$ , b.  $\text{Na}^+ \times \text{HCO}_3^-$ 

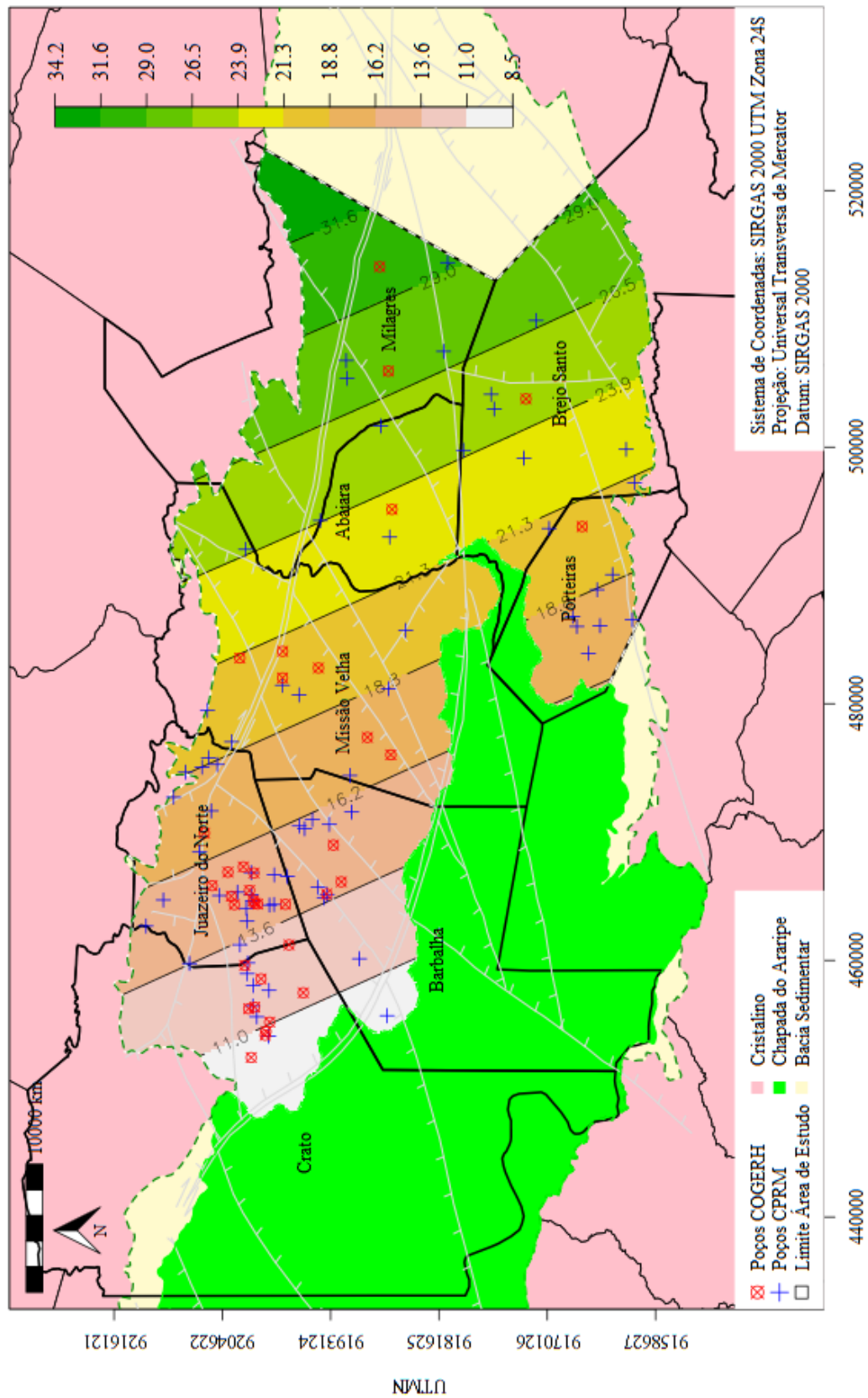
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Mapa 25 – Modelagem espacial K<sup>+</sup> – julho



UTME  
 Fonte: Elaborado pelo Autor.

Mapa 26 – Modelagem espacial  $SO_4^{2-}$  – julho



UTME  
 Fonte: Elaborado pelo Autor.

## 6 CONCLUSÕES

Pela metodologia empregada para modelar a espacialidade de parâmetros hidrogeoquímicos num cenário de escassez de dados, pôde-se concluir que:

- a) As análises de correlação, hidroquímica, por componentes principais e agrupamento demonstraram congruência entre si, fator importante no auxílio ao processo inferencial da modelagem espacial, servindo de suporte na confirmação das direções e sentidos provenientes da modelagem espacial dos parâmetros físico-químicos abordados neste estudo;
- b) As diferentes técnicas para a observação e interpretação da hidroquímica das águas subterrâneas na Bacia Sedimentar do Cariri Cearense, num contexto com diversificada litologia, demonstraram ser necessárias. Os sólidos totais dissolvidos das amostras indicaram o período seco com maior concentração que o período chuvoso. Os íons maiores, com base nos valores médios, configuraram-se para os cátions como  $rMg^{2+} > rNa^+ > rCa^{2+} > rK^+$  e  $rMg^{2+} > rCa^{2+} > rNa^+ > rK^+$ , e para os ânions  $rHCO_3^- > rCl^- > rNO_3^- > rSO_4^{2-} > rNO_2^-$  e  $rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} > rNO_3^- > rNO_2^-$ , chuvoso e seco. A menor concentração de  $K^+$  nas amostras de água indicaram a baixa mobilidade geoquímica. A composição química das águas foi fortemente influenciada pela calcita e dolomita, com dominância da rocha, com alguns poços atingindo níveis de saturação no período seco. Os intemperismos carbonático e de silicatos foram predominantes nos períodos chuvoso e seco, influenciados pela taxa  $rCa^{2+}/rNa^+ > 1$  (Karunanidhi *et al.*, 2020). Mais distante, a dissolução de evaporitos durante o escoamento e infiltração da água, podem ter impactado as águas classificadas como sódicas. A troca iônica demonstrou também contribuir na química da água. A maioria dos poços, tanto no período chuvoso (47,2 %) como no período seco (52,8 %), foram identificados como alcalino-terrosos e ânions ácidos fracos excedendo tanto os metais alcalinos como os ânions ácidos fortes, caracterizando como temporária a dureza da água;
- c) Na análise por componente principal (ACP), foram necessárias três componentes, respondendo por mais de 80 % em ambos os períodos, com as características: (i) Dim1 componente de salinidade (e.g. mineralização, presença de aerossóis marinhos, grau de intemperismo e composição das rochas), de



- alcalinidade com tendência aos alcalinos terrosos e sais dissolvidos (e.g. NaCl), e atividades antrópicas; (ii) Dim2 componente de atividades antrópicas e alcalinidade com tendência aos ânions ácidos fracos; (iii) Dim3 componente responsável pelo teor de substâncias dissolvidas, de acordo com a percolação da água precipitada no seu percurso pelo perfil do solo;
- d) Os quatro grupos determinados pelo algoritmo proposto por Charrad *et al.* (2014) e desenvolvidos com base nas componentes principais (Dim), pôde-se verificar no período chuvoso grupos distintos para a salinidade e alcalinidade, já no período seco os grupos por atividades antrópicas;
- e) A homogeneidade (Levene) e a similaridade (Wilcoxon-Mann-Whitney) para cada parâmetro na comparação entre os dados COGEGH e CPRM (imputados e não imputados) permitiu utilizar um conjunto de dados com características estatísticas semelhantes aos dados do relatório COGERH de 2011;
- f) A busca pelo melhor variograma abordando 38 direções, 11 funções de correlação e 3 tipos de pesos para minimização da função perda mostrou-se importante para o desenvolvimento da modelagem espacial;
- g) Pela modelagem espacial pôde-se identificar no período chuvoso a tendência a isotropia dos sólidos totais dissolvidos e da dureza, fortemente influenciados pelo contato da água com a rocha. Já no período seco, a tendência da isotropia está relacionada aos sólidos totais e a condutividade elétrica, devido ao aumento da concentração iônica de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{HCO}_3^-$ .

O modelo desenvolvido, com utilização da análise hidrogeoquímica, da análise multivariada, de técnicas de imputação de dados e da geoestatística, demonstrou ser capaz de aceitar a hipótese gerada, pois ele pode auxiliar no problema de escassez de dados na modelagem espacial de parâmetros hidroquímicos, através do emprego da imputação múltipla na falha dos dados. Neste contexto o modelo foi validado por meio da identificação dos processos e mecanismos que afetaram a química das águas, pela análise de componentes principais identificando a relação entre os tipos de águas e a área de localização dos poços, e pela análise de agrupamento alocando poços com características similares.

## REFERÊNCIAS

- ABAURREA, J.; ASÍN, J.; CEBRIÁN, A. C.; GARCÍA-VERA, M. A. **Trend analysis of water quality series based on regression models with correlated errors.** Journal of Hydrology, Volume 400, Issues 3–4, Pages 341-352, ISSN 0022-1694, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.01.049>.
- ABDI, H.; WILLIAMS, L. J. **Principal component analysis.** WIREs Comp Stat, 2: 433-459. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1002/wics.101>.
- ACOCK, A. C. **Working with missing values.** J Marriage Fam, 67:1012-28, 2005. DOI: <https://doi-org.ez11.periodicos.capes.gov.br/10.1111/j.1741-3737.2005.00191.x>.
- ADEYEYE, O. A.; XIAO, C.; ZHANG, Z.; YAWE, A. S.; LIANG, X. **Groundwater fluoride chemistry and health risk assessment of multi-aquifers in Jilin Qianan, Northeastern China,** Ecotoxicology and Environmental Safety, 211, 111926, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111926>.
- ALABURDA, J; NISHIHARA, L. **Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços,** Rev. Saúde Pública, v. 32, n. 2, São Paulo, abr. 1998. <https://doi.org/10.1590/S0034-89101998000200009>.
- ALAM, F. **Evaluation of hydrogeochemical parameters of groundwater for suitability of domestic and irrigational purposes: a case study from central Ganga Plain, India.** *Arabian Journal of Geosciences*, 7, 4121–4131, 2013. DOI: 10.1007/s12517-013-1055-6.
- ALAYA, M. B.; SAIDI, S.; ZEMNI, T.; ZARGOUNI, F. **Suitability assessment of deep groundwater for drinking and irrigation use in the Djeffara aquifers (Northern Gages, south-eastern Tunisia).** *Environ Earth Sci* (2014) 71:3387–3421. DOI: 10.1007/s12665-013-2729-9.
- ALAZARD, M.; LEDUC, C.; TRAVI, Y.; BOULET, G.; BEN SALEM, A. **Estimating evaporation in semi-arid areas facing data scarcity: Example of the El Haouareb dam (Merguellil catchment, Central Tunisia),** *Journal of Hydrology: Regional Studies* 3, 2015 265–2. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2014.11.007>.
- ALMEIDA, J. R. F.; FRISCHKOM, H. **Agrupamento da qualidade da água de poços de um pequeno aquífero aluvial: estudo de caso da bacia do riacho Forquilha em Quixeramobimce – Brasil.** *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica.* v. 8, n. 1, p. 114-130, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2015.8.1.48450>.
- ALTCHENKO, Y.; VILLHOLTH, K. G. **Transboundary aquifer mapping and management in Africa: a harmonised approach,** *Hydrogeology Journal*, 21: 1497–1517, 2013. DOI 10.1007/s10040-013-1002-3.
- ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; DISNEY, W.; ALVES, A. B. **Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise**

**multivariada**, Eng. Agríc., Jaboticabal, v.27, n.3, p.683-690, set/dez, 2007. DOI: 10.1590/S0100-69162007000400011.

ANSELIN, L.; SYABRI, I.; KHO, Y. **GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis**. Geographical Analysis, 38: 5-22, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0016-7363.2005.00671.x>.

APAYDIN, H.; SONMEZ, F. K.; YILDIRIM, Y. E. **Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey**, Climate Research, Vol. 28: 31–40, 2004. DOI: 10.3354/cr028031.

APHA – American Public Health Association. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. AWWA – WPCP. 2003. DOI: <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.006>.

ASSINE, Mário L. **Análise Estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil**, Revista Brasileira de Geociências 22(3):289-300, setembro de 1992. DOI: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.1992289300>.

ASSINE, Mário L. **Bacia do Araripe**. B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 371-389, maio/nov. 2007.

ATOR, S. W.; FERRARI, M. I. **Nitrate and selected pesticides in ground water of the Mid-Atlantic region**, Water-Resources Investigations Report 97-4139, 1997. DOI: <https://doi.org/10.3133/wri974139>.

BALL, J. W.; NORDSTROM, D. K. **Geochemical Model to Calculate Speciation of Major, Trace and Redox Elements in Natural Waters**. Report, U.S. U.S.A: Geological Survey, International Groundwater Modeling Center; 1992. DOI: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.1992289300>.

BARISON, M. R. **Estudo hidrogeoquímico da porção meridional do Sistema Aquífero Bauru no Estado de São Paulo**. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo. 2003. 158 f.

BARRETO JÚNIOR, A. M.; FAMBRINI, G. L.; SILVA FILHO, W. F.; SILVESTRE, D. C.; NEUMANN, V. H. M. L. **Definição estratigráfica da Formação Missão Velha, Bacia do Araripe**, Estudos Geológicos vol.30(2) 2020. DOI: 10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v30n2p3-25.

BARTH, F. T. **Fundamentos para a gestão de Recursos Hídricos**. In: Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. Vol. 1. Porto Alegre: 1987.

BARTLETT, M. S. **Properties of sufficiency and statistical tests**. Proceedings of the Royal Society of London Series A 160, 268–282, 1937. DOI: 10.1098/rspa.1937.0109.

BAUER, D. F. **Constructing confidence sets using rank statistics**. Journal of the American Statistical Association 67, 687–690, 1972. DOI: 10.1080/01621459.1972.10481279.

BERNHARDSEN, T. **Geographic Information Systems: An introduction**. Wiley & Sons, New York, 2002.

BEZERRA, A. D. A.; NOGUEIRA, E. R.; ARAÚJO, F. G. D. M.; BRANDÃO, M. G. A.; CHAVES, B. E.; PANTOJA, L. D. M. **Análise da potabilidade de água de chafarizes de dois bairros do município de Fortaleza, Ceará**, Acta Biomedica Brasiliensia / Volume 8/ nº 1/ julho de 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18571/acbm.119>.

BORG, I.; GROENEN, P. **Modern Multidimensional Scaling**. Theory and Applications. Springer, 1997.

BRAEKEN, J.; VAN ASSEN, M. A. L. M. **An Empirical Kaiser Criterion**. Psychological Methods. Advance online publication, March, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1037/met0000074>.

BRANCO, S. B.; SILVEIRA, C. B.; CAMPOS, M. L.; GATIBONI, L.C.; MIQUELLUTI, D.J. **Atributos químicos do solo e lixiviação de compostos fenólicos após adição de resíduo sólido alcalino**, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 17(5), 543, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000500012>.

BRASIL, Ministério da Saúde – Gabinete do Ministro, Portaria GM/MS Nº 888, DE 4 DE Maio DE 2021. **Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Disponível em: [bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888\\_07\\_05\\_2021.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html). Acesso em: 30 mai. 2021.

BURKE, S. **Missing values. outliers. robust statistics & nonparametric methods**. LC-GC Europe Online Supplement, Statistics & Data Analysis. Buckinghamshire, UK. v.2, n.0, p.19-24, 2001. Disponível em: <https://www.webdepot.umontreal.ca/Usagers/sauves/MonDepotPublic/CHM%203103/LCGC%20Eur%20Burke%202001%20-%204%20de%204.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2021.

BUSTILLO, M. A.; ARMENTEROS, I.; HUERTA, P. **Dolomitization, gypsum calcitization and silicification in carbonate–evaporite shallow lacustrine deposits**, Sedimentology, Vol.64(4), pp.1147-1172, June 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/sed.12345>.

CAI, W.; DOU, L.; SI, G.; CAO, A.; HE, J.; LIU, S. **A principal component analysis/fuzzy comprehensive evaluation model for coal burst liability assessment**. Original Research Article. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 81, January 2016, Pages 62-69. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2015.09.028.

CAMPOS, N. O Modelo Institucional. In: CAMPOS, N.; STUDART, T. (Org.). **Gestão de Águas: Princípios e Práticas**. 1. ed. Porto alegre: ABRH, 2001. cap. 03, p. 39-51.

CATTELL, R. B. **The scree test for the number of factors**. Multivariate behavioral research, 1966, 1.2: 245-276. DOI: 10.1207/s15327906mbr0102\_10.

CAVALCANTE, H. D.; SILVA, S. R.; PINHEIRO, P. D.; AKAO, M. M. F.; CARMO, M. V. **S. Single or paired increase of total alkalinity and hardness of water for cultivation of**

**Nile tilapia juveniles, *Oreochromis niloticus*.** *Acta Scientiarum. Technology*, 34(2), 2012. DOI: 10.4025/actascitechnol.v34i2.12003.

CAVALCANTE, I. N. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada de recursos hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza**, Estado do Ceará. 1998. 153 f. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

CEARÁ, Secretaria dos Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Fortaleza: Atlas, 1992. v.1.

CERLING, T. E.; SOLOMON, D. K.; QUADE, J.; BOWMAN, J. R. **On the isotopic composition of carbon in soil carbon dioxide.** *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 5, Issue 11, 1991, Pages 3403-3405, ISSN 0016-7037. DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(91\)90498-T](https://doi.org/10.1016/0016-7037(91)90498-T).

CHADHA, D. K. **A proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data.** *Hydrogeol J* 7:431–439, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1007/s100400050216>.

CHAE, G. T.; KIM, K.; YUN, S. T.; KIM, K. H.; KIM, S. O.; CHOI, B. Y.; KIM, H. S.; RHEE, C. W. **Hydrogeochemistry of alluvial groundwaters in an agricultural area: an implication for groundwater contamination susceptibility.** *Chemosphere* 55, 369–378, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.11.001>.

CHAI, T.; DRAXLER, R. R. **Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature.** *Geosci. Model Dev.*, 7, 1247 – 1250, 2014. DOI: 10.5194/gmd-7-1247-2014.

CHAMBERS, J. M.; HASTIE, T. J. **Statistical Models in S.** Wadsworth & Brooks/Cole., 1992.

CHARRAD, M.; GHAZZALI, N.; BOITEAU, V.; NIKNAFS, A. **NbClust: An R Package for Determining the Relevant Number of Clusters in a Data Set.** *Journal of Statistical Software*, 61(6), 1-36, (2014). DOI: 10.18637/jss.v061.i06.

CITTON, M.; CROONENBERG, S.; EL SHAMI, S.; CHAMMAS, G.; KAYED, S.; SALIBA, N. A.; NAJM, M. A.; TAMIM, H.; ZEINELDINE, S.; MAKKI, M.; KALOT, M.; LAKKIS, I.; AL-HINDI, M. **Multisource groundwater contamination under data scarcity: the case study of six municipalities in the proximity of the Naameh Landfill, Lebanon.** *Water*, v 12, p. 1358, 2020. DOI: 10.3390/w12051358.

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Volume I – Relatório Final, Estudo de qualidade das águas subterrâneas da bacia Araripe**, Ceará, Fortaleza – CE, dezembro, 2011.

COGERH/GOLDER-PIVOT. **Implantação do sistema de monitoramento/gestão de uma área piloto do aquífero Missão Velha na Bacia Sedimentar do Cariri.** Relatório Cadastro das Fontes. 2002. Fortaleza: SRH/COGERH, CD-ROM.

COSTA, D. A.; ASSUMPCÃO, R. S. F. V.; AZEVEDO, J. P. S.; SANTOS, M. A. **Dos instrumentos de gestão de recursos hídricos – o enquadramento – como ferramenta para reabilitação de rios**, Saúde Debate, Rio de Janeiro, V. 43, n. especial 3, P. 35-50, dez. 2019. DOI: 10.1590/0103-11042019S303.

COSTA, R. W. S.; FILHO, W. M. **Geoelectrical mapping of contamination in the cemeteries: the case study in Piracicaba, São Paulo/Brazil**. Environ Earth Sci, Springer-Verlag 2011. DOI 10.1007/s12665-011-1347-7.

COSTA, W. D. **Uso e gestão de águas subterrâneas**. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Org.). Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3. ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM e LABHID, 2008. cap. 7.5 p. 735-742.

COSTA, W. D.; SANTOS, V. M. A.; COSTA FILHO, W. D. **Causas de salinização da água dos poços em áreas do recife**. Águas Subterrâneas, [S. l.], 2008. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23424>. Acesso em: 2 abr. 2021.

COUTINHO, R. M.; KRAENKEL, R. A.; PRADO, P. I. **Catastrophic Regime Shift in Water Reservoirs and São Paulo Water Supply Crisis**. PLoS ONE 10(9): e0138278, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0138278.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Dados espaciais georreferenciados e estruturados em Sistema de Informações Geográficas – SIG**. Fortaleza, 2007. Escala 1:200.000.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Visualizar Mapas – Poços**. Disponível em: [http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar\\_mapa.php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php). Acesso em: 10 jan. 2018.

CURRAN, P. J.; ATKINSON, P. M. **Geostatistic and remote sensing, Progress in Physical Geography**, 22,1 pp. 61–78, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1177/030913339802200103>.

CUSTÓDIO, E. **Notas sobre hidroquímica**. Comisaría de águas del Pirineo Oriental y Servicio Geológico de Obras Públicas. Barcelona: 1965. 103 p.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterránea**. 2. ed. Barcelona: Omega. 1983. vol. 2.

DAMÁSIO, B. F. **Uso da análise fatorial exploratória em psicologia**. Avaliação psicológica, 2012, 11.2: 213-228. Disponível em: <[http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1677-04712012000200007&lng=pt&nrm=iso](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-04712012000200007&lng=pt&nrm=iso)>. ISSN 1677-0471.

DATTA, P. S.; TYAGI, S. K. **Major ion chemistry of groundwater in Delhi area: chemical weathering processes and groundwater flow regime**. J Geol Soc India 47:179–188, 1996. DOI: 0016-7622/96-47-2-179/S.

DENT, B. B.; FORBES, S. L.; STUART, B. H. **Review of human decomposition processes in soil**. Environ Geol 45:576–585, 2004. DOI: 10.1007/s00254-003-0913-z.

DENT, B. B.; KNIGHT, M. J. **Cemeteries: A special kind of landfill. The context of their sustainable management**, Groundwater: Sustainable Solutions, Conference of the International Association of Hydrogeologists, Melbourne, Feb. 98, 451 – 456, 1998. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/292767516\\_Cemeteries\\_a\\_special\\_kind\\_of\\_landfill\\_The\\_context\\_of\\_their\\_sustainable\\_management\\_Groundwater\\_sustainable\\_solutions](https://www.researchgate.net/publication/292767516_Cemeteries_a_special_kind_of_landfill_The_context_of_their_sustainable_management_Groundwater_sustainable_solutions)>. Acesso em: 02 abr. 2021.

DERRICK, B; RUCK, A; TOHER, D; WHITE, P. **Tests for equality of variances between two samples which contain both paired observations and independent observations**. Journal of Applied Quantitative Methods. 13 (2): 36–47, 2018. ISSN 1842-4562.

DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. **GSLIB – Geostatistical Software Library and User’s Guide**. Oxford University Press, New York, second edition, 1997.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Programa nacional de estudos dos distritos mineiros: projeto avaliação hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe**. Recife, 1996. 101 p.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (eds), **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004 (ISBN: 85-7383-260-6).

DZIUBAN, C. D.; SHIRKEY, E. S. **When is a correlation matrix appropriate for factor analysis? Some decision rules**, Psychological Bulletin, v.81, p.358-361, 1974. DOI: 10.1037/h0036316.

ESCORCIA, L. C.; GOMEZ -R IVAS, E.; DANIELE, L.; COR BELLA, M. **Dedolomitization and reservoir quality: insights from reactive transport modelling**, Geofluids, 13, 221–231, 2013. DOI: 10.1111/gfl.12023.

FAMBRINI, G. L.; SILVESTRE, D. C.; BARRETO JÚNIOR, A. M.; SILVA-FILHO, W. F. **Estratigrafia da bacia do Araripe: estado da arte, revisão crítica resultados novos**. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 20, n. 4, p. 169-212, Dezembro 2020. DOI: <http://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v20-163467>.

FENZL, N. **Processos Geoquímicos que determinam a composição química das águas naturais**. In: Fenzl, N.; Ramos, J. F. (Org.). Introdução à Hidrogeoquímica. 1. ed. Belém: Universidade Federal do Pará, 1988. cap. 02. p. 33-46.

FERNANDES, F. B. P.; ANDRADE, E. M.; FONTENELE, S. B.; MEIRELES, A. C. M.; RIBEIRO, J. A. **Análise de agrupamento como suporte à gestão qualitativa da água subterrânea no semiárido cearense**. Revista Agro@mbiente On-line, v. 4, n. 2, p. 86-95, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v4i2.402>.

FIELD, A. **Discovering Statistics Using SPSS**. Ed. 2, London: Sage. 2005.

FONTENELE, S. B.; MENDONÇA, L. A. R.; ARAÚJO, J. C.; SANTIAGO, M. M. F.; GONÇALVES, J. Y. B. **Relationship between hydrogeological parameters for data-scarce regions: the case of the Araripe sedimentary basin, Brazil**, Environ Earth Sci, 71:885–894, 2014. DOI: 10.1007/s12665-013-2491-z.

FRANCA, R. M.; GOMES, M. C. R.; SILVA, F. J. A.; LIMA, M. G. S.; FRISCHKORN, H. **Análise multivariada dos parâmetros de qualidade das águas subterrâneas em Juazeiro do Norte – CE (Brasil)**, *Águas Subterrâneas*, v. 32, n. 1, p. 106-113, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v32i1.28890>.

FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A. **Groundwater**. New Jersey: Englewood Cliffs, Prentice Hall, 604 p., 1979.

FRISCHKORN, H.; ARAÚJO, J.C.; SANTIAGO, M.M.F. **Water resources of Piauí and Ceará**. In: *Global change and regional impacts*. 1 ed. Berlin: Springer Verlag, 2003. p. 87-94.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Calendário das chuvas no estado do Ceará 2011**. Disponível em: <http://www5.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/media/mensal>. Acesso em: 20 jan. 2018.

GAN, G.; MA, C.; WU, J. **Data Clustering: Theory, Algorithms, and Applications**. ASA-SIAM Series on Statistics and Applied Probability. 2007.

GASTWIRTH, J. L.; GEL, Y. R.; MIAO, W. **The Impact of Levene's Test of Equality of Variances on Statistical Theory and Practice**, Vol. 24, No. 3, 343–360, *Statistical Science*, 2009. DOI: 0.1214/09-STS301.

GIBBS, R. T. **Mechanisms controlling world's water chemistry**. *Science*. 170:1088-1090, 1970. DOI: 10.1126/science.170.3962.1088.

GOLDER-PIVOT, Implantação do sistema de monitoramento/gestão de uma área piloto do aquífero Missão Velha na Bacia Sedimentar do Cariri. In: **Relatório Mensal de Andamento de Serviços Nº 2**. Fortaleza: SRH (Secretária de Recursos Hídricos), 2001.

GOMES, M. C. R.; MENDONÇA, L. A. R. **Análise estatística multivariada aplicada em amostras de água subterrânea da região do Cariri, sul do Estado do Ceará**. *Pesquisas em Geociências*, 44 (3): 453-465, set./dez. 2017. DOI: 10.22456/1807-9806.83269.

GOMES, M. C. R.; MENDONÇA, L. A. R.; LIMA, M. G. S.; ARAÚJO, A. O. **Similaridade de atributos físico-químicos com uso de Análise multivariada aplicada à gestão qualitativa de águas subterrâneas**. São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 36, n. 2, p. 325 – 337, 2017. DOI: 10.5016/geociencias.v36i2.12591.

GÜLER, C.; THYNE, G. D.; McCRAY, J.; TURNER, A. K. **Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data**. *Hydrogeol. J.* 10 455–474, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10040-002-0196-6>.

GUPTA, S.; DANDELE, P. S.; VERMA, M. B. **Geochemical assessment of groundwater around Macherla-Karempudi area, Guntur district, Andhra Pradesh**. *J Geol Soc India* 73, 202–212 (2009). DOI: <https://doi.org/10.1007/s12594-009-0076-y>.

HAINING, R. **Spatial data analysis: theory and practice**. Cambridge University Press, Year: 2003. ISBN: 0521773199. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511754944>.



HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise Multivariada de Dados**, 6ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

HARRELL JUNIOR, F. E. **Regression modeling strategies: with applications to linear models, logistic regression and survival analysis**. New York: Springer-Verlag; 2001.

HEM, J. D. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water**. Geological Survey Water-Supply Paper, 2254. 3. ed. Alexandria: Department of the interior, 1989. 263 p.

HOLLAND, H. D.; TUREKIAN, K. K. **Treatise on Geochemistry – surface and ground water, weathering and soils**, volume 7, 2ª edition, Elsevier, 2014. ISBN: 978-0-08-095975-7.

HOLLANDER, M.; WOLFE, D. A. **Nonparametric Statistical Methods**. New York: John Wiley & Sons. Second edition, 1999.

HORTON, N. J.; KLEINMAN, K. P. Much ado about nothing: a comparison of missing data methods and software to fit incomplete data regression models. *Am Stat*, 61:79-90, 2007. DOI: 10.1198/000313007X172556.

HORTON, N. J.; LIPSITZ, S. R. **Multiple imputation in practice: comparison of software packages for regression models with missing variables**. *Am Stat*, 55:244-54, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1198/000313001317098266>.

HOUNSLOW, A. W. **Water Quality Data – Analysis and Interpretation**, Taylor & Francis Group, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203734117>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Índice de Desenvolvimento Humano 2010** – Ceará, disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/>. Acessado em: 17 abr. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Projeções da População – Tabelas 2013**. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?edicao=9116&t=resultados>. Acesso em: 17 abr. 2021.

INGEBRITSEN, S. E.; SHERROD, D. R.; MARINER, R. H. **Heatflow and hydrothermal circulation in the Cascade Range, North-central Oregon**. *Science* 243, no. 4897: 1458–1462, 1989. DOI: 10.1126/science.243.4897.1458.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Os Recursos Hídricos do Ceará: Integração, Gestão e Potencialidades, 2011**. Disponível em: [https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2015/02/Recursos\\_Hidricos\\_do\\_Ceara.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2015/02/Recursos_Hidricos_do_Ceara.pdf). Acesso em: 15 jan. 2021.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Básico Municipal, 2015**. Disponível em: [https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Juazeiro\\_do\\_Norte\\_2011.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Juazeiro_do_Norte_2011.pdf). Acesso em: 09 set. 2020.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied Geostatistics**. New York, Oxford, Oxford University Press, 1989. ISBN 978-0-19-605013-4.

JACOMINE, P. K. T.; ALMEIDA, J. C.; MEDEIROS, L. A. R. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. Boletim Técnico, 28 – convênio MA/DNPEA – SUDENE/DRN. Recife: 1973b. 2v. 756p.

JIN, L.; SIEGEL, D. I.; LAUTZ, L. K.; MITCHELL, M. J.; DAHMS, D. E.; MAYER, B. **Calcite precipitation driven by the common ion effect during groundwater surface water mixing: A potentially common process in streams with geologic settings containing gypsum**. Geological Society of America Bulletin, 122(7-8), 1027–1038. DOI:10.1130/b30011.1.

JUNEJA, J. **Common factors, principal components analysis, and the term structure of interest rates**. Original Research Article International Review of Financial Analysis, Volume 24, September 2012, Pages 48-56.

KAISER, H. F. **A second generation little jiffy**. Psychometrika 35, 401–415, 1970. DOI: <https://doi-org.ez11.periodicos.capes.gov.br/10.1007/BF02291817>.

KARUNANIDHI, D.; ARAVINTHASAMY, P.; DEEPALI, M.; SUBRAMANIC, T.; ROY, P. D. **The effects of geochemical processes on groundwater chemistry and the health risks associated with fluoride intake in a semi-arid region of South India**. RSC Adv., 10, 4840–4859, 2020. DOI: 10.1039/C9RA10332E.

KENWARD, M. G.; CARPENTER, J. **Multiple imputation: current perspectives**. Stat Methods Med Res, 16:199-218, 2007. DOI: <https://doi-org.ez11.periodicos.capes.gov.br/10.1177/0962280206075304>.

KIM, Ho-Rim; YU, S.; OH, J.; KIM, Kyoung-Ho; LEE, Jeong-Ho; MONIRUZZAMAN, M.; KIM, H. K.; YUN, Seong-Taek. **Nitrate contamination and subsequent hydrogeochemical processes of shallow groundwater in agro-livestock farming districts in South Korea**. Agriculture, Ecosystems and Environment 273 (2019) 50–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.12.010>.

KRINGEL, R.; RECHENBURG, A.; KUITCHA, D.; FOUÉPÉ, A.; BELLENBERG, S.; KENGNE, I. M.; FOMO, M. A. **Mass balance of nitrogen and potassium in urban groundwater in Central Africa, Yaounde/Cameroon**. Science of the Total Environment 547 (2016) 382–395. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.090>.

KROL, M. S.; BRONSTERT, A. **Regional integrated modelling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil**. Envir. Model. & Softw. 22, 259-268, 2007. DOI: 10.1016/j.envsoft.2005.07.022.

KSHETRIMAYUM, K. S.; THOKCHOM, L. **A hydrogeochemical approach to evaluate the occurrence and source of salinization in the shallow aquifers of the southeastern Imphal valley in the Indo-Myanmar range of Northeast India**. Environ Earth Sci (2017) 76:714. DOI: 10.1007/s12665-017-7036-4.

LAWSON, R. G.; JURIS, P. C. **New index for clustering tendency and its application to chemical problems.** *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*, 30(1):36-41, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1021/ci00065a010>.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical Ecology.** 3rd English ed. Amsterdam: Elsevier Science BV, 2012.

LEVENE, H. **Robust testes for equality of variances.** In *Contributions to Probability and Statistics* (I. Olkin, ed.). Stanford Univ. Press, Palo Alto, CA. 278–292, 1960. DOI: <https://doi.org/10.2307/2285659>.

LI, J.; HEAP, A. D. **A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors.** *Ecological Informatics* 6, 228–241, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2010.12.003>.

LIMA, M. R. **Considerações sobre a subdivisão estratigráfica da Formação Santana – Cretáceo do Nordeste do Brasil.** *Rev. Bras. Geoc.*, 9(2):116-121, 1979.

LITTLE, R. J. A. **Regression with missing Xs – a review.** *J Am Stat Assoc*, 87:227-37, 1992. DOI: <https://doi-org.ez11.periodicos.capes.gov.br/10.2307/2290664>.

LIU, Z.; PAN, Q.; DEZERT, J.; MARTIN, A. **Adaptive imputation of missing values for incomplete pattern classification.** *Pattern Recognition* 52 85–95, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.patcog.2015.10.001>.

LOGAN, J. **Interpretação de análises químicas de água.** Recife: U.S. Agency for International Development. 1965. 67 p.

LORENZ, D. L.; DIEKOFF, A. L. **smwrGraphs – an R package for graphing hydrologic data**, version 1.1.2, U.S. Geological Survey Open-File Report, 2016 – 1188, 17 p. DOI: <https://doi.org/10.3133/ofr20161188>.

LORENZO-SEVA, U. **A factor simplicity index.** *Psychometrika* 68, 49–60, 2003. DOI: <https://doi-org.ez11.periodicos.capes.gov.br/10.1007/BF02296652>.

LOUCKS, D. P.; VAN BEEK, E.; STEDINGER, J. R.; DIJKMAN, J. P. M.; VILLARS, M. T. **Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications.** UNESCO. Paris. 2005.

LOWE, L. D.; WEBB, J. A.; NATHAN, R. J.; ETCHELLS, T.; MALANO, H. M. **Evaporation from water supply reservoirs: an assessment of uncertainty.** *Journal of Hydrology*, v. 376, p. 261–274, 2009. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2009.07.037](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.07.037).

McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. **Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates.** *Journal of Soil Science*, 37, 617-639, 1986. DOI: [doi:10.1111/j.1365-2389.1986.tb00392.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1986.tb00392.x).

MACHADO, C. J. F.; SANTIAGO, M. M. F.; FRISHKORN, H.; MENDES FILHO, J. **Clustering of groundwaters by Q-mode factor analysis according to their**

**hydrogeochemical origin: A case study of the Cariri Valley (Northern Brazil) wells.** Water AS, Vol. 34, No. 5, October 2008. DOI: 10.4314/wsa.v34i5.180665.

MACHADO, C. J. F.; SANTIAGO, M. M. F.; MENDONÇA, L. A. R.; FRISHKORN, H.; MENDES FILHO, J. **Hidrogeoquímica como indicador de interconexão entre aquíferos na Chapada do Araripe utilizando o aplicativo PHREEQC**, Rev. Águas Subterrâneas no 18/ Janeiro 2004. DOI: 10.14295/ras.v18i1.1340.

MACHADO, C. J. F. **Modelagem geoquímica e de fluxos do sistema aquífero subterrâneo na bacia sedimentar do Araripe**. Tese (doutorado), Universidade Federal do Ceará – UFC, Pós-Graduação em Física, Fortaleza, 2004.

MACHADO, C. J. F.; SANTIAGO, M. M. F.; MENDONÇA, L. A. R.; FRISCHKORN, H.; MENDES FILHO, J. **Evolução da Salinidade das Águas Subterrâneas No Aquífero Mauriti – Bacia Sedimentar do Araripe**. Águas Subterrâneas, [S. l.], n. 1, 2002. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22810>. Acesso em: 28 mai. 2021.

MADHAV, S.; AHAMAD, A.; KUMAR, A.; KUSHAWAHA, J.; SINGH, P.; MISHRA, P. K. **Geochemical assessment of groundwater quality for its suitability for drinking and irrigation purpose in rural areas of Sant Ravidas Nagar (Bhadohi)**. Uttar Pradesh. Geology, Ecology, and Landscapes, 2:2, 127-136, 2018. DOI: 10.1080/24749508.2018.1452485.

MANAHAN, S. E. **Environmental chemistry**, Tenth edition. | New York: CRC Press, 2017. ISBN 9781498776967.

MCQUITTY, L. L. **Similarity Analysis by Reciprocal Pairs for Discrete and Continuous Data**. Educational and Psychological Measurement, 26, 825–831, 1966. DOI: 10.1177/001316446602600402.

MEILA, M. **Comparing Clusterings: An Information Based Distance**. Journal of Multivariate Analysis 98, 5: 873-895, 2007. DOI: 10.1016/j.jmva.2006.11.013.

MENDONÇA, L. A. R. **Recursos hídricos da chapada do Araripe**. 193 f. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.

MESTRINHO, S. S. P. Geoquímica das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3. ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM e LABHID, 2008.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2005. 295p.

MIRI, H. H.; HASSANZADEH, J.; RAJAEFARD, A.; MIRMOHAMMADKHANI, M.; ANGALI, K. A. **Multiple imputation to correct for nonresponse bias: application in non-communicable disease risk factors survey**. Glob J Health Sci, 8:133- 58, 2016. DOI: 10.5539/gjhs.v8n1p133.

- MOHAJERANI, H.; KHOLGHI, M.; MOSAEDI, A.; FARMANI, R.; SADODDIN, A.; CASPER, M. **Application of bayesian decision networks for groundwater resources management under the conditions of high uncertainty and data scarcity**. *Water Resour. Manage.*, v. 31, p. 1859–1879, 2017. DOI: 10.1007/s11269-017-1616-7.
- MOLENBERGHS, G.; THIJIS, H.; JANSEN, I.; BEUNCKENS, C. **Analyzing Incomplete Longitudinal Clinical Trial Data**. *Biostatistics*. Biometrika Trust, v.5, n.3, p.445-64, jul, 2004. DOI: 10.1093/biostatistics/5.3.445.
- MONT'ALVERNE, A. A. F.; PONTE, F. C.; DANTAS, J. R. A.; LOPES, C. F.; MELO JÚNIOR, A. H.; PONTE, J. S. A.; FILGUEIRA, J. B. M.; SOUZA, S. R.; SILVA, E. C. C. **Projeto avaliação hidrogeológica da bacia sedimentar do Araripe**. Fase I. Recife: DNPM, 1996. 101 p. il.
- MONTEIRO, C. M. F.; DIBB, S.; ALMEIDA, L. T. **Revealing doctors prescribing choice dimensions with multivariate tools: A perceptual mapping approach**. Original Research Article. *European Journal of Operational Research*, Volume 201, Issue 3, 16 March 2010, Pages 909-920. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.04.010.
- MORRIS, T. P.; WHITE, I. R.; ROYSTON, P. **Tuning multiple imputation by predictive mean matching and local residual draws**. *BMC, Med Res Methodol*, 14:75, 2014. DOI: 10.1186/1471-2288-14-75.
- MOSTAFA, M. G.; UDDIN, S. M. H.; HAQUE, A. B. M. H. **Assessment of hydro-geochemistry and groundwater quality of Rajshahi City in Bangladesh**. *Appl Water Sci* 7, 4663–4671, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-017-0629-y>.
- MURTAGH, F.; LEGENDRE, P. **Ward's hierarchical agglomerative clustering method: which algorithms implement Ward's criterion?** *Journal of Classification*, 31, 274–295, 2014. DOI: 10.1007/s00357-014-9161-z.
- NASCIMENTO, F. M. F.; CARVALHO, J. E.; PEIXINHO, F. C. **Sistema de Informações de Água Subterrânea – SIAGAS Histórico, Desafios E Perspectivas**. *R. Águas Subter.*, set. 2008.
- NATH, S.; DERE, A. **Soil geochemical parameters influencing the spatial distribution of anthrax in Northwest Minnesota, USA**. *Applied Geochemistry* 74, 144 – 156, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2016.09.004>.
- NOBRE, R. G.; SOUSA, W. B.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; DIAS, A. S.; PINHEIRO, F. W. A. **Sources and doses of nitrogen in the production of sunflower plants irrigated with saline water**. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* vol.18, supl.0, Campina Grande, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18nsupps59-s65>.
- NUNES, L. N.; KLÜCK, M. M.; FACHEL, J. M. G. **Uso da imputação múltipla de dados faltantes: uma simulação utilizando dados epidemiológicos**. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 25(2):268-278, fev, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2009000200005>.

- ORAL, Ç. M.; ERCAN, B. **Influence of pH on morphology, size and polymorph of room temperature synthesized calcium carbonate particles.** Powder Technology 339, 781–788, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.08.066>.
- OTOCH, B. C. C.; STUDART, T. M. C.; CAMPOS, J. N. B.; PORTELA, M. M. **Gestão de Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas e a Dependência da Trajetória Institucional: Nordeste Brasileiro e Austrália.** Revista Recursos Hídricos, Vol. 40, N.º 1, 43-51, março de 2019. DOI: 10.5894/rh40n1-cti1.
- OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. **A new climate-vegetation equilibrium state for tropical South America.** Geophysical Research Letters. 30, 2003. DOI: <https://doi-org.ez11.periodicos.capes.gov.br/10.1029/2003GL018600>.
- OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. **Climatic consequences of a large-scale desertification in northeast Brazil: A GCM simulation study.** Journal of Climate. 17, 3203-3213, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<3203:CCOALD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<3203:CCOALD>2.0.CO;2).
- PESTANA, M. H.; GAGEIRO, J.N. **Análise de dados para ciências sociais: a complementariedade do SPSS.** Lisboa, Edições Sílabo, 2005.
- PIERSON-WICKMANN, A. C.; AQUILINA, L.; WEYER, C.; MOLÉNAT, J.; LISCHIED, G. **Acidification processes and soil leaching influenced by agricultural practices revealed by strontium isotopic ratios.** Geochim. Cosmochim. Acta 73, 4688–4704, 2009. DOI: 10.1016/j.gca.2009.05.051.
- PIMENTEL, S. D. **Choosing a Clustering: An A Posteriori Method for Social Networks.** Journal of Social Structure 15(1):1-21, 2013. DOI: 10.21307/joss-2019-022.
- PINA, A. P. S. A. **Fundamentos hidrogeoquímicos aplicados na Bacia Hidrográfica de Santa Cruz, Ilha de Santiago – Cabo Verde, como instrumento para a gestão de recursos hídricos.** 150 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- PIPER, A. M. **A graphic procedure in geochemical interpretation of water analysis.** Trans Am Geophys Union 25(6):914–928, 1944. DOI: 10.1029/TR025i006p00914.
- PLUMMER, L. N.; JONES, B. F.; TRUESDELL, A. H. **WATEQF, a Fortran IV version of WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibrium of natural waters.** US Geol Surv Water Resour Invest 76:13, 1976. DOI: 10.3133/wri7613.
- PONTE, F. C.; APPI, C. J. **Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe.** In: XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia. Natal, 1990. Anais. Natal, SBG. v. 1. p. 211-226.
- PROCHNOW, T. R.; PROCHNOW, E. A.; LIBERMAN, B. **Efeitos antrópicos sobre concentrações de metais alcalinos na região da microbacia do Arroio Araçá, Canoas – Rio Grande do Sul.** Quim. Nova, Vol. 32, No. 7, 1782-1786, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000700019>.

PUTNAM, D. E. **Composition and concentrative properties of human urine**. Technical Report, NASA, Washington, D.C. McDonnell Douglas Astronautics Company — Western Division, 1971.

QIAO, C.; LIU, L.; HU, S.; COMPTON, J. E.; GREAVES, T. L.; LI, Q. **How inhibiting nitrification affects nitrogen cycle and reduces environmental impacts of anthropogenic nitrogen input**. *Global Change Biology*, 21(3), 1249–1257, 2015. DOI:10.1111/gcb.12802.

QIYAN, F.; BAOPING, H. **Hydrogeochemical simulation of water rock interaction under water flood recovery in Renqiu Oilfield, Hebei Province, China**. *Chin J Geochem* 21:156–162, 2002. DOI: 10.1007/BF02873773.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>, 2020.

REBOUÇAS, A. C. **Diagnóstico do Setor Hidrogeologia**. PADCT – MCT. CADERNO TÉCNICO. ABAS. São Paulo – SP. 46p, 1996.

RIBEIRO, J. A.; VERRÍSSIMO, L. S.; MEDEIROS, M. F. **Projeto AMCARI: avaliação ambiental da região do Cariri – diagnóstico mineral da região do Cariri**. Fortaleza: CPRM, 1996, v.7, 68p. (Série Recursos Minerais).

RIO, G. A. P. **Gestão de águas: um desafio geo-institucional**. *Revista Tamoios*, São Gonçalo, RJ, v. 13, n. 1, págs. 3-23, jan-jun, 2017. DOI: <https://doi.org/10.12957/tamoios.2017.29156>.

ROYSTON, P. **An extension of Shapiro and Wilk's W test for normality to large samples**. *Applied Statistics*, 31, 115–124, 1982. DOI: 10.2307/2347973.

ROYSTON, P. **Remark AS R94: A remark on Algorithm AS 181: The W test for normality**. *Applied Statistics*, 44, 547–551, 1995. DOI: 10.2307/2986146.

RUBIN, D. B. **Multiple imputation for nonresponse in surveys**. New York: Wiley; 1987.

RUDD, J. W. M.; KELLY, C. A.; SCHINDLER, D. W.; TURNER, M. A. **Disruption of the Nitrogen Cycle in Acidified Lakes**. *Science*, 240(4858), 1515–1517, 1988. DOI: 10.1126/science.240.4858.1515.

SAHA, S.; REZA, A. H. M. S.; ROY, M. K. **Hydrochemical evaluation of groundwater quality of the Tista floodplain, Rangpur, Bangladesh**. *Appl Water Sci* 9, 198, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1085-7>.

SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. **Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America**. *Geophysical Research Letters*. 34, L09708, 2007. DOI: <https://doi-org.ez11.periodicos.capes.gov.br/10.1029/2007GL029695>.

SANTIAGO, M. M. F.; SILVA, C. M. S. V.; FRISCHKOM, H.; MENDES FILHO, J.; VERRÍSSIMO, L. S. **Hidrogeoquímica da Bacia Sedimentar do Cariri**. 2007. Disponível em: <[http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/10454/7/hidrog\\_bacia\\_sed\\_cariri.pdf](http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/10454/7/hidrog_bacia_sed_cariri.pdf)>. Acesso em: 01 abr. 2021.

SANTIAGO, M. M. F.; SILVA, C. M. S. V. **Manual de análise hidroquímica e bacteriológica do Departamento de Física da UFC**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2007. 27 p.

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. *In*: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3. ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM e LABHID, 2008. cap. 05. p. 325-357.

SANTOS, R. J. S.; MENDONÇA, L. A. R. **O Brasil e a política de águas: leis, planos e comitês de bacia**. IV Simpósio Brasileiro de Recursos Naturais do Semiárido – SBRNS, SSN: 2359-2028, 2019. DOI: 10.18068/IVSBRNS.2019.105.

SANTOS, R. J. S.; MENDONÇA, L. A. R.; SILVA, F. J. **Geoquímica das águas subterrâneas da bacia sedimentar do cariri cearense, nordeste do brasil**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 40, n. 4, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i04.15711>.

SASIDHARAN, L.; WU, K. F.; MENENDEZ, M. **Exploring the application of latent class cluster analysis for investigating pedestrian crash injury severities in Switzerland**. Original Research Article. Accident Analysis & Prevention, Volume 85, December 2015, Pages 219-228. DOI: 10.1016/j.aap.2015.09.020.

SCHAFER, J. L. **Multiple imputation: a primer**. Stat Methods Med Res; 8:3-15, 1999. DOI: <https://doi-org.ez11.periodicos.capes.gov.br/10.1177/096228029900800102>.

SCHAFER, J. L.; GRAHAM, J. W. **Missing data: our view of the state of the art**. Psychol Methods 2002; 7:147-77. DOI: 10.1037/1082-989X.7.2.147.

SCHOELLER, H. **Geochemistry of groundwater**. *In*: groundwater Studies- An international guide for research and practice (ch. 15, p.p. 1-18). Paris: UNESCO, 1977.

SILVA, A. C. R.; CELINO, J. J.; ALVA, J. C. R.; SILVA, M. J. **Geoestatística e geoquímica dos metais traços na água de fontes naturais no município de salvador - Bahia, Brasil**. Águas Subterrâneas, 27(3), 2013. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v27i3.27405>.

SILVA, J. J. F.; MIGLIORINI, R. B. **Caracterização das águas subterrâneas do aquífero furnas na região sul do estado de Mato Grosso**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 33, n. 2, p.261-277, 2014. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/9001>. Acesso em: 10 abr. 2021.

SILVA, J. F.; NOBRE, F. W. **O discurso da seca e da crise hídrica: uma análise do Cinturão das Águas do Ceará**. Sustentabilidade em Debate, Brasília, v. 7, Edição Especial, p. 22-37, dez/2016. DOI: 10.18472/SustDeb.v7n0.2016.18756.

SILVA, M. A. M.; SCHREIBER, B. C.; SANTOS, C. L. **Evaporitos como recursos minerais**. Rev. Bras. Geof. vol.18, no.3, São Paulo, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2000000300011>.



SILVA, M. I.; GONÇALVES, A. M. L.; LOPES, W. A.; LIMA, M. T. V.; COSTA, C. T. F.; PARIS, M.; DE PAULA FILHO, F. J. Assessment of groundwater quality in a Brazilian semiarid basin using an integration of GIS, water quality index and multivariate statistical techniques. *Journal of Hydrology*, 598, 126346, 2021. DOI:10.1016/j.jhydrol.2021.126346.

SILVESTRE, D. C.; FAMBRINI, G. L.; SANTOS, A. A. F. **Caracterização faciológica das Formações Cariri e Brejo Santo em afloramentos a NE do município Missão Velha (Ceará – Brasil)**. *Estudos Geológicos* vol.27(1) 2017. DOI: 10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v27n1p19-33.

SIT – Sistemas de Informações Territoriais. **Perfil Territorial Cariri – CE**, CGMA, mai/2015. Disponível em: <[http://sit.mda.gov.br/download/caderno/caderno\\_territorial\\_131\\_Carir%C3%83%C2%AD%20-%20CE.pdf](http://sit.mda.gov.br/download/caderno/caderno_territorial_131_Carir%C3%83%C2%AD%20-%20CE.pdf)>. Acesso em: 08 out. 2020.

SONNENFELD, P. **The color of rock salt – A review**. *Sedimentary Geology*, 94(3-4), 267–276, 1995. DOI: 10.1016/0037-0738(94)00093-a.

SOUZA, M.; SILVA, C. P.; BARBOSA, L. M. **Governança e difusão de normas para a gestão de aquíferos compartilhados: o papel do ISARM**. *Contexto Internacional*, Rio de Janeiro, vol. 36, no1, janeiro/junho 2014, p. 261-289. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-85292014000100009>.

SREBOTNJAK, T.; CARR, G.; SHERBININ, A.; RICKWOOD, C. **A global Water Quality Index and hot-deck imputation of missing data**. *Ecological Indicators*, 17, 108 – 11, 2012. DOI: 10.1016/j.ecolind.2011.04.023.

SUBRAMANI, T.; RAJMOHAN, N.; ELANGO, L. **Groundwater geochemistry and identification of hydrogeochemical processes in a hard rock region, Southern India**. *Environ Monit Assess*, Springer Science, Business Media B.V., 2009. DOI: 10.1007/s10661-009-0781-4.

PLIRHINE – SUDENE. **Plano de aproveitamento integrado dos recursos hídricos do Nordeste do Brasil**. 15 v., 1980.

SZIKSZAY, M. **Geoquímica das Águas**. *Boletim do Instituto de Geociências*, São Paulo, n.5., p. 1-166. 1993. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-896X.v0i5p1-166>.

TABACHNICK, B.; FIDELL, L. **Using multivariate analysis**. Needham Heights: Allyn & Bacon, 2007.

TCHOBANOGLIOUS, E. D.; SCHOEDER, G. **Water Quality: Characteristics, Modeling And Modification**, Prentice Hall, 1985-01; ISBN-13: 978-0201054330.

TYAGI, S.; SARMA, K. **Expounding major ions chemistry of groundwater with significant controlling factors in a suburban district of Uttar Pradesh, India**. *J Earth Syst Sci* 130, 169, 2021. DOI: <https://doi-org.ez11.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s12040-021-01629-8>.

VAN BUUREN, S.; GROOTHUIS-OUDSHOORN, K. **Mice: Multivariate Imputation by Chained Equations in R**. *Journal of Statistical Software*, 45(3), 1–67, 2011. DOI: 10.18637/jss.v045.i03.

VAN BUUREN, S. **Multiple imputation of discrete and continuous data by fully conditional specification**. *Statistical Methods in Medical Research*, 16, 3, 219–242, 2007. DOI: 10.1177/0962280206074463.

VAN DER HEIJDEN, G. J.; DONDERS, A. R.; STIJNEN, T.; MOONS, K. G. **Imputation of missing values is superior to complete case analysis and the missing-indicator method in multivariable diagnostic research: a clinical example**. *J Clin Epidemiol*; 59:1102-9, 2006. DOI: 10.1016/j.jclinepi.2006.01.015.

VERÍSSIMO, L. S.; AGUIAR, R. B. **Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semiárida do Nordeste Brasileiro: Hidrogeologia da Porção Oriental da Bacia Sedimentar do Araripe – Meta A**. Relatório Diagnóstico do Estado-da-Arte, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2005. Disponível em: [http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/10454/1/META\\_A.PDF](http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/10454/1/META_A.PDF). Acesso em: 15 out. 2020.

VIDAL, A. C.; KIANG, C. H. **Caracterização hidroquímica dos aquíferos da bacia de Taubaté**. *Revista Brasileira de Geociências*. Curitiba, v. 32, n. 2, p. 267- 276, 2017. Disponível em: <https://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/10383>. Acesso em: 15 jan. 2022.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

WAGH, V. M.; MUKATE, S. V.; PANASKAR, D. B.; MULEY, A. A.; SAHU, U. L. **Study of groundwater hydrochemistry and drinking suitability through Water Quality Index (WQI) modelling in Kadava river basin, India**. *SN Applied Sciences*, 1:1251, 2019. DOI: 10.1007/s42452-019-1268-8.

WANG, S.; HUANG, G. H.; LIN, Q. G.; LI, Z.; ZHANG, H.; FAN, Y. R. **Comparison of interpolation methods for estimating spatial distribution of precipitation in Ontario, Canada**. *International Journal of Climatology, Int. J. Climatol.*, 34: 3745–3751, 2014. DOI: 10.1002/joc.3941.

WANG, S.; ZHENG, W.; CURRELL, M.; YANG, Y.; ZHAO, H.; LV, M. **Relationship between land-use and sources and fate of nitrate in groundwater in a typical recharge area of the North China Plain**. *Science of The Total Environment*, Volume 609, 2017, 607-620, ISSN 0048-9697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.176>.

WHITE, I. A.; WOOD, A.; ROYSTON, P. **Editorial: multiple imputation in practice**. *Stat Methods Med Res*, 16:195-7, 2007. DOI: <https://doi-org.ez11.periodicos.capes.gov.br/10.1177/0962280206074452>.

WHO – **Guidelines for drinking water quality**. Fourth edition incorporating the first addendum. 4<sup>o</sup> Edition, 2017. ISBN 978-92-4-154995-0. Disponível em: <

<https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/water-safety-and-quality/drinking-water-quality-guidelines> >. Acesso em: 08 set. 2021.

WOLKMER, M. F. S.; PIMMEL, N. F. **Política Nacional de Recursos Hídricos: governança da água e cidadania ambiental**. Sequência (Florianópolis), n. 67, p. 165-198, dez. 2013. DOI: <https://doi.org/10.5007/2177-7055.2013v34n67p165>.

WOOD, A.; WHITE, I.; THOMPSON, S. **Are missing outcome data adequately handled?** A review of published randomized controlled trials in major medical journals. SAGE Clinical Trials, n.1, p.368-76, ago. 2004. DOI: 10.1191/1740774504cn032oa.

WROBLESCKI, F. A.; BERTOL, I.; WOLSCHICK, N. H.; BIASIOLO, L. A. **Impacto da antropização na qualidade da água e no solo de áreas ciliares avaliado em uma bacia hidrográfica na região Sul do Brasil**. Revista de Ciências Agroveterinárias, Vol. 20 No. 1, 2021. DOI: 10.5965/223811712012021074.

WU, J.; LI, P.; QIAN, H.; DUAN, Z.; ZHANG, X. **Using correlation and multivariate statistical analysis to identify hydrogeochemical processes affecting the major ion chemistry of waters: A case study in Laoheba phosphorite mine in Sichuan, China**; Arab. J. Geosci. 7 3973–3982, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-013-1057-4>.

ZHANG, P. **Multiple imputation: theory and method**. Int Stat Ver, 71:581-92, 2003. DOI: <https://doi-org.ez11.periodicos.capes.gov.br/10.1111/j.1751-5823.2003.tb00213.x>.

ZLOTNIK, V. A.; CARDENAS, M. B.; TOUNDYKOV, D. **Effects of multiscale anisotropy on basin and hyporheic groundwater flow**. Vol. 49, No. 4–GROUND WATER–July–August, (pages 576–583), 2011. DOI: 10.1111/j.1745-6584.2010.00775.x.

ZOPPAS, F. M.; BERNARDES, A. M.; MENEGUZZI, A. **Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea**. Eng Sanit Ambient, v.21 n.1, 29-42, jan/mar 2016. DOI: 10.1590/S1413-41520201600100134682.

**APÊNDICE A – ÍNDICES DE SATURAÇÃO – JANEIRO**

<b>Amostra</b>	<b>Anhydrite</b>	<b>Aragonite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Dolomite</b>	<b>Gypsum</b>	<b>Halite</b>
AB1	-3,51	-1,17	-1,03	-1,6	-3,21	-7,11
BB2	*	*	*	*	*	-8,23
BB8	-2,33	-2,48	-2,34	-4,43	-2,03	-7,81
BB11	-3,28	-2,57	-2,42	-4,57	-2,98	-8,03
BS1	-2,33	-4,14	-4	-7,31	-2,02	-6,34
CT1	-3,57	-3,51	-3,36	-6,38	-3,26	-8,38
CT2	-3,67	-4,89	-4,74	-8,77	-3,36	-8,07
CT3	*	-4,46	-4,32	-7,93	*	-8,37
CT4	*	*	*	*	*	-7,48
CT5	-2,4	-1,45	-1,31	-2,52	-2,1	-7,16
CT6	*	-6,59	-6,45	-11,73	*	-7,34
CT8	-3,17	-5,06	-4,92	-9,5	-2,87	-8,13
CT13	-2,07	-0,31	-0,17	-0,47	-1,77	-7,19
CT14	-3,9	-3,19	-3,05	-5,81	-3,6	-7,6
CT17	*	*	*	*	*	-7,78
ML1	-4,01	-2,44	-2,3	-3,32	-3,7	-7,08
ML2	*	-4,11	-3,96	-6,92	*	-8,2
JN1	-2,2	-2,43	-2,29	-4,68	-1,89	-7,35
JN2	-3,76	-0,82	-0,68	-0,77	-3,45	-8,7
JN3	*	*	*	*	*	-7,75
JN9	-4,91	-5,34	-5,2	-9,75	-4,6	-8,25
JN11	*	-4,59	-4,45	-8,61	*	-8,01
JN15	-3,84	-4,01	-3,86	-7,56	-3,53	-8,49
JN18	*	-5,64	-5,5	-10,36	*	-7,05
JN21	-3,52	-2,99	-2,85	-5,48	-3,22	-6,39
JN22	*	-3,55	-3,41	-5,89	*	-7,1
JN24	*	*	*	*	*	-7,65
JN25	-4,76	*	*	*	-4,46	-6,89
JN29	-3,18	-2,41	-2,27	-4,43	-2,87	-7,6
MV1	-3,93	-1,59	-1,45	-2,47	-3,62	-7,85
MV2	-3,4	-3,86	-3,72	-7,22	-3,1	-8,08
MV3	*	-1,93	-1,79	-3,27	*	-8,43
MV4	-2,68	-1,92	-1,77	-3,63	-2,38	-8,11
MV7	-3,01	-0,68	-0,54	-0,82	-2,71	-7,76
MV13	-3,36	-0,7	-0,55	-0,84	-3,06	-8,42
PT1	-3,67	-2,48	-2,34	-4,17	-3,36	-8,09

Obs.: \* Valores ausentes

Fonte: Elaborado pelo Autor.

## APÊNDICE B – ÍNDICES DE SATURAÇÃO – JULHO

Amostra	Anhydrite	Aragonite	Calcite	Dolomite	Gypsum	Halite
AB1	-2,69	0,16	0,3	0,84	-2,39	-6,59
BB2	-4,98	-4,81	-4,67	-8,92	-4,67	-8,25
BB8	-2,43	-1,25	-1,11	-1,77	-2,12	-7,87
BB11	-3,18	-1,44	-1,3	-2,35	-2,88	-8,07
BS1	-2,18	-3,3	-3,16	-5,7	-1,88	-6,31
CT1	-3,51	-2,08	-1,93	-3,58	-3,2	-8,22
CT2	-3,32	-3,11	-2,97	-5,54	-3,01	-8,22
CT3	-4,52	-1,75	-1,61	-2,57	-4,22	-8,41
CT4	*	*	*	*	*	-7,45
CT5	-2,28	-0,64	-0,5	-0,89	-1,97	-7,12
CT6	-4,8	-4,56	-4,42	-7,86	-4,5	-7,29
CT8	-3,09	-3,24	-3,1	-6,01	-2,78	-8
CT13	-2,46	0,36	0,51	0,6	-2,16	-7,06
CT14	-3,72	-1,68	-1,54	-2,72	-3,42	-7,7
CT17	*	-6,46	-6,31	-11,59	*	-7,83
ML1	-3,71	-1,32	-1,17	-1,35	-3,41	-7,14
ML2	*	-3,01	-2,86	-5,06	*	-8,13
JN1	-2,22	0,24	0,38	0,75	-1,92	-7,24
JN2	-3,12	0,1	0,24	0,75	-2,81	-7,96
JN3	-5,58	-6,4	-6,26	-11,91	-5,28	-7,63
JN9	-4,35	-2,6	-2,46	-4,78	-4,05	-8,13
JN11	-4,93	-3,38	-3,24	-6,22	-4,62	-8
JN15	-3,69	-2,06	-1,92	-3,62	-3,38	-8,44
JN18	-3,8	-4	-3,86	-7,29	-3,5	-6,98
JN21	-3,39	-2,35	-2,21	-4,16	-3,08	-6,35
JN22	-5,65	-5,14	-4,99	-9,18	-5,34	-7,07
JN24	*	*	*	*	*	-7,58
JN25	-4,99	*	*	*	-4,69	-7
JN29	-2,91	-1,04	-0,9	-2,04	-2,61	-7,63
MV1	-3,68	-2,15	-2	-3,87	-3,38	-7,79
MV2	-3,32	-0,58	-0,44	-0,77	-3,02	-7,98
MV3	-5,54	-1,89	-1,75	-3,24	-5,24	-8,41
MV4	-2,68	-1,55	-1,41	-2,98	-2,37	-8,13
MV7	-2,95	-0,36	-0,21	-0,27	-2,65	-7,75
MV13	-3,26	0,08	0,22	0,55	-2,96	-8,76
PT1	-3,45	-1,39	-1,24	-2,19	-3,14	-8,01

Obs.: \* Valores ausentes

Fonte: Elaborado pelo Autor.

**APÊNDICE C – DADOS ORIGINAIS E IMPUTADOS – JANEIRO**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
3	486810	9167417	224	196	52	15,8	31	67	43	3	9	1	7,22	430	<b>0,87</b>
91	464356	9199134	79	<b>20</b>	9,98	5,59	9	<b>112</b>	9,95	1,45	15,6	3,13	5,95	131,75	<b>0,59</b>
93	466840	9201563	189	<b>220</b>	30,8	14,69	<b>63,3</b>	<b>96,9</b>	24,88	8,23	12,2	4,97	7,77	331	<b>0,59</b>
101	464314	9199625	96	<b>75</b>	14,59	9,79	9	<b>24,2</b>	12,92	4,99	16,7	<b>18,3</b>	<b>5,2</b>	165,4	<b>1,32</b>
374	471562	9190895	141	36	0,117	1,08	9	<b>80</b>	83,55	5,39	13,9	5,24	<b>5,2</b>	174	<b>0,59</b>
375	483932	9165758	643	151	48	37,7	54	<b>116</b>	178,4	41,7	2,7	5,9	<b>4,3</b>	858	<b>0,55</b>
376	504119	9176086	451	165	34	19,4	<b>33</b>	<b>234,2</b>	79,3	2,9	2,47	<b>0,5</b>	<b>7,98</b>	601	<b>0,51</b>
377	470264	9195892	110	<b>30</b>	4,4	5,3	9	<b>56,5</b>	19,9	5,2	0,5	<b>5,9</b>	<b>6,9</b>	147	<b>0,43</b>
378	502972	9175754	409	160	26	23,1	<b>15,3</b>	<b>234,2</b>	66,9	7,2	1,54	<b>0,5</b>	4	547	<b>0,59</b>
379	464704	9210892	84	<b>75</b>	8,69	5,21	<b>10,6</b>	<b>16,2</b>	21,89	4,46	20,97	2,01	<b>3,8</b>	159,3	<b>0,67</b>
380	514376	9180703	193	<b>20</b>	5,9	4,6	<b>21</b>	<b>16,2</b>	31,67	44	<b>16,5</b>	<b>1,3</b>	<b>7,77</b>	389	<b>0,87</b>
381	486543	9161102	371	180	42	18,2	<b>54</b>	<b>179</b>	44,6	4,9	2,53	<b>30,22</b>	<b>7,22</b>	655	<b>0,51</b>
382	477042	9203639	522	234	36,4	34,7	<b>67,1</b>	<b>234,2</b>	65,2	7	2,1	<b>0,114</b>	<b>7,22</b>	921	<b>0,51</b>
383	493660	9169930	125	<b>50</b>	19	13,9	<b>63,3</b>	<b>16,2</b>	11,7	16	8	<b>26,5</b>	<b>3,8</b>	250	<b>1,32</b>
385	488885	9164833	139	134	37,68	9,7	<b>15,3</b>	<b>8,1</b>	68,8	18	6,37	<b>1,3</b>	<b>6,9</b>	278,2	<b>0,63</b>
386	486090	9164530	75	71	18,7	5,9	<b>10,6</b>	<b>56,5</b>	8,9	10	2,5	<b>5,9</b>	7	150	<b>0,63</b>
387	492034	9202147	60	2	4,81	1,94	<b>67,1</b>	0	31,99	1	71,337	<b>96,1</b>	<b>4,8</b>	122	<b>1,19</b>
388	460127	9190069	86	50	8,02	7,29	<b>10,6</b>	0	41,99	42,46	5,86	<b>5,9</b>	<b>3,8</b>	168,6	<b>0,43</b>
389	475792	9206096	91	20	8,02	<b>1,17</b>	<b>31</b>	<b>24,2</b>	33,99	68	26	<b>8,3</b>	<b>3,8</b>	185,5	<b>1,19</b>
390	471652	9205809	362	206	40,08	25,74	<b>54</b>	0	78,97	158,07	5	<b>1,2</b>	<b>6,6</b>	716,2	<b>0,63</b>

**DADOS ORIGINAIS E IMPUTADOS – JANEIRO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
392	462680	9212735	95	80	27,25	2,9	17	0	16,99	30,4	9,6	<b>1,3</b>	7	189	<b>0,51</b>
395	492994	9186865	220	<b>60</b>	29,2	24,8	<b>28,2</b>	<b>24,2</b>	11,7	36	4,2	<b>18,7</b>	<b>7,77</b>	440	<b>0,87</b>
397	461213	9202762	124	<b>20</b>	18,1	13,8	<b>26,6</b>	0	20,1	1	16,1	4,7	<b>4,7</b>	210	<b>0,87</b>
398	509869	9171317	109	50	12,02	4,85	<b>6</b>	<b>32,3</b>	21,99	4	5,68	<b>2,58</b>	<b>5,9</b>	217,8	<b>0,67</b>
399	470603	9193272	169	<b>45</b>	25,3	23,53	<b>54</b>	<b>16,2</b>	17,81	36	<b>20,97</b>	<b>18,3</b>	<b>4,7</b>	332,2	<b>1,19</b>
418	505362	9191391	340	<b>120</b>	9,6	1,92	105	170	70	34,4	3,5	<b>0,44</b>	7,98	750	<b>0,59</b>
419	506754	9191483	330	<b>145</b>	7,2	3,84	<b>78,5</b>	179	32	49,6	7	<b>5</b>	7,82	750	<b>0,63</b>
424	465140	9193504	74	34	6	4,56	<b>54</b>	<b>8,1</b>	17	7,63	4,6	2,58	<b>7,2</b>	142	<b>0,63</b>
426	459760	9208115	93	60	12	7,2	<b>9</b>	<b>16,2</b>	12	1	13,3	3,05	<b>7,98</b>	179	<b>0,63</b>
448	472725	9209801	49	10	1,29	1,4	<b>17</b>	<b>16,2</b>	45,6	3,59	0,9	1,3	<b>4,7</b>	324,2	<b>1,19</b>
450	468447	9207048	55	14	2,45	1,93	21	0	34,74	4,79	1,1	1	<b>3,8</b>	452,2	<b>0,51</b>
456	490063	9163192	217	236	59,32	21,35	<b>10,6</b>	<b>32,3</b>	85,53	<b>44</b>	12,88	1,3	<b>7,77</b>	431,2	<b>1,19</b>
457	479479	9206207	90	44	6,41	6,8	<b>21</b>	0	45,99	<b>5,39</b>	20,97	<b>24</b>	<b>4,7</b>	180	<b>0,63</b>
459	475069	9206779	70	<b>100</b>	30,6	7,1	3	<b>116</b>	38,2	<b>5</b>	8,3	<b>10,26</b>	<b>4,3</b>	160	<b>0,51</b>
460	475270	9205172	131	<b>36</b>	12,6	7,6	<b>3</b>	<b>24,2</b>	27,13	<b>0,1</b>	15,1	4,3	<b>5,1</b>	180	<b>1,19</b>
461	474667	9208552	247	<b>200</b>	47,9	0,93	<b>23,3</b>	<b>96,9</b>	40,2	<b>1,31</b>	27,6	4,6	<b>7,18</b>	370	<b>0,59</b>
515	480689	9196482	285	184	27,1	32,2	<b>23,3</b>	<b>137,3</b>	58,55	7,53	8,65	<b>13,6</b>	<b>7,1</b>	343	<b>1,19</b>
519	494292	9194217	200	68	6,997	8,966	<b>12,1</b>	<b>170</b>	57,71	0,7	7,996	10,26	7	212,3	<b>0,63</b>
520	466540	9197726	73	12	0,229	1,17	3	<b>88,8</b>	8,51	0,22	4,46	<b>0,44</b>	7	45,52	<b>0,63</b>
521	501655	9187803	389	176	22,6	30,8	<b>54</b>	<b>169,6</b>	89,39	26,12	6,09	1,52	<b>3,8</b>	425	<b>0,55</b>

**DADOS ORIGINAIS E IMPUTADOS – JANEIRO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
522	507468	9181131	701	200	7,58	45,5	120	179	337,66	10,11	16,5	28,6	5,5	891,3	1,19
523	497235	9160857	417	268	12,8	34,1	33	24,2	175,81	1,31	17,6	90,21	4,7	620	0,87
524	485715	9185156	324	220	23,2	17,6	26,6	274,6	69,38	15,9	4,52	30,22	7,18	391	0,43
525	481172	9187001	414	260	25,2	16,1	40	525	23,61	36,62	2,87	4,67	7,22	347,4	0,63
532	464649	9201412	1080	340	52	51	54	242,3	289,8	5	8	3,3	7,98	1915	0,63
533	464057	9202085	143	75	6	17,9	3	32,3	80	2,8	0,7	1	6	242	0,63
534	463055	9202016	75	45	4	15,2	10,6	16,2	10	5,1	0,17	13,6	4,3	190	0,67
535	465317	9203022	89	60	8,4	14,7	3	24,2	10	5,9	0,52	24,1	4,8	241	0,87
536	499833	9161756	177	68	7,9	1,9	44	161,5	50	5,2	3,1	1,2	7,82	318	0,51
537	481442	9198256	202	110	16	17	9	116	22,7	12,3	0,51	2,58	6,83	352	0,63
538	464873	9193813	85	16	3,6	1,7	12,1	56,5	17,7	11,7	0,73	1,2	5,1	145	1,1
539	459804	9201923	110	50	4,4	7,5	63,3	116	6	4,6	0,28	1,2	5,95	146	0,51
540	458046	9201341	186	250	16,7	17,2	54	16,2	8	23	0,3	1,5	5,1	323	0,51
541	456443	9201391	97	45	6	8,9	3	24,2	10	9	0,25	1,3	6,3	165	0,67
542	499752	9179024	324	134	32,1	19,7	9	234,2	62,6	27,5	1,3	1,688	4,3	577	0,43
543	499145	9172596	988	280	58,2	63,8	105	420	111,1	24,2	2,1	1,701	7,18	1317	1,35
544	458966	9201995	143	12	8,3	8,9	21	56	19,8	6,2	0,79	3,4	6,83	246	0,51
545	465052	9204934	226	120	29,1	13,5	21	112	22,5	31,6	0,5	1,2	6	402	0,51
546	466662	9199119	58	10	4,4	3,9	21	32,3	17	4,6	0,4	1,3	5,2	103	0,63
547	486026	9166980	328	260	72,8	18,72	21	56	51	95,82	10,2	1,7	7,46	631	0,67



**DADOS ORIGINAIS E IMPUTADOS – JANEIRO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
560	457665	9199677	98	80	6,41	24,8	12,1	16,2	47,48	3,59	16	0	4,3	131,75	0,67
562	455603	9200975	957	236	32	0,93	54	274,6	204,3	0,7	4,46	55,2	7,1	1300	0,51
563	454096	9199711	710	236	59,32	38,9	105	0	101	8,8	8,3	11,6	5,9	1103	0,55
564	465101	9201562	260	100	8	8,5	78,5	169,6	43	1,8	8	1	7	610	0,59
565	470482	9196462	76	100	4	17	15,3	16,2	11,7	0,1	8,65	1,5	7,1	201	0,59
566	474406	9191082	221	100	4,4	10,9	31,5	40,4	45,7	30,4	5,68	3,3	7,1	352	1,15
567	470977	9195059	93	75	0	1,08	23,3	170	9,95	7,53	0,17	5,24	4,3	318	1,32
568	455687	9187126	524	268	6	6,8	40	274,6	89,39	10	8,3	34,8	7,1	674	0,51
569	465705	9194468	79	140	0,229	30,8	3	16,2	33,99	95,82	12,88	11,6	4,3	318	1,19
AB1	495145	9186612	347,1	140	18	23,1	40	169,6	69,7	8,8	6,2	10,7	7	513	1,1
BB2	465175	9193548	60,5	10	0	2,4	9	16,2	21,6	0,1	10,3	0	4,6	111	0,51
BB8	466123	9191997	369,6	210	36	29,2	13,7	161,5	40,9	67	6,2	14	5,9	528	0,63
BB11	468988	9192836	224,3	85	14	12,2	23,3	137,3	14,4	14,1	6,2	2,3	6,1	290	0,55
BS1	503763	9172385	608,2	370	32	70,5	63,3	24,2	281,2	106,8	16	13,5	5,5	1300	0,63
CT1	456231	9201837	118,2	55	8	8,5	10,6	56,5	14,4	11,9	6,2	1,4	5,9	150	0,39
CT2	461212	9197545	157,6	75	6	14,6	12,1	64,6	24	13	8,3	14	5,2	241	0,67
CT3	458560	9200515	111,6	50	4	9,7	10,6	64,6	14,4	0,7	6,2	0,5	5,5	145	0,51
CT4	454458	9199989	160,3	50	0	12,2	26,6	0	45,7	3,1	16	55,2	3,8	419	0,59
CT5	459613	9202250	416,1	155	32	18,2	50,6	169,6	50,5	63,7	12,2	18,3	6,6	674	0,59
CT6	456359	9201195	203,9	60	2	13,4	31,5	24,2	52,9	0,7	25,1	51,5	4,8	416	1,29

**DADOS ORIGINAIS E IMPUTADOS – JANEIRO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
CT8	452429	9201565	137,9	70	10	10,9	12,1	40,4	21,6	24,5	8,3	9,3	5,1	244	0,51
CT13	457476	9196033	865,4	480	124	41,3	31,6	525	81,7	52	6,2	2,8	6,7	1103	0,63
CT14	455188	9199608	276,9	185	30	26,7	12,1	80	76,9	2,8	6,2	38,8	5,7	544	1,19
CT17	454168	9200085	104,8	30	0	7,3	13,7	16,2	43,3	0,4	14,1	8,3	4,3	213	0,55
ML1	514056	9187918	288	75	2	17	54,2	105	55,3	21,1	6,2	26,5	6,9	473	0,67
ML2	505922	9186996	120,6	45	2	9,7	10,6	56,5	21,6	0,1	8,3	11,1	5,9	166	0,63
JN1	469922	9206529	509,7	145	36	13,4	67,1	274,6	24	87,9	6,2	0	5,8	610	0,43
JN2	465821	9205713	337,6	215	22	38,9	6	242,3	12	4,5	8,3	0	7,1	303	1,05
JN3	464453	9201152	88,3	15	0	3,7	23,3	8,1	26,4	0,2	6,2	19,2	4	190	1,19
JN9	467287	9202396	103,5	45	4	8,5	9	32,3	21,6	1,5	6,2	18,7	5,2	187	0,55
JN11	464343	9203351	171	100	16	14,6	7,5	48,5	48,1	0,1	8,3	24	5,2	312	1,15
JN15	464366	9197932	156,8	65	12	8,5	9	96,9	12	4,6	6,2	6,9	5,4	201	0,51
JN18	464998	9203678	388,8	250	24	46,2	28,2	32,3	120,2	0,1	21,5	114,5	4,7	954	0,87
JN21	466875	9204032	600,5	280	50	37,7	78,5	40,4	204,3	4	31,7	151,6	5,9	1276	1,35
JN22	465455	9201742	312,9	180	10	37,7	29,9	16,2	101	0,1	19,7	96,1	6,2	707	1,19
JN24	464386	9200875	117,4	20	0	4,9	23,3	8,1	33,7	0,2	16	30,9	3,8	260	0,43
JN25	464652	9201339	258,5	85	8	15,8	56	0	84,1	1,8	12,2	78	3,4	727	1,32
JN29	466816	9201270	311	145	30	17	21,7	145,4	43,3	10	8,3	34,8	6	476	0,63
MV1	477381	9189222	200,6	120	16	19,4	9	88,8	55,3	3,1	4,2	3,2	6,9	313	0,51
MV2	482790	9194422	337,4	160	28	21,9	18,4	234,2	16,8	6,4	4,2	6	5,1	392	0,51

**DADOS ORIGINAIS E IMPUTADOS – JANEIRO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
MV3	483565	9202774	142,5	65	10	9,7	9	80,8	14,4	0	6,2	11,6	6,8	198	0,67
MV4	476020	9186739	249,3	130	32	12,2	13,7	137,3	21,6	27	4,2	0	6,3	319	0,55
MV7	484086	9198222	392,9	175	30	24,3	26,6	250,4	24	16,5	6,2	13,5	7,1	453	0,51
MV13	482019	9198234	304,2	145	24	20,7	15,3	218,1	9,6	8,9	6,2	0	7,2	335	0,59
PT1	493809	9166424	194,3	100	12	17	10,6	96,9	28,8	7,7	6,2	14	6,3	274	0,55

Os valores imputados estão em **negrito**.

Fonte: CPRM, 2018; COGERH, 2011; Elaborado pelo Autor.

**APÊNDICE D – DADOS ORIGINAIS E IMPUTADOS – JULHO**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
3	486810	9167417	224	196	52	15,8	31	67	43	3	9	1	7,22	430	<b>0,18</b>
91	464356	9199134	79	<b>12</b>	9,98	5,59	<b>23,7</b>	<b>12,9</b>	9,95	1,45	15,6	3,13	5,95	131,75	<b>0,22</b>
93	466840	9201563	189	<b>160</b>	30,8	14,69	<b>21</b>	<b>179</b>	24,88	8,23	12,2	4,97	7,77	331	<b>0,22</b>
101	464314	9199625	96	<b>68</b>	14,59	9,79	<b>3</b>	<b>25,8</b>	12,92	4,99	16,7	<b>0,66</b>	<b>6,23</b>	165,4	<b>0,22</b>
374	471562	9190895	141	36	0,117	1,08	<b>32</b>	0	83,55	5,39	13,9	5,24	<b>7,34</b>	174	<b>0,47</b>
375	483932	9165758	643	151	48	37,7	54	<b>116</b>	178,4	41,7	2,7	5,9	<b>6,1</b>	858	<b>0,39</b>
376	504119	9176086	451	165	34	19,4	<b>27,8</b>	<b>258,4</b>	79,3	2,9	2,47	<b>0,114</b>	<b>6,23</b>	601	<b>0,83</b>
377	470264	9195892	110	<b>2</b>	4,4	5,3	<b>21,7</b>	<b>56</b>	19,9	5,2	0,5	<b>0,114</b>	<b>5,9</b>	147	<b>0,22</b>
378	502972	9175754	409	160	26	23,1	<b>9,7</b>	<b>268,1</b>	66,9	7,2	1,54	<b>0,114</b>	<b>6,2</b>	547	<b>0,83</b>
379	464704	9210892	84	<b>52</b>	8,69	5,21	<b>32</b>	<b>42</b>	21,89	4,46	20,97	2,01	<b>7,13</b>	159,3	<b>0,22</b>
380	514376	9180703	193	<b>92</b>	5,9	4,6	<b>57,8</b>	<b>58,2</b>	31,67	44	<b>4,2</b>	<b>0,7</b>	<b>6,96</b>	389	<b>1,51</b>
381	486543	9161102	371	180	42	18,2	<b>21,7</b>	<b>245,5</b>	44,6	4,9	2,53	<b>0,4</b>	<b>7,15</b>	655	<b>0,39</b>
382	477042	9203639	522	234	36,4	34,7	<b>21,7</b>	<b>281,1</b>	65,2	7	2,1	<b>0,114</b>	<b>7,56</b>	921	<b>0,94</b>
383	493660	9169930	125	<b>16</b>	19	13,9	<b>9,7</b>	0	11,7	16	8	<b>0,4</b>	<b>6,5</b>	250	<b>0,79</b>
385	488885	9164833	139	134	37,68	9,7	<b>15,6</b>	0	68,8	18	6,37	<b>0,2</b>	<b>6,85</b>	278,2	<b>0,22</b>
386	486090	9164530	75	71	18,7	5,9	<b>9,7</b>	<b>42</b>	8,9	10	2,5	<b>0,1</b>	<b>6,5</b>	150	<b>0,22</b>
387	492034	9202147	60	2	4,81	1,94	<b>3</b>	<b>268,1</b>	31,99	1	71,337	<b>0,5</b>	<b>6,61</b>	122	<b>0,22</b>
388	460127	9190069	86	50	8,02	7,29	<b>40,4</b>	0	41,99	42,46	5,86	<b>0,1</b>	<b>6,69</b>	168,6	<b>0,22</b>
389	475792	9206096	91	20	8,02	<b>7,2</b>	<b>54</b>	<b>25,8</b>	33,99	68	26	<b>1,5</b>	<b>6,98</b>	185,5	<b>0,22</b>
390	471652	9205809	362	206	40,08	25,74	<b>120</b>	<b>12,9</b>	78,97	158,07	5	<b>1,5</b>	<b>8,05</b>	716,2	<b>0,22</b>

**DADOS ORIGINAIS E IMPUTADOS – JULHO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
392	462680	9212735	95	80	27,25	2,9	17	42	16,99	30,4	9,6	0,1	7,71	189	0,22
395	492994	9186865	220	92	29,2	24,8	11,7	0	11,7	36	4,2	0	7,02	440	0,83
397	461213	9202762	124	84	18,1	13,8	29,9	0	20,1	1	16,1	4,7	6,72	210	0,22
398	509869	9171317	109	50	12,02	4,85	21,7	77,5	21,99	4	5,68	0,1	7,07	217,8	0,31
399	470603	9193272	169	68	25,3	23,53	73,6	12,9	17,81	36	17,6	0,8	7,4	332,2	0,79
418	505362	9191391	340	140	9,6	1,92	105	170	70	34,4	3,5	0,44	7,98	750	0,26
419	506754	9191483	330	132	7,2	3,84	105	179	32	49,6	7	1,4	7,82	750	0,94
424	465140	9193504	74	34	6	4,56	33	12,9	17	7,63	4,6	2,58	7,74	142	0,22
426	459760	9208115	93	60	12	7,2	31	58,2	12	1	13,3	3,05	6,97	179	0,22
448	472725	9209801	49	10	1,29	1,4	21	12,9	45,6	3,59	0,9	1,3	6,3	324,2	0,79
450	468447	9207048	55	14	2,45	1,93	21	0	34,74	4,79	1,1	1	5,6	452,2	0,94
456	490063	9163192	217	236	59,32	21,35	21,7	56	85,53	4,99	12,88	1,3	6,71	431,2	0,47
457	479479	9206207	90	44	6,41	6,8	21	0	45,99	4,99	20,97	0,4	7,39	180	0,22
459	475069	9206779	70	160	30,6	7,1	3	29,1	38,2	14	8,3	0,1	7,2	160	0,22
460	475270	9205172	131	34	12,6	7,6	9,7	12,9	27,13	4,46	15,1	4,3	5,47	180	0,22
461	474667	9208552	247	180	47,9	0,93	3	245,5	40,2	49,6	27,6	4,6	7,55	370	0,47
515	480689	9196482	285	184	27,1	32,2	3	116	58,55	7,53	8,65	0,11	7,95	343	0,22
519	494292	9194217	200	68	6,997	8,966	15,6	77,5	57,71	0,7	7,996	10,26	5,48	212,3	0,22
520	466540	9197726	73	12	0,229	1,17	3	56	8,51	0,22	4,46	0,26	5,26	45,52	0,47
521	501655	9187803	389	176	22,6	30,8	15,6	170	89,39	26,12	6,09	1,52	7,94	425	0,47

**DADOS ORIGINAIS E IMPUTADOS – JULHO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
522	507468	9181131	701	200	7,58	45,5	120	<b>171,2</b>	337,66	10,11	16,5	28,6	<b>6,2</b>	891,3	<b>0,22</b>
523	497235	9160857	417	268	12,8	<b>34,1</b>	33	0	175,81	1,31	17,6	90,21	<b>7,98</b>	620	<b>0,22</b>
524	485715	9185156	324	220	23,2	17,6	<b>13,6</b>	<b>245,5</b>	69,38	15,9	4,52	30,22	<b>6,53</b>	391	<b>0,22</b>
525	481172	9187001	414	260	25,2	16,1	<b>9,7</b>	<b>281,1</b>	23,61	36,62	2,87	4,67	<b>8,17</b>	347,4	<b>0,47</b>
532	464649	9201412	1080	340	52	51	<b>54</b>	<b>281,1</b>	289,8	5	8	3,3	<b>7,12</b>	1915	<b>0,94</b>
533	464057	9202085	143	<b>50</b>	6	17,9	<b>7,7</b>	0	80	2,8	0,7	1	<b>6,15</b>	242	<b>0,47</b>
534	463055	9202016	75	<b>52</b>	4	15,2	<b>21,7</b>	0	10	5,1	0,17	13,6	<b>6,14</b>	190	<b>0,39</b>
535	465317	9203022	89	<b>36</b>	8,4	14,7	<b>21,7</b>	0	10	5,9	0,52	24,1	<b>5,78</b>	241	<b>0,75</b>
536	499833	9161756	177	<b>50</b>	7,9	1,9	44	<b>100,2</b>	50	5,2	3,1	1,2	<b>6,74</b>	318	<b>0,22</b>
537	481442	9198256	202	110	16	17	<b>9,7</b>	116	22,7	12,3	0,51	<b>0,114</b>	6,83	352	<b>0,83</b>
538	464873	9193813	85	16	3,6	1,7	<b>21,7</b>	<b>35,5</b>	17,7	11,7	0,73	<b>0,9</b>	<b>6,04</b>	145	<b>0,22</b>
539	459804	9201923	110	<b>50</b>	4,4	7,5	<b>9,7</b>	<b>80,8</b>	6	4,6	0,28	<b>0,8</b>	<b>6,87</b>	146	<b>0,67</b>
540	458046	9201341	186	<b>56</b>	16,7	17,2	<b>29,9</b>	<b>25,8</b>	8	23	0,3	1,5	<b>6,93</b>	323	<b>0,39</b>
541	456443	9201391	97	<b>50</b>	6	8,9	<b>3</b>	<b>42</b>	10	9	0,25	<b>0,3</b>	<b>6,59</b>	165	<b>0,35</b>
542	499752	9179024	324	<b>165</b>	32,1	19,7	<b>21,7</b>	<b>93,7</b>	62,6	27,5	1,3	1,688	<b>7,04</b>	577	<b>0,83</b>
543	499145	9172596	988	<b>288</b>	58,2	63,8	<b>57,8</b>	420	111,1	24,2	2,1	1,701	7,18	1317	<b>0,26</b>
544	458966	9201995	143	<b>50</b>	8,3	8,9	21	<b>67</b>	19,8	6,2	0,79	3,4	<b>7,15</b>	246	<b>0,31</b>
545	465052	9204934	226	<b>84</b>	29,1	13,5	<b>57,8</b>	112	22,5	31,6	0,5	<b>0,114</b>	6	402	<b>0,26</b>
546	466662	9199119	58	<b>36</b>	<b>4,8</b>	3,9	<b>21,7</b>	<b>32,3</b>	17	4,6	0,4	<b>0,173</b>	<b>5,56</b>	103	<b>0,22</b>
547	486026	9166980	328	260	72,8	18,72	<b>73,6</b>	56	51	95,82	10,2	1,7	7,46	631	<b>0,39</b>

**DADOS ORIGINAIS E IMPUTADOS – JULHO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
560	457665	9199677	98	80	16,7	5,9	11,7	0	47,48	7,53	6,9	1,7	6,49	324,2	0,47
562	455603	9200975	957	288	12,8	14,7	7,7	268,1	126,9	7,63	6,09	1,4	6,2	1317	0,47
563	454096	9199711	710	151	47,9	45,5	42,5	268,1	103,8	6,2	13,3	1,3	5,78	827	0,26
564	465101	9201562	260	160	33,6	34,7	10,7	179	42,3	25,5	25,3	0,1	6,49	431,2	0,43
565	470482	9196462	76	36	34	1,08	9,7	0	17,81	1,45	9,1	0,3	6,1	318	0,22
566	474406	9191082	221	176	23,2	32,2	9,7	258,4	8,9	3,3	5	0	6,1	402	0,94
567	470977	9195059	93	16	4,8	42,8	21,7	12,9	57,71	0,1	17,5	0	6,85	286	0,18
568	455687	9187126	524	200	52,8	14,7	44	310,1	48,1	7,2	17,5	0,173	5,87	583	0,94
569	465705	9194468	79	92	12,02	15,2	105	0	43	16,2	12,2	1,3	6,61	180	0,47
AB1	495145	9186612	624,6	236	41,6	32,1	75,9	310,1	126,9	29,8	6,4	0,9	7,71	931	0,94
BB2	465175	9193548	71	12	1,6	1,9	11,7	29,1	15,4	1,8	9,1	0	5,7	90	0,47
BB8	466123	9191997	370,6	260	33,6	42,8	13,6	174,5	36,5	61,9	6,9	0	6,73	471	0,79
BB11	468988	9192836	248,7	92	16	12,6	21,7	161,5	13,5	16,2	6,8	0	6,81	253	0,35
BS1	503763	9172385	648,8	392	38,4	71,9	66,7	35,5	286,5	128,1	17,5	3,7	5,83	1226	0,35
CT1	456231	9201837	161,8	68	11,2	9,7	9,7	93,7	21,2	9,8	6,4	0	6,6	174	0,22
CT2	461212	9197545	163,5	92	12,8	14,6	9,7	80,8	21,2	14	9,1	1,4	5,93	217	0,18
CT3	458560	9200515	144,9	52	4,8	9,7	13,6	100,2	9,6	2,1	4,6	0	7,13	138	0,22
CT4	454458	9199989	141,6	32	0	7,8	27,8	0	44,2	1,8	17,5	42,4	4,17	374	0,22
CT5	459613	9202250	462,7	172	35,2	20,4	57,8	200,3	48,1	80,9	13,3	6,5	7,19	587	0,26
CT6	456359	9201195	209,6	64	3,2	13,6	29,9	42	59,6	1,9	29	29,9	5,62	371	0,35

**DADOS ORIGINAIS E IMPUTADOS – JULHO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
CT8	452429	9201565	150,4	68	12,8	8,8	13,6	58,2	25	22,8	9,1	0	5,94	225	0,22
CT13	457476	9196033	838,9	420	131,2	22,4	40,4	536,3	82,7	18,9	6,9	0	7,24	992	0,22
CT14	455188	9199608	246	180	27,2	27,2	9,7	77,5	73,1	3,3	6,4	20,7	6,71	469	0,75
CT17	454168	9200085	111,1	36	1,6	7,8	11,7	25,8	42,3	0	17,5	4,1	4,88	177	0,22
ML1	514056	9187918	323,2	66	3,2	14,1	57,8	171,2	44,2	25,5	6,9	0	7,54	444	0,39
ML2	505922	9186996	118,3	44	4	8,3	11,7	67,8	21,2	0	5,1	0	6,34	157	0,31
JN1	469922	9206529	535,7	152	35,2	15,6	73,6	281,1	28,8	94,8	6,4	0	7,9	583	0,22
JN2	465821	9205713	363,7	180	30,4	25,3	15,6	245,5	25	12,5	9,1	0	7,83	387	0,35
JN3	464453	9201152	96,6	16	1,6	2,9	23,7	12,9	32,7	0,5	9,1	13	5,06	176	0,22
JN9	467287	9202396	137,7	64	12,8	7,8	11,7	64,6	21,2	1,2	9,1	9,3	6,3	181	0,22
JN11	464343	9203351	146,6	84	14,4	11,7	7,7	48,5	44,2	0,3	8,2	11,1	5,87	286	0,31
JN15	464366	9197932	162,7	80	14,4	10,7	10,7	103,4	11,5	5,1	6,4	0	6,5	179	0,43
JN18	464998	9203678	356,2	200	27,2	32,1	32	42	121,1	3,1	25,3	73,1	5,45	827	0,26
JN21	466875	9204032	538,8	288	49,6	39,9	78,2	54,9	217,3	5,3	29	63,5	6,2	1233	1,15
JN22	465455	9201742	301,2	160	11,2	32,1	29,9	32,3	103,8	0,1	29	61,9	5,11	700	0,83
JN24	464386	9200875	106,9	12	1,6	1,9	21,7	0	40,4	0	17,5	23,6	4,73	277	0,22
JN25	464652	9201339	221,2	76	4,8	15,6	42,5	0	84,6	0,9	17,5	54,6	4,01	551	0,67
JN29	466816	9201270	317,9	188	52,8	13,6	21,7	161,5	38,5	11,1	9,1	9,3	6,74	418	0,39
MV1	477381	9189222	217,9	140	28	17	9,7	96,9	57,7	3,1	5,1	0	6,28	297	0,31
MV2	482790	9194422	364,1	164	33,6	19,4	21,7	258,4	17,3	6,7	6,9	0	7,12	375	0,31



**DADOS ORIGINAIS E IMPUTADOS – JULHO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
MV3	483565	9202774	128,1	56	9,6	7,8	9,7	77,5	13,5	0,1	6,4	3,2	6,85	176	0,35
MV4	476020	9186739	264	132	35,2	10,7	13,6	155,1	19,2	25,3	4,6	0	6,49	309	0,26
MV7	484086	9198222	395,4	172	33,6	21,4	29,9	268,1	21,2	16,3	4,6	0	7,32	438	0,39
MV13	482019	9198234	325,1	132	27,2	15,6	15,6	245,5	3,9	9	6,9	0	7,84	330	1,51
PT1	493809	9166424	184,4	108	17,6	15,6	11,7	93,7	28,8	8	6,9	1,8	7,01	273	0,31

Os valores imputados estão em **negrito**.

Fonte: CPRM, 2018; COGERH, 2011; Elaborado pelo Autor.

**APÊNDICE E – DADOS COM TENDÊNCIA 1ª ORDEM (LINEAR) SEM RESÍDUOS – JANEIRO**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
3	486810	9167417	333,921	168,850	30,643	21,942	32,054	122,157	77,455	23,298	4,740	12,314	6,309	510,430	0,716
91	464356	9199134	231,669	112,267	18,162	14,737	25,498	83,479	44,351	14,849	8,948	16,458	5,689	392,351	0,725
93	466840	9201563	226,851	106,090	16,476	14,304	26,953	85,489	43,278	14,843	9,743	16,444	5,711	388,630	0,733
101	464314	9199625	230,305	111,257	17,916	14,634	25,538	83,242	43,944	14,765	9,047	16,498	5,685	390,910	0,725
374	471562	9190895	259,215	126,363	21,166	16,647	27,840	95,151	53,428	17,253	8,009	15,273	5,873	424,762	0,725
375	483932	9165758	336,365	173,587	32,000	22,204	30,510	119,387	77,777	23,121	4,065	12,417	6,275	511,476	0,708
376	504119	9176086	322,777	143,102	23,160	20,637	41,179	139,317	76,566	24,566	8,526	11,595	6,523	507,838	0,762
377	470264	9195892	244,710	116,466	18,810	15,576	27,850	91,706	48,992	16,264	8,924	15,750	5,812	408,994	0,731
378	502972	9175754	322,857	144,300	23,531	20,673	40,604	138,087	76,432	24,444	8,326	11,661	6,507	507,324	0,759
379	464704	9210892	199,978	87,487	12,029	12,311	27,105	79,398	35,096	13,040	11,482	17,310	5,601	359,556	0,744
380	514376	9180703	317,587	128,933	18,994	19,972	46,523	149,684	76,454	25,400	10,658	11,130	6,654	507,772	0,788
381	486543	9161102	350,884	182,194	33,951	23,242	31,154	124,255	82,398	24,257	3,370	11,863	6,355	527,942	0,705
382	477042	9203639	228,524	97,267	13,632	14,163	31,958	96,762	45,173	16,071	11,330	15,794	5,861	395,677	0,755
383	493660	9169930	332,004	160,582	28,156	21,616	35,553	129,299	77,835	23,945	6,044	11,961	6,401	511,998	0,733
385	488885	9164833	342,427	173,352	31,617	22,536	32,703	125,599	80,238	24,024	4,425	11,957	6,364	520,361	0,716
386	486090	9164530	341,247	175,213	32,259	22,520	31,364	122,409	79,507	23,645	4,047	12,155	6,321	517,679	0,710
387	492034	9202147	243,322	93,817	11,799	14,897	38,756	115,064	51,580	18,595	12,698	14,498	6,118	418,873	0,781
388	460127	9190069	253,263	133,108	23,578	16,494	22,414	81,942	50,107	15,639	6,549	16,115	5,693	412,621	0,703
389	475792	9206096	220,953	92,670	12,580	13,619	31,678	94,345	42,779	15,491	11,711	16,076	5,821	387,149	0,757
390	471652	9205809	218,766	95,086	13,448	13,561	29,715	89,558	41,567	14,905	11,185	16,381	5,755	382,719	0,749

**DADOS COM TENDÊNCIA 1ª ORDEM (LINEAR) SEM RESÍDUOS – JANEIRO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
392	462680	9212735	193,521	84,515	11,429	11,872	26,389	76,300	32,922	12,439	11,646	17,608	5,554	351,784	0,743
395	492994	9186865	285,523	125,404	19,525	18,089	37,324	122,040	64,100	21,162	9,563	13,280	6,255	463,286	0,758
397	461213	9202762	219,561	106,047	16,834	13,896	24,480	78,376	40,364	13,795	9,365	16,978	5,609	378,117	0,725
398	509869	9171317	339,853	150,568	24,624	21,788	43,270	147,940	82,370	26,199	8,160	10,784	6,655	528,598	0,765
399	470603	9193272	252,070	121,805	20,104	16,128	27,686	93,108	51,199	16,730	8,406	15,527	5,838	416,829	0,727
418	505362	9191391	282,092	110,500	15,040	17,502	43,639	134,938	64,795	22,332	11,913	12,641	6,421	466,150	0,788
419	506754	9191483	282,840	109,697	14,751	17,523	44,299	136,550	65,206	22,530	12,089	12,538	6,443	467,652	0,791
424	465140	9193504	247,525	123,715	20,933	15,925	25,171	86,558	49,113	15,860	7,841	15,976	5,747	409,257	0,717
426	459760	9208115	203,978	95,472	14,322	12,746	24,462	74,612	35,590	12,725	10,337	17,493	5,543	361,146	0,731
448	472725	9209801	208,691	86,255	11,200	12,765	30,706	89,302	38,757	14,437	12,152	16,595	5,741	372,794	0,757
450	468447	9207048	213,103	93,897	13,364	13,214	28,375	85,294	39,464	14,220	11,087	16,727	5,693	375,160	0,745
456	490063	9163192	347,729	176,273	32,260	22,909	33,049	127,619	81,956	24,463	4,209	11,741	6,396	526,491	0,715
457	479479	9206207	223,294	90,820	11,883	13,700	33,409	98,663	43,973	16,036	12,149	15,793	5,880	391,503	0,764
459	475069	9206779	218,580	91,556	12,353	13,457	31,426	93,229	41,983	15,273	11,774	16,184	5,804	384,303	0,757
460	475270	9205172	223,089	94,834	13,148	13,795	31,322	94,081	43,334	15,558	11,456	16,048	5,820	389,100	0,755
461	474667	9208552	213,475	88,019	11,507	13,078	31,456	92,076	40,429	14,931	12,106	16,348	5,783	378,783	0,759
515	480689	9196482	250,579	110,658	16,695	15,749	32,777	103,811	52,149	17,761	10,221	14,970	5,977	420,524	0,751
519	494292	9194217	266,482	109,436	15,503	16,603	38,832	120,765	58,689	20,196	11,269	13,727	6,218	444,147	0,772
520	466540	9197726	237,059	114,258	18,510	15,090	26,342	86,601	46,233	15,405	8,895	16,181	5,736	399,096	0,727
521	501655	9187803	289,182	119,641	17,537	18,141	41,472	131,925	66,366	22,335	10,735	12,666	6,389	471,599	0,776

**DADOS COM TENDÊNCIA 1ª ORDEM (LINEAR) SEM RESÍDUOS – JANEIRO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
522	507468	9181131	311,473	131,066	19,973	19,687	43,359	141,350	73,709	24,278	9,973	11,708	6,537	497,817	0,776
523	497235	9160857	359,212	178,018	32,221	23,596	36,102	136,994	86,314	25,927	4,520	11,000	6,532	542,170	0,725
524	485715	9185156	284,948	132,176	21,672	18,237	33,725	114,083	62,929	20,322	8,382	13,727	6,150	458,902	0,742
525	481172	9187001	276,680	130,304	21,508	17,726	31,836	108,005	59,877	19,336	8,263	14,223	6,061	447,935	0,737
532	464649	9201412	225,691	107,367	16,935	14,273	25,914	82,955	42,636	14,533	9,464	16,606	5,676	386,283	0,729
533	464057	9202085	223,438	106,217	16,690	14,117	25,721	81,998	41,893	14,336	9,541	16,703	5,661	383,631	0,729
534	463055	9202016	222,908	106,801	16,899	14,103	25,246	80,839	41,600	14,194	9,413	16,777	5,645	382,557	0,727
535	465317	9203022	221,796	103,702	15,987	13,959	26,423	83,130	41,585	14,380	9,881	16,673	5,674	382,577	0,733
536	499833	9161756	358,632	174,995	31,305	23,484	37,422	139,724	86,501	26,182	5,003	10,862	6,567	542,918	0,731
537	481442	9198256	246,300	106,612	15,648	15,403	33,345	104,024	50,997	17,595	10,682	15,044	5,976	416,463	0,755
538	464873	9193813	246,494	123,185	20,820	15,853	25,084	86,124	48,773	15,770	7,877	16,020	5,740	408,046	0,717
539	459804	9201923	220,830	108,422	17,512	14,030	23,721	77,030	40,543	13,712	9,028	17,026	5,593	378,705	0,721
540	458046	9201341	221,151	110,412	18,118	14,101	22,831	75,173	40,395	13,536	8,707	17,122	5,569	378,124	0,717
541	456443	9201391	219,867	111,010	18,370	14,045	22,091	73,258	39,797	13,284	8,537	17,252	5,542	375,954	0,714
542	499752	9179024	311,666	138,863	22,401	19,905	39,507	133,029	72,704	23,435	8,658	12,160	6,428	494,005	0,758
543	499145	9172596	328,693	152,593	25,826	21,219	38,434	134,767	77,618	24,360	7,226	11,727	6,469	511,406	0,747
544	458966	9201995	220,034	108,639	17,620	13,991	23,340	76,011	40,193	13,573	8,949	17,098	5,579	377,440	0,719
545	465052	9204934	216,412	99,814	15,046	13,555	26,535	82,086	39,968	14,036	10,257	16,837	5,655	376,837	0,735
546	466662	9199119	233,363	111,287	17,769	14,805	26,570	86,213	45,165	15,203	9,204	16,275	5,727	395,313	0,729
547	486026	9166980	334,546	170,109	31,005	22,010	31,635	121,397	77,531	23,247	4,560	12,343	6,300	510,673	0,714

**DADOS COM TENDÊNCIA 1ª ORDEM (LINEAR) SEM RESÍDUOS – JANEIRO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
560	457665	9199677	225,398	114,064	19,043	14,435	22,449	75,358	41,589	13,742	8,311	17,027	5,576	382,345	0,713
562	455603	9200975	220,395	112,250	18,731	14,107	21,648	72,423	39,837	13,222	8,355	17,287	5,532	376,066	0,711
563	454096	9199711	222,748	115,558	19,646	14,326	20,791	71,124	40,320	13,192	7,917	17,312	5,517	377,731	0,707
564	465101	9201562	225,607	106,855	16,779	14,255	26,143	83,433	42,674	14,578	9,547	16,581	5,682	386,431	0,730
565	470482	9196462	243,318	115,177	18,478	15,464	28,022	91,746	48,613	16,207	9,069	15,775	5,811	407,659	0,732
566	474406	9191082	260,745	124,724	20,575	16,689	29,187	98,443	54,268	17,657	8,369	15,063	5,918	427,834	0,731
567	470977	9195059	247,484	117,898	19,117	15,768	28,080	92,868	49,904	16,504	8,827	15,631	5,830	412,251	0,731
568	455687	9187126	258,075	141,220	25,869	16,978	19,985	77,815	50,909	15,427	5,425	16,245	5,644	415,319	0,690
569	465705	9194468	245,311	121,448	20,337	15,741	25,552	86,858	48,541	15,793	8,109	16,003	5,749	407,248	0,720
AB1	495145	9186612	287,752	124,991	19,282	18,203	38,295	124,680	65,050	21,530	9,751	13,091	6,292	466,724	0,762
BB2	465175	9193548	247,430	123,608	20,905	15,917	25,192	86,583	49,090	15,858	7,854	15,976	5,747	409,177	0,717
BB8	466123	9191997	252,323	126,440	21,541	16,265	25,443	88,297	50,656	16,249	7,632	15,785	5,775	414,762	0,717
BB11	468988	9192836	252,097	123,427	20,610	16,172	26,880	91,365	50,984	16,553	8,132	15,622	5,815	416,017	0,723
BS1	503763	9172385	332,576	151,009	25,133	21,394	40,559	140,310	79,393	25,098	7,700	11,346	6,547	517,849	0,755
CT1	456231	9201837	218,503	110,169	18,177	13,947	22,047	72,837	39,368	13,181	8,608	17,302	5,535	374,424	0,714
CT2	461212	9197545	233,732	116,974	19,528	14,977	23,838	80,368	44,523	14,621	8,257	16,588	5,651	392,862	0,716
CT3	458560	9200515	223,764	111,917	18,455	14,286	22,969	76,096	41,232	13,746	8,590	17,019	5,584	381,110	0,716
CT4	454458	9199989	222,252	114,817	19,439	14,279	20,994	71,446	40,224	13,203	8,017	17,304	5,521	377,404	0,708
CT5	459613	9202250	219,805	107,821	17,376	13,957	23,672	76,679	40,215	13,632	9,076	17,066	5,587	377,539	0,721
CT6	456359	9201195	220,339	111,458	18,486	14,083	22,027	73,233	39,924	13,302	8,486	17,244	5,542	376,401	0,713

**DADOS COM TENDÊNCIA 1ª ORDEM (LINEAR) SEM RESÍDUOS – JANEIRO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
CT8	452429	9201565	216,517	112,406	18,978	13,895	20,243	68,444	38,262	12,644	8,123	17,582	5,475	370,380	0,707
CT13	457476	9196033	235,162	121,780	20,958	15,184	21,913	76,527	44,429	14,290	7,516	16,770	5,602	392,407	0,707
CT14	455188	9199608	223,811	115,295	19,509	14,379	21,287	72,455	40,782	13,375	8,018	17,218	5,536	379,405	0,709
CT17	454168	9200085	221,784	114,743	19,440	14,251	20,871	71,066	40,047	13,143	8,005	17,334	5,515	376,765	0,707
ML1	514056	9187918	297,758	113,961	15,324	18,468	47,261	146,548	70,589	24,209	12,154	11,695	6,591	486,973	0,799
ML2	505922	9186996	294,433	119,460	17,212	18,429	43,360	137,280	68,494	23,114	11,044	12,268	6,465	479,282	0,782
JN1	469922	9206529	215,570	94,337	13,376	13,363	28,998	87,237	40,391	14,527	11,143	16,572	5,721	378,494	0,747
JN2	465821	9205713	214,847	97,845	14,510	13,416	26,988	82,698	39,614	14,030	10,509	16,835	5,661	375,609	0,738
JN3	464453	9201152	226,257	107,998	17,103	14,322	25,791	82,823	42,775	14,544	9,387	16,602	5,675	386,769	0,728
JN9	467287	9202396	224,909	104,149	15,968	14,144	27,263	85,700	42,769	14,779	9,970	16,471	5,711	386,841	0,735
JN11	464343	9203351	220,204	103,440	15,986	13,863	26,010	81,853	40,983	14,179	9,841	16,775	5,656	380,414	0,731
JN15	464366	9197932	234,941	114,780	18,781	14,986	25,355	83,951	45,312	15,041	8,694	16,368	5,699	395,761	0,723
JN18	464998	9203678	219,786	102,468	15,704	13,814	26,355	82,502	40,951	14,227	9,984	16,748	5,664	380,319	0,733
JN21	466875	9204032	220,169	100,903	15,195	13,794	27,273	84,587	41,322	14,457	10,270	16,626	5,692	381,695	0,737
JN22	465455	9201742	225,372	106,323	16,624	14,228	26,330	83,783	42,653	14,603	9,625	16,567	5,687	386,370	0,731
JN24	464386	9200875	226,961	108,607	17,258	14,377	25,726	82,850	42,973	14,578	9,321	16,586	5,676	387,468	0,728
JN25	464652	9201339	225,891	107,519	16,972	14,288	25,907	82,987	42,695	14,545	9,449	16,600	5,677	386,493	0,729
JN29	466816	9201270	227,630	106,714	16,632	14,364	26,906	85,573	43,503	14,886	9,678	16,424	5,713	389,427	0,733
MV1	477381	9189222	267,930	127,315	21,019	17,159	30,344	102,673	56,787	18,406	8,308	14,689	5,981	436,858	0,733
MV2	482790	9194422	257,681	114,051	17,394	16,235	33,502	107,083	54,523	18,408	10,020	14,650	6,028	429,007	0,751

**DADOS COM TENDÊNCIA 1ª ORDEM (LINEAR) SEM RESÍDUOS – JANEIRO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
MV3	483565	9202774	235,549	96,218	12,946	14,527	34,889	104,808	48,133	17,204	11,879	15,214	5,974	406,380	0,766
MV4	476020	9186739	273,700	133,113	22,538	17,634	29,405	102,012	58,293	18,591	7,628	14,611	5,979	442,153	0,727
MV7	484086	9198222	248,287	105,524	15,207	15,485	34,572	107,164	51,944	18,004	10,972	14,832	6,019	419,906	0,760
MV13	482019	9198234	246,773	106,405	15,559	15,424	33,611	104,714	51,215	17,687	10,742	14,996	5,985	417,256	0,756
PTI	493809	9166424	341,634	167,860	29,940	22,346	35,191	130,815	80,683	24,523	5,316	11,687	6,432	522,097	0,727

Os valores imputados estão em **negrito**.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

**APÊNDICE F – DADOS COM TENDÊNCIA 1ª ORDEM (LINEAR) SEM RESÍDUOS – JULHO**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
3	486810	9167417	338,695	168,077	33,929	22,649	30,506	113,632	75,984	18,294	5,200	7,452	6,644	501,790	0,406
91	464356	9199134	232,980	106,174	20,903	14,845	24,648	92,471	43,174	14,180	10,084	7,652	6,427	372,867	0,397
93	466840	9201563	229,371	101,974	18,910	14,331	26,311	97,032	42,769	15,313	10,678	7,176	6,505	372,920	0,419
101	464314	9199625	231,670	105,255	20,629	14,731	24,711	92,593	42,819	14,222	10,175	7,620	6,431	371,593	0,398
374	471562	9190895	261,907	122,431	23,962	16,900	26,860	99,987	52,385	15,722	8,887	7,440	6,514	409,599	0,406
375	483932	9165758	339,899	170,793	35,570	22,977	28,777	108,779	75,668	17,114	4,733	7,915	6,565	498,964	0,385
376	504119	9176086	334,827	154,176	24,815	20,980	40,680	142,330	78,773	25,247	7,764	4,768	7,110	521,915	0,529
377	470264	9195892	247,642	112,966	21,379	15,715	27,062	99,947	48,339	15,845	9,774	7,210	6,530	394,576	0,417
378	502972	9175754	334,458	154,646	25,279	21,035	40,047	140,519	78,423	24,814	7,640	4,927	7,081	520,001	0,522
379	464704	9210892	203,046	84,342	14,021	12,124	26,832	97,379	35,359	15,643	12,349	6,713	6,541	345,551	0,440
380	514376	9180703	333,875	146,906	19,715	20,112	46,619	159,141	80,779	29,307	9,183	3,217	7,381	535,085	0,601
381	486543	9161102	354,687	179,792	37,644	24,109	29,293	110,878	80,141	17,482	3,980	7,966	6,581	516,272	0,382
382	477042	9203639	234,909	99,425	15,293	14,051	31,789	112,812	46,474	19,065	11,609	5,826	6,752	392,041	0,481
383	493660	9169930	339,530	164,283	30,853	22,202	34,375	124,646	77,711	20,941	6,039	6,460	6,820	511,951	0,451
385	488885	9164833	347,570	173,152	34,932	23,290	31,107	115,718	78,780	18,714	4,815	7,407	6,667	512,873	0,408
386	486090	9164530	345,368	173,356	35,769	23,305	29,651	111,494	77,585	17,717	4,611	7,757	6,602	506,999	0,392
387	492034	9202147	254,757	104,131	12,605	14,695	39,063	134,303	55,005	24,059	12,110	4,188	7,074	431,012	0,556
388	460127	9190069	251,831	122,495	27,148	16,865	20,976	82,861	47,213	11,689	8,130	8,839	6,251	384,575	0,342
389	475792	9206096	227,242	94,692	14,168	13,457	31,581	111,893	44,178	18,915	12,013	5,784	6,746	383,210	0,483
390	471652	9205809	223,563	94,693	15,315	13,441	29,453	105,697	42,297	17,456	11,741	6,290	6,651	374,121	0,459



**DADOS COM TENDÊNCIA 1ª ORDEM (LINEAR) SEM RESÍDUOS – JULHO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
392	462680	9212735	196,135	80,652	13,434	11,657	26,130	95,092	33,092	15,156	12,595	6,809	6,512	336,361	0,436
395	492994	9186865	295,170	132,688	21,216	18,259	36,934	130,000	65,870	22,645	9,240	5,244	6,958	469,850	0,508
397	461213	9202762	220,274	99,019	19,550	13,941	23,690	89,205	39,133	13,512	10,612	7,742	6,389	356,764	0,393
398	509869	9171317	353,256	163,789	26,211	22,201	42,752	149,003	84,897	26,683	7,154	4,460	7,196	546,905	0,544
399	470603	9193272	254,757	117,885	22,814	16,329	26,784	99,466	50,289	15,663	9,291	7,370	6,514	401,647	0,410
418	505362	9191391	296,706	125,859	15,669	17,454	43,919	149,882	68,997	27,422	10,753	3,453	7,276	488,223	0,590
419	506754	9191483	297,954	125,867	15,286	17,460	44,633	151,963	69,632	27,912	10,843	3,283	7,308	491,290	0,598
424	465140	9193504	248,328	116,750	23,974	16,167	24,080	91,518	47,392	13,808	9,049	7,991	6,394	388,192	0,381
426	459760	9208115	204,926	88,872	16,798	12,671	23,875	89,070	34,767	13,622	11,559	7,503	6,405	340,522	0,404
448	472725	9209801	214,419	87,404	12,752	12,536	30,674	108,768	40,122	18,281	12,560	5,860	6,711	367,101	0,479
450	468447	9207048	216,949	91,976	15,357	13,090	28,055	101,447	39,848	16,493	11,810	6,570	6,590	363,588	0,447
456	490063	9163192	353,057	176,357	35,602	23,694	31,418	116,837	80,486	18,933	4,564	7,395	6,679	519,582	0,408
457	479479	9206207	230,892	94,961	13,231	13,504	33,452	117,357	45,951	20,198	12,227	5,345	6,830	391,650	0,503
459	475069	9206779	224,710	93,329	13,944	13,284	31,335	111,085	43,351	18,744	12,106	5,817	6,736	379,868	0,481
460	475270	9205172	229,067	96,344	14,826	13,661	31,161	110,780	44,544	18,629	11,809	5,916	6,726	384,188	0,477
461	474667	9208552	219,711	89,978	13,014	12,864	31,436	111,157	41,945	18,808	12,423	5,728	6,743	374,676	0,485
515	480689	9196482	257,249	113,211	18,569	15,784	32,398	115,499	53,166	19,504	10,433	5,947	6,769	417,780	0,475
519	494292	9194217	277,606	119,176	16,657	16,579	38,842	134,658	61,526	23,932	10,713	4,531	7,053	455,321	0,540
520	466540	9197726	238,940	109,074	21,200	15,215	25,505	95,156	45,226	14,772	9,929	7,505	6,463	381,394	0,404
521	501655	9187803	301,997	132,058	18,622	18,213	41,444	143,088	69,576	25,736	9,873	4,160	7,160	488,057	0,557

**DADOS COM TENDÊNCIA 1ª ORDEM (LINEAR) SEM RESÍDUOS – JULHO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
522	507468	9181131	325,398	145,220	21,104	19,876	43,223	149,142	77,024	26,977	8,903	3,991	7,230	517,750	0,565
523	497235	9160857	366,731	181,624	35,253	24,377	34,621	126,511	85,669	21,137	4,493	6,735	6,818	542,105	0,439
524	485715	9185156	291,805	134,931	23,929	18,512	32,987	118,656	63,382	19,942	8,532	6,225	6,779	456,753	0,462
525	481172	9187001	282,201	130,913	23,938	17,993	31,020	112,664	59,850	18,588	8,647	6,615	6,694	441,610	0,444
532	464649	9201412	227,421	101,973	19,517	14,323	25,185	93,753	41,773	14,541	10,534	7,444	6,454	368,108	0,406
533	464057	9202085	225,055	100,644	19,268	14,155	25,002	93,135	41,019	14,414	10,632	7,462	6,447	365,099	0,406
534	463055	9202016	224,163	100,644	19,545	14,151	24,487	91,635	40,563	14,061	10,566	7,584	6,424	362,898	0,400
535	465317	9203022	223,985	99,063	18,427	13,962	25,795	95,338	41,014	14,955	10,877	7,243	6,484	365,832	0,416
536	499833	9161756	367,186	180,286	34,118	24,220	36,079	130,668	86,361	22,134	4,801	6,363	6,885	546,088	0,456
537	481442	9198256	253,480	110,007	17,364	15,387	33,079	117,270	52,338	19,966	10,811	5,723	6,802	415,313	0,485
538	464873	9193813	247,246	116,140	23,858	16,090	23,999	91,241	47,049	13,751	9,094	7,998	6,391	386,822	0,381
539	459804	9201923	220,933	100,398	20,369	14,108	22,839	86,819	38,996	12,931	10,378	7,971	6,350	355,444	0,382
540	458046	9201341	220,557	101,255	21,122	14,208	21,857	84,016	38,510	12,259	10,175	8,221	6,306	352,686	0,371
541	456443	9201391	218,717	100,956	21,472	14,165	21,060	81,677	37,672	11,712	10,100	8,404	6,270	348,781	0,362
542	499752	9179024	322,593	148,147	24,150	20,212	38,988	137,006	74,587	24,078	8,096	5,053	7,039	504,572	0,516
543	499145	9172596	338,513	160,029	28,012	21,692	37,585	133,710	78,650	23,135	6,836	5,615	6,967	518,522	0,490
544	458966	9201995	219,853	100,157	20,525	14,075	22,430	85,614	38,527	12,650	10,348	8,063	6,332	353,293	0,378
545	465052	9204934	218,774	95,472	17,384	13,513	25,989	95,663	39,582	15,082	11,228	7,128	6,495	360,631	0,421
546	466662	9199119	235,480	106,498	20,366	14,895	25,804	95,856	44,340	14,973	10,202	7,384	6,479	378,348	0,409
547	486026	9166980	338,985	168,789	34,367	22,735	30,038	112,316	75,888	17,975	5,076	7,577	6,623	500,984	0,400

**DADOS COM TENDÊNCIA 1ª ORDEM (LINEAR) SEM RESÍDUOS – JULHO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
560	457665	9199677	224,439	104,302	22,174	14,587	21,381	82,834	39,450	11,937	9,837	8,392	6,282	355,769	0,363
562	455603	9200975	218,892	101,621	21,912	14,245	20,567	80,286	37,534	11,375	9,977	8,534	6,248	347,793	0,356
563	454096	9199711	220,542	103,779	23,000	14,508	19,594	77,597	37,637	10,712	9,657	8,807	6,203	347,260	0,344
564	465101	9201562	227,517	101,752	19,323	14,297	25,437	94,474	41,898	14,714	10,587	7,380	6,466	368,816	0,409
565	470482	9196462	246,406	111,934	20,998	15,587	27,268	100,481	48,061	15,986	9,894	7,141	6,540	393,727	0,420
566	474406	9191082	264,461	122,449	23,180	16,913	28,320	104,240	53,684	16,723	9,072	7,093	6,580	415,867	0,422
567	470977	9195059	250,550	114,608	21,692	15,922	27,277	100,684	49,263	15,996	9,652	7,190	6,539	398,253	0,418
568	455687	9187126	254,677	127,400	29,902	17,460	18,243	75,231	46,986	9,823	7,335	9,582	6,125	381,134	0,308
569	465705	9194468	246,446	115,029	23,283	15,955	24,529	92,710	47,021	14,112	9,263	7,851	6,415	387,219	0,388
ABI1	495145	9186612	298,118	133,436	20,853	18,361	37,971	133,069	67,121	23,357	9,304	5,012	7,004	475,535	0,518
BB2	465175	9193548	248,252	116,672	23,940	16,158	24,105	91,586	47,380	13,825	9,059	7,983	6,395	388,169	0,381
BB8	466123	9191997	253,261	119,680	24,613	16,536	24,316	92,400	48,909	13,974	8,813	7,991	6,402	394,119	0,381
BB11	468988	9192836	254,157	118,488	23,449	16,398	25,899	96,928	49,776	15,057	9,123	7,592	6,474	398,877	0,399
BS1	503763	9172385	343,986	161,016	27,040	21,832	39,869	140,423	81,109	24,702	7,038	5,092	7,069	529,931	0,514
CT1	456231	9201837	217,341	100,098	21,265	14,057	21,030	81,532	37,263	11,690	10,175	8,395	6,270	347,213	0,363
CT2	461212	9197545	233,720	108,725	22,567	15,152	22,798	87,253	42,677	12,916	9,615	8,141	6,342	369,246	0,374
CT3	458560	9200515	223,234	102,858	21,478	14,410	21,974	84,463	39,329	12,341	10,044	8,224	6,310	355,876	0,370
CT4	454458	9199989	220,211	103,309	22,753	14,451	19,824	78,234	37,630	10,868	9,729	8,743	6,213	347,449	0,347
CT5	459613	9202250	219,886	99,765	20,225	14,028	22,799	86,661	38,678	12,902	10,431	7,968	6,349	354,211	0,382
CT6	456359	9201195	219,132	101,309	21,606	14,209	20,984	81,480	37,763	11,661	10,059	8,429	6,267	349,052	0,361

**DADOS COM TENDÊNCIA 1ª ORDEM (LINEAR) SEM RESÍDUOS – JULHO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
CT8	452429	9201565	213,984	100,115	22,323	14,045	19,074	75,839	35,541	10,349	9,923	8,860	6,182	338,887	0,341
CT13	457476	9196033	233,629	111,058	24,327	15,429	20,663	81,193	41,831	11,456	9,131	8,693	6,245	364,043	0,349
CT14	455188	9199608	221,973	104,111	22,801	14,554	20,125	79,165	38,255	11,076	9,694	8,687	6,226	350,085	0,349
CT17	454168	9200085	219,655	103,093	22,767	14,423	19,695	77,843	37,419	10,779	9,732	8,770	6,208	346,535	0,345
ML1	514056	9187918	314,937	133,440	15,618	18,432	47,691	161,369	75,716	30,021	10,545	2,703	7,439	517,064	0,624
ML2	505922	9186996	308,631	134,109	18,078	18,485	43,449	149,062	72,264	27,114	9,942	3,723	7,249	500,063	0,577
JN1	469922	9206529	219,861	93,131	15,308	13,240	28,707	103,422	40,940	16,942	11,788	6,437	6,619	368,313	0,453
JN2	465821	9205713	217,587	94,121	16,751	13,348	26,508	97,086	39,438	15,436	11,418	6,978	6,519	360,582	0,428
JN3	464453	9201152	227,882	102,431	19,713	14,379	25,042	93,368	41,851	14,444	10,474	7,487	6,448	368,267	0,404
JN9	467287	9202396	227,701	100,482	18,323	14,147	26,678	98,001	42,427	15,562	10,861	7,061	6,522	371,982	0,424
JN11	464343	9203351	222,097	98,326	18,468	13,867	25,362	94,029	40,302	14,657	10,889	7,332	6,465	362,745	0,411
JN15	464366	9197932	236,089	108,411	21,596	15,124	24,448	92,036	43,996	14,047	9,855	7,743	6,417	375,767	0,393
JN18	464998	9203678	221,953	97,802	18,123	13,804	25,747	95,114	40,408	14,920	10,986	7,230	6,483	363,509	0,416
JN21	466875	9204032	223,044	97,385	17,474	13,759	26,750	98,007	41,109	15,607	11,152	6,984	6,528	367,094	0,428
JN22	465455	9201742	227,431	101,463	19,135	14,262	25,646	95,062	41,953	14,857	10,640	7,325	6,475	369,221	0,412
JN24	464386	9200875	228,525	102,938	19,889	14,442	24,961	93,166	42,006	14,389	10,418	7,516	6,444	368,772	0,403
JN25	464652	9201339	227,613	102,109	19,558	14,340	25,174	93,731	41,824	14,534	10,521	7,449	6,454	368,289	0,406
JN29	466816	9201270	230,100	102,516	19,085	14,398	26,249	96,887	42,956	15,272	10,621	7,202	6,502	373,564	0,417
MV1	477381	9189222	272,430	126,293	23,551	17,403	29,496	107,920	56,440	17,536	8,872	6,888	6,630	427,343	0,432
MV2	482790	9194422	264,801	117,314	19,262	16,304	33,101	117,819	55,619	19,993	10,149	5,859	6,798	427,671	0,479

**DADOS COM TENDÊNCIA 1ª ORDEM (LINEAR) SEM RESÍDUOS – JULHO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
MV3	483565	9202774	244,101	101,874	14,248	14,381	34,917	122,082	50,332	21,213	11,786	5,130	6,890	409,514	0,513
MV4	476020	9186739	277,377	130,737	25,309	17,952	28,388	104,989	57,445	16,783	8,327	7,236	6,577	430,072	0,416
MV7	484086	9198222	256,390	110,411	16,758	15,448	34,401	121,146	53,687	20,873	10,943	5,417	6,861	421,638	0,500
MV13	482019	9198234	254,153	110,122	17,240	15,404	33,365	118,111	52,642	20,162	10,837	5,657	6,815	416,728	0,489
PTI	493809	9166424	348,725	170,825	32,845	23,018	33,851	123,554	80,168	20,592	5,377	6,710	6,792	520,693	0,440

Os valores imputados estão em **negrito**.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

**APÊNDICE G – DADOS COM TENDÊNCIA 2ª ORDEM (NÃO LINEAR) SEM RESÍDUOS – JANEIRO**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
3	486810	9167417	326,837	168,536	30,774	20,913	31,504	135,515	70,693	24,443	4,754	11,277	6,392	483,864	0,714
91	464356	9199134	230,732	112,226	18,179	14,601	25,425	85,247	43,456	15,000	8,950	16,321	5,700	388,836	0,725
93	466840	9201563	228,006	106,141	16,455	14,472	27,043	83,311	44,381	14,656	9,740	16,613	5,697	392,962	0,734
101	464314	9199625	230,206	111,253	17,917	14,619	25,531	83,429	43,850	14,781	9,048	16,484	5,686	390,538	0,725
374	471562	9190895	245,451	125,754	21,420	14,647	26,771	121,104	40,288	19,479	8,035	13,259	6,034	373,146	0,721
375	483932	9165758	323,299	173,009	32,241	20,305	29,495	144,025	65,303	25,234	4,089	10,505	6,429	462,476	0,705
376	504119	9176086	337,090	143,735	22,895	22,717	42,291	112,328	90,230	22,252	8,499	13,690	6,355	561,514	0,765
377	470264	9195892	236,615	116,108	18,960	14,399	27,221	106,972	41,263	17,573	8,939	14,565	5,907	378,633	0,728
378	502972	9175754	336,146	144,888	23,285	22,605	41,637	113,028	89,119	22,295	8,301	13,606	6,351	557,163	0,762
379	464704	9210892	217,952	88,283	11,696	14,924	28,502	45,505	52,255	10,133	11,449	19,941	5,390	426,963	0,749
380	514376	9180703	334,110	129,664	18,688	22,373	47,807	118,527	92,228	22,728	10,627	13,549	6,460	569,738	0,792
381	486543	9161102	344,449	181,909	34,070	22,307	30,654	136,389	76,254	25,298	3,382	10,921	6,431	503,809	0,704
382	477042	9203639	223,015	97,024	13,734	13,363	31,530	107,151	39,914	16,962	11,340	14,987	5,925	375,016	0,754
383	493660	9169930	337,087	160,807	28,061	22,355	35,948	119,713	82,688	23,123	6,034	12,705	6,341	531,063	0,734
385	488885	9164833	340,618	173,272	31,651	22,273	32,562	129,010	78,511	24,316	4,429	11,692	6,385	513,576	0,715
386	486090	9164530	333,118	174,853	32,410	21,338	30,732	137,738	71,746	24,960	4,062	10,965	6,416	487,192	0,708
387	492034	9202147	224,567	92,987	12,147	12,171	37,298	150,430	33,675	21,628	12,733	11,753	6,338	348,538	0,776
388	460127	9190069	236,568	132,369	23,887	14,068	21,117	113,422	34,169	18,339	6,580	13,671	5,889	350,012	0,698
389	475792	9206096	218,358	92,555	12,628	13,242	31,477	99,239	40,301	15,911	11,716	15,696	5,851	377,416	0,756
390	471652	9205809	220,639	95,169	13,413	13,833	29,861	86,025	43,356	14,602	11,181	16,656	5,733	389,746	0,749

**DADOS COM TENDÊNCIA 2ª ORDEM (NÃO LINEAR) SEM RESÍDUOS – JANEIRO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
392	462680	9212735	217,939	85,596	10,977	15,421	28,286	30,255	56,234	8,490	11,600	21,182	5,267	443,358	0,750
395	492994	9186865	277,074	125,030	19,682	16,861	36,668	137,971	56,034	22,528	9,579	12,043	6,354	431,601	0,756
397	461213	9202762	227,376	106,393	16,689	15,032	25,087	63,640	47,824	12,531	9,350	18,122	5,517	407,423	0,727
398	509869	9171317	372,037	151,993	24,029	26,465	45,771	87,252	113,095	20,994	8,100	15,495	6,277	649,295	0,773
399	470603	9193272	240,898	121,310	20,311	14,504	26,818	114,176	40,533	18,537	8,427	13,892	5,969	374,930	0,724
418	505362	9191391	271,226	110,019	15,241	15,923	42,795	155,430	54,420	24,090	11,934	11,051	6,549	425,397	0,786
419	506754	9191483	271,899	109,213	14,953	15,933	43,449	157,181	54,760	24,300	12,110	10,937	6,572	426,620	0,788
424	465140	9193504	237,191	123,258	21,125	14,423	24,368	106,043	39,248	17,531	7,860	14,463	5,868	370,505	0,715
426	459760	9208115	223,964	96,357	13,952	15,651	26,014	36,924	54,670	9,493	10,300	20,418	5,308	436,099	0,736
448	472725	9209801	213,180	86,453	11,116	13,417	31,055	80,835	43,044	13,711	12,144	17,252	5,688	389,632	0,758
450	468447	9207048	220,221	94,212	13,232	14,248	28,928	71,872	46,259	13,069	11,074	17,769	5,610	401,853	0,747
456	490063	9163192	349,395	176,346	32,229	23,151	33,179	124,478	83,547	24,194	4,206	11,985	6,377	532,738	0,716
457	479479	9206207	216,495	90,519	12,009	12,712	32,880	111,484	37,483	17,136	12,161	14,798	5,960	366,005	0,762
459	475069	9206779	217,339	91,501	12,376	13,277	31,329	95,568	40,798	15,474	11,777	16,003	5,818	379,650	0,756
460	475270	9205172	220,405	94,715	13,198	13,405	31,113	99,142	40,771	15,992	11,461	15,655	5,851	379,034	0,754
461	474667	9208552	214,134	88,048	11,495	13,174	31,508	90,834	41,058	14,824	12,104	16,445	5,775	381,253	0,759
515	480689	9196482	239,490	110,167	16,900	14,137	31,915	124,721	41,563	19,554	10,241	13,347	6,108	378,938	0,748
519	494292	9194217	252,481	108,816	15,762	14,569	37,744	147,167	45,322	22,460	11,295	11,678	6,382	391,640	0,769
520	466540	9197726	232,796	114,069	18,589	14,471	26,010	94,639	42,163	16,094	8,902	15,557	5,786	383,108	0,725
521	501655	9187803	283,244	119,378	17,647	17,277	41,011	143,123	60,696	23,295	10,746	11,797	6,459	449,328	0,774

**DADOS COM TENDÊNCIA 2ª ORDEM (NÃO LINEAR) SEM RESÍDUOS – JANEIRO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
522	507468	9181131	320,548	131,468	19,805	21,006	44,064	124,237	82,373	22,811	9,956	13,036	6,431	531,852	0,778
523	497235	9160857	380,711	178,970	31,823	26,721	37,772	96,455	106,839	22,451	4,480	14,146	6,279	622,796	0,730
524	485715	9185156	273,457	131,667	21,884	16,567	32,832	135,752	51,959	22,180	8,403	12,045	6,285	415,807	0,739
525	481172	9187001	262,989	129,698	21,761	15,736	30,772	133,823	46,806	21,550	8,289	12,220	6,222	396,589	0,733
532	464649	9201412	228,299	107,483	16,886	14,652	26,117	78,038	45,126	14,111	9,459	16,987	5,645	396,063	0,730
533	464057	9202085	227,628	106,403	16,612	14,726	26,047	74,098	45,893	13,658	9,533	17,316	5,612	399,342	0,730
534	463055	9202016	227,796	107,018	16,809	14,813	25,626	71,622	46,266	13,403	9,404	17,492	5,588	400,889	0,728
535	465317	9203022	226,429	103,907	15,901	14,632	26,783	74,394	46,008	13,630	9,872	17,351	5,620	399,952	0,734
536	499833	9161756	385,743	176,196	30,803	27,424	39,529	88,601	112,384	21,797	4,952	14,830	6,249	644,592	0,738
537	481442	9198256	235,360	106,128	15,851	13,813	32,495	124,652	40,553	19,364	10,702	13,442	6,104	375,437	0,752
538	464873	9193813	236,687	122,751	21,002	14,428	24,322	104,618	39,411	17,356	7,895	14,584	5,855	371,266	0,715
539	459804	9201923	228,172	108,747	17,376	15,097	24,291	63,185	47,552	12,525	9,014	18,101	5,507	406,239	0,723
540	458046	9201341	228,641	110,744	17,979	15,189	23,413	61,050	47,545	12,325	8,693	18,218	5,481	406,212	0,719
541	456443	9201391	228,685	111,401	18,207	15,327	22,776	56,629	48,216	11,858	8,521	18,543	5,439	409,024	0,716
542	499752	9179024	316,333	139,070	22,315	20,583	39,870	124,229	77,159	22,680	8,650	12,843	6,373	511,506	0,759
543	499145	9172596	340,647	153,122	25,605	22,956	39,363	112,226	89,031	22,427	7,204	13,476	6,329	556,238	0,750
544	458966	9201995	228,202	109,000	17,469	15,179	23,974	60,609	47,991	12,252	8,934	18,293	5,483	408,073	0,721
545	465052	9204934	224,335	100,165	14,899	14,707	27,150	67,146	47,532	12,755	10,242	17,997	5,562	406,550	0,737
546	466662	9199119	231,081	111,186	17,811	14,474	26,392	90,514	42,987	15,572	9,208	15,941	5,754	386,757	0,728
547	486026	9166980	325,909	169,727	31,165	20,755	30,964	137,683	69,285	24,644	4,576	11,079	6,401	478,282	0,712



**DADOS COM TENDÊNCIA 2ª ORDEM (NÃO LINEAR) SEM RESÍDUOS – JANEIRO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
560	457665	9199677	229,498	114,246	18,967	15,031	22,767	67,627	45,503	13,079	8,303	17,627	5,528	397,720	0,714
562	455603	9200975	228,861	112,625	18,574	15,338	22,306	56,458	47,920	11,852	8,339	18,526	5,432	407,818	0,714
563	454096	9199711	229,141	115,841	19,527	15,256	21,288	59,070	46,423	12,158	7,905	18,247	5,442	401,704	0,708
564	465101	9201562	228,109	106,966	16,732	14,619	26,337	78,715	45,062	14,173	9,542	16,947	5,653	395,814	0,731
565	470482	9196462	235,809	114,844	18,617	14,372	27,438	105,906	41,444	17,421	9,083	14,676	5,899	379,497	0,730
566	474406	9191082	247,452	124,136	20,821	14,757	28,155	123,510	41,577	19,807	8,393	13,117	6,074	377,980	0,727
567	470977	9195059	238,252	117,489	19,288	14,427	27,362	110,276	41,090	17,997	8,844	14,280	5,939	377,629	0,728
568	455687	9187126	233,592	140,136	26,322	13,420	18,083	123,983	27,535	19,387	5,471	12,662	5,931	323,500	0,683
569	465705	9194468	236,405	121,054	20,502	14,447	24,860	103,652	40,038	17,234	8,126	14,700	5,853	373,847	0,718
AB1	495145	9186612	280,492	124,669	19,417	17,148	37,731	138,369	58,119	22,704	9,764	12,028	6,378	439,499	0,760
BB2	465175	9193548	237,163	123,153	21,095	14,425	24,395	105,943	39,288	17,519	7,874	14,473	5,868	370,673	0,715
BB8	466123	9191997	239,614	125,878	21,776	14,418	24,456	112,261	38,524	18,304	7,656	13,925	5,924	367,101	0,713
BB11	468988	9192836	240,511	122,914	20,825	14,488	25,980	113,214	39,923	18,427	8,154	13,926	5,951	372,564	0,720
BS1	503763	9172385	352,411	151,888	24,766	24,276	42,100	102,907	98,330	21,891	7,663	14,249	6,314	592,236	0,760
CT1	456231	9201837	228,522	110,613	17,991	15,403	22,825	53,945	48,932	11,561	8,590	18,768	5,418	411,997	0,717
CT2	461212	9197545	231,554	116,878	19,569	14,660	23,669	84,476	42,444	14,973	8,261	16,269	5,676	384,693	0,716
CT3	458560	9200515	229,100	112,153	18,356	15,062	23,383	66,034	46,327	12,883	8,580	17,800	5,521	401,121	0,718
CT4	454458	9199989	229,109	115,121	19,312	15,276	21,527	58,517	46,770	12,094	8,004	18,307	5,440	403,116	0,710
CT5	459613	9202250	227,971	108,182	17,225	15,144	24,307	61,281	48,011	12,311	9,061	18,261	5,491	408,162	0,723
CT6	456359	9201195	228,767	111,831	18,330	15,308	22,682	57,342	47,970	11,939	8,471	18,478	5,443	408,007	0,715

**DADOS COM TENDÊNCIA 2ª ORDEM (NÃO LINEAR) SEM RESÍDUOS – JANEIRO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
CT8	452429	9201565	228,850	112,952	18,749	15,688	21,201	45,187	50,036	10,649	8,100	19,387	5,330	416,633	0,710
CT13	457476	9196033	231,266	121,607	21,030	14,618	21,610	83,873	40,710	14,920	7,524	16,200	5,648	377,798	0,706
CT14	455188	9199608	229,276	115,537	19,408	15,173	21,712	62,150	46,000	12,491	8,008	18,018	5,472	399,900	0,710
CT17	454168	9200085	229,067	115,066	19,305	15,310	21,437	57,333	47,000	11,966	7,991	18,400	5,430	404,079	0,709
ML1	514056	9187918	296,104	113,888	15,354	18,228	47,132	149,668	69,010	24,477	12,157	11,453	6,610	480,769	0,798
ML2	505922	9186996	291,520	119,331	17,266	18,005	43,133	142,774	65,713	23,585	11,049	11,842	6,500	468,357	0,782
JN1	469922	9206529	220,253	94,544	13,289	14,044	29,362	78,406	44,862	13,770	11,134	17,257	5,666	396,058	0,748
JN2	465821	9205713	223,152	98,213	14,356	14,623	27,634	67,037	47,543	12,687	10,493	18,050	5,563	406,755	0,740
JN3	464453	9201152	228,586	108,101	17,060	14,660	25,972	78,431	44,999	14,167	9,383	16,943	5,648	395,505	0,729
JN9	467287	9202396	226,892	104,237	15,931	14,433	27,418	81,959	44,663	14,459	9,966	16,761	5,688	394,280	0,736
JN11	464343	9203351	226,255	103,708	15,874	14,742	26,480	70,443	46,760	13,200	9,830	17,660	5,585	403,107	0,733
JN15	464366	9197932	232,011	114,650	18,835	14,560	25,127	89,476	42,515	15,514	8,699	15,939	5,734	384,772	0,722
JN18	464998	9203678	225,755	102,732	15,593	14,681	26,819	71,246	46,649	13,262	9,973	17,621	5,594	402,705	0,735
JN21	466875	9204032	224,865	101,111	15,108	14,476	27,637	75,733	45,804	13,698	10,262	17,313	5,636	399,304	0,738
JN22	465455	9201742	227,881	106,434	16,578	14,592	26,525	79,052	45,048	14,198	9,620	16,934	5,657	395,779	0,732
JN24	464386	9200875	228,883	108,692	17,222	14,656	25,875	79,227	44,807	14,267	9,317	16,867	5,654	394,673	0,728
JN25	464652	9201339	228,378	107,629	16,926	14,650	26,100	78,298	45,069	14,143	9,444	16,964	5,648	395,818	0,729
JN29	466816	9201270	228,379	106,747	16,618	14,473	26,964	84,160	44,218	14,765	9,676	16,534	5,704	392,237	0,733
MV1	477381	9189222	253,859	126,692	21,280	15,114	29,251	129,207	43,353	20,681	8,335	12,629	6,146	384,087	0,729
MV2	482790	9194422	245,599	113,516	17,618	14,479	32,563	129,866	42,988	20,362	10,042	12,882	6,170	383,697	0,748

**DADOS COM TENDÊNCIA 2ª ORDEM (NÃO LINEAR) SEM RESÍDUOS – JANEIRO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
MV3	483565	9202774	223,807	95,698	13,164	12,821	33,977	126,949	36,923	19,102	11,901	13,495	6,112	362,345	0,763
MV4	476020	9186739	257,587	132,399	22,836	15,293	28,153	132,395	42,911	21,197	7,658	12,252	6,168	381,728	0,723
MV7	484086	9198222	236,024	104,981	15,434	13,702	33,620	130,288	40,236	19,987	10,995	13,037	6,163	373,916	0,757
MV13	482019	9198234	235,541	105,908	15,767	13,791	32,739	125,895	40,491	19,503	10,763	13,352	6,117	375,131	0,753
PT1	493809	9166424	349,778	168,221	29,790	23,530	35,824	115,459	88,457	23,206	5,301	12,879	6,336	552,637	0,729

Os valores imputados estão em **negrito**.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

**APÊNDICE H – DADOS COM TENDÊNCIA 2ª ORDEM (NÃO LINEAR) SEM RESÍDUOS – JULHO**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
3	486810	9167417	332,802	168,016	35,340	22,014	29,879	125,702	68,899	18,274	5,423	5,139	6,694	477,436	0,420
91	464356	9199134	232,200	106,166	21,090	14,761	24,566	94,067	42,237	14,178	10,113	7,346	6,434	369,645	0,399
93	466840	9201563	230,332	101,984	18,680	14,435	26,413	95,064	43,924	15,317	10,642	7,554	6,497	376,891	0,416
101	464314	9199625	231,587	105,254	20,649	14,722	24,702	92,761	42,720	14,222	10,179	7,587	6,431	371,252	0,398
374	471562	9190895	250,457	122,313	26,704	15,666	25,642	123,438	38,620	15,682	9,319	2,945	6,612	362,280	0,434
375	483932	9165758	329,030	170,682	38,173	21,806	27,621	131,041	62,600	17,076	5,142	3,648	6,657	454,044	0,410
376	504119	9176086	346,733	154,298	21,963	22,263	41,946	117,944	93,088	25,289	7,315	9,442	7,009	571,122	0,501
377	470264	9195892	240,907	112,897	22,992	14,989	26,345	113,741	40,242	15,822	10,028	4,566	6,587	366,743	0,433
378	502972	9175754	345,514	154,759	22,631	22,226	41,223	117,876	91,715	24,853	7,223	9,267	6,987	565,690	0,496
379	464704	9210892	217,999	84,495	10,439	13,735	28,422	66,755	53,336	15,695	11,785	12,583	6,414	407,345	0,405
380	514376	9180703	347,620	147,047	16,423	21,593	48,081	130,989	97,305	29,356	8,665	8,613	7,264	591,892	0,568
381	486543	9161102	349,333	179,737	38,926	23,532	28,724	121,842	73,705	17,463	4,182	5,864	6,627	494,148	0,395
382	477042	9203639	230,326	99,378	16,391	13,558	31,302	122,199	40,964	19,049	11,782	4,027	6,791	373,101	0,492
383	493660	9169930	343,759	164,326	29,840	22,657	34,825	115,985	82,796	20,956	5,880	8,120	6,784	529,428	0,441
385	488885	9164833	346,065	173,136	35,292	23,127	30,947	118,800	76,971	18,709	4,872	6,816	6,680	506,653	0,411
386	486090	9164530	338,605	173,286	37,389	22,576	28,932	125,345	69,454	17,693	4,866	5,102	6,659	479,050	0,408
387	492034	9202147	239,154	103,971	16,342	13,013	37,404	166,258	36,247	24,004	12,698	-1,937	7,207	366,533	0,593
388	460127	9190069	237,942	122,353	30,475	15,368	19,499	111,306	30,515	11,640	8,654	3,387	6,369	327,179	0,375
389	475792	9206096	225,083	94,670	14,685	13,224	31,351	116,315	41,582	18,907	12,094	4,937	6,764	374,287	0,488
390	471652	9205809	225,122	94,709	14,941	13,609	29,619	102,505	44,171	17,461	11,683	6,902	6,638	380,562	0,456

**DADOS COM TENDÊNCIA 2ª ORDEM (NÃO LINEAR) SEM RESÍDUOS – JULHO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
392	462680	9212735	216,449	80,860	8,569	13,845	28,291	53,487	57,514	15,227	11,829	14,784	6,340	420,311	0,387
395	492994	9186865	288,141	132,616	22,900	17,502	36,187	144,395	57,420	22,620	9,505	2,485	7,018	440,804	0,524
397	461213	9202762	226,775	99,085	17,992	14,642	24,381	75,891	46,948	13,535	10,367	10,294	6,334	383,630	0,377
398	509869	9171317	380,030	164,064	19,798	25,086	45,600	94,167	117,086	26,777	6,144	14,971	6,968	657,553	0,480
399	470603	9193272	245,462	117,789	25,040	15,328	25,796	118,502	39,115	15,631	9,641	3,721	6,593	363,235	0,432
418	505362	9191391	287,665	125,767	17,834	16,480	42,957	168,397	58,128	27,391	11,094	-0,096	7,353	450,863	0,611
419	506754	9191483	288,852	125,774	17,466	16,480	43,665	170,605	58,689	27,881	11,186	-0,290	7,385	453,675	0,619
424	465140	9193504	239,731	116,662	26,033	15,241	23,166	109,125	37,058	13,778	9,373	4,616	6,467	352,666	0,401
426	459760	9208115	221,553	89,042	12,815	14,462	25,643	55,017	54,756	13,681	10,932	14,030	6,264	409,234	0,364
448	472725	9209801	218,154	87,442	11,857	12,939	31,071	101,118	44,613	18,294	12,419	7,326	6,679	382,537	0,470
450	468447	9207048	222,870	92,036	13,939	13,728	28,685	89,319	46,967	16,514	11,587	8,894	6,540	388,059	0,433
456	490063	9163192	354,443	176,371	35,270	23,843	31,565	113,998	82,152	18,938	4,511	7,939	6,667	525,309	0,405
457	479479	9206207	225,236	94,903	14,585	12,894	32,850	128,941	39,151	20,178	12,441	3,125	6,878	368,275	0,516
459	475069	9206779	223,678	93,318	14,192	13,173	31,225	113,199	42,110	18,740	12,145	5,411	6,745	375,603	0,484
460	475270	9205172	226,834	96,322	15,361	13,420	30,923	115,353	41,859	18,622	11,893	5,039	6,745	374,960	0,482
461	474667	9208552	220,259	89,984	12,883	12,924	31,494	110,034	42,604	18,809	12,403	5,943	6,738	376,940	0,484
515	480689	9196482	248,024	113,116	20,778	14,790	31,417	134,393	42,075	19,472	10,781	2,325	6,847	379,656	0,497
519	494292	9194217	265,958	119,057	19,446	15,324	37,603	158,514	47,522	23,891	11,152	-0,042	7,152	407,185	0,568
520	466540	9197726	235,394	109,038	22,050	14,833	25,128	102,420	40,962	14,760	10,063	6,112	6,494	366,737	0,412
521	501655	9187803	297,056	132,007	19,805	17,681	40,919	153,206	63,636	25,718	10,059	2,221	7,202	467,640	0,569

**DADOS COM TENDÊNCIA 2ª ORDEM (NÃO LINEAR) SEM RESÍDUOS – JULHO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
522	507468	9181131	332,948	145,298	19,296	20,690	44,026	133,679	86,101	27,003	8,618	6,955	7,166	548,950	0,547
523	497235	9160857	384,616	181,808	30,970	26,305	36,523	89,881	107,171	21,199	3,819	13,756	6,666	616,018	0,396
524	485715	9185156	282,246	134,833	26,218	17,481	31,970	138,235	51,889	19,909	8,893	2,472	6,861	417,246	0,485
525	481172	9187001	270,811	130,796	26,666	16,766	29,809	135,992	46,157	18,548	9,076	2,143	6,791	394,539	0,471
532	464649	9201412	229,591	101,995	18,997	14,556	25,415	89,310	44,381	14,549	10,453	8,296	6,436	377,073	0,401
533	464057	9202085	228,540	100,680	18,433	14,530	25,373	85,997	45,209	14,426	10,501	8,830	6,417	379,502	0,397
534	463055	9202016	228,230	100,686	18,571	14,589	24,920	83,307	45,452	14,075	10,413	9,180	6,389	379,704	0,390
535	465317	9203022	227,839	99,103	17,504	14,378	26,205	87,444	45,648	14,969	10,732	8,756	6,451	381,760	0,406
536	499833	9161756	389,741	180,517	28,716	26,651	38,477	84,475	113,476	22,213	3,951	15,217	6,693	639,296	0,402
537	481442	9198256	244,379	109,914	19,544	14,407	32,111	135,909	41,397	19,934	11,154	2,151	6,879	377,703	0,507
538	464873	9193813	239,088	116,057	25,813	15,211	23,131	107,951	37,240	13,722	9,402	4,795	6,460	353,104	0,400
539	459804	9201923	227,041	100,461	18,906	14,766	23,488	74,310	46,339	12,952	10,148	10,369	6,298	380,686	0,368
540	458046	9201341	226,787	101,319	19,629	14,880	22,519	71,255	46,001	12,280	9,940	10,667	6,253	378,435	0,356
541	456443	9201391	226,053	101,031	19,715	14,955	21,840	66,652	46,492	11,738	9,824	11,284	6,208	379,099	0,345
542	499752	9179024	326,475	148,187	23,220	20,631	39,401	129,055	79,254	24,092	7,950	6,577	7,006	520,616	0,507
543	499145	9172596	348,458	160,131	25,630	22,763	38,643	113,342	90,606	23,170	6,461	9,519	6,883	559,621	0,467
544	458966	9201995	226,648	100,226	18,898	14,807	23,153	71,697	46,697	12,674	10,092	10,731	6,274	381,375	0,362
545	465052	9204934	225,365	95,539	15,805	14,224	26,690	82,164	47,506	15,105	10,980	9,715	6,439	387,870	0,405
546	466662	9199119	233,582	106,479	20,820	14,690	25,602	99,743	42,059	14,966	10,273	6,639	6,495	370,505	0,414
547	486026	9166980	331,800	168,715	36,088	21,961	29,274	127,032	67,250	17,949	5,347	4,756	6,684	471,291	0,417

**DADOS COM TENDÊNCIA 2ª ORDEM (NÃO LINEAR) SEM RESÍDUOS – JULHO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
560	457665	9199677	227,849	104,337	21,357	14,954	21,744	75,848	43,550	11,949	9,708	9,731	6,253	369,863	0,355
562	455603	9200975	225,936	101,694	20,225	15,004	21,316	65,861	46,002	11,400	9,711	11,299	6,188	376,902	0,339
563	454096	9199711	225,860	103,834	21,726	15,081	20,160	66,706	44,031	10,730	9,456	10,894	6,157	369,237	0,331
564	465101	9201562	229,599	101,773	18,824	14,521	25,659	90,212	44,400	14,721	10,508	8,197	6,448	377,417	0,404
565	470482	9196462	240,159	111,870	22,494	14,914	26,604	113,275	40,551	15,964	10,130	4,688	6,593	367,910	0,435
566	474406	9191082	253,402	122,336	25,829	15,721	27,144	126,890	40,389	16,684	9,489	2,752	6,674	370,164	0,449
567	470977	9195059	242,870	114,529	23,532	15,094	26,461	116,414	40,029	15,969	9,942	4,175	6,604	366,513	0,436
568	455687	9187126	234,309	127,191	34,780	15,265	16,077	116,947	22,499	9,752	8,103	1,586	6,298	296,960	0,356
569	465705	9194468	239,037	114,953	25,057	15,156	23,741	107,884	38,113	14,086	9,542	4,942	6,478	356,599	0,405
AB1	495145	9186612	292,079	133,374	22,299	17,710	37,329	145,437	59,860	23,336	9,532	2,641	7,055	450,577	0,532
BB2	465175	9193548	239,710	116,585	25,986	15,237	23,197	109,080	37,111	13,795	9,381	4,630	6,468	352,870	0,402
BB8	466123	9191997	242,689	119,572	27,145	15,397	23,192	114,054	36,199	13,937	9,211	3,841	6,492	350,427	0,406
BB11	468988	9192836	244,518	118,389	25,758	15,360	24,874	116,670	38,187	15,023	9,487	3,808	6,556	359,041	0,422
BS1	503763	9172385	360,487	161,185	23,088	23,610	41,623	106,627	100,948	24,760	6,416	11,570	6,928	598,125	0,475
CT1	456231	9201837	225,675	100,184	19,268	14,955	21,916	64,462	47,283	11,719	9,860	11,667	6,199	381,657	0,343
CT2	461212	9197545	231,908	108,707	23,001	14,956	22,605	90,964	40,498	12,910	9,684	7,430	6,358	361,757	0,379
CT3	458560	9200515	227,673	102,903	20,414	14,888	22,446	75,371	44,666	12,357	9,877	9,967	6,272	374,222	0,360
CT4	454458	9199989	225,915	103,367	21,387	15,065	20,430	66,552	44,487	10,888	9,514	10,982	6,165	371,021	0,333
CT5	459613	9202250	226,679	99,835	18,598	14,760	23,521	72,748	46,845	12,926	10,175	10,635	6,291	382,284	0,366
CT6	456359	9201195	226,143	101,381	19,926	14,964	21,730	67,121	46,193	11,685	9,794	11,181	6,207	378,026	0,344

**DADOS COM TENDÊNCIA 2ª ORDEM (NÃO LINEAR) SEM RESÍDUOS – JULHO (CONTINUA)**

AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
CT8	452429	9201565	224,244	100,220	19,865	15,151	20,165	54,825	47,877	10,385	9,537	12,888	6,095	381,288	0,317
CT13	457476	9196033	230,388	111,024	25,103	15,079	20,319	87,830	37,935	11,445	9,253	7,421	6,273	350,650	0,357
CT14	455188	9199608	226,519	104,158	21,712	15,044	20,609	69,853	43,721	11,092	9,523	10,472	6,187	368,874	0,338
CT17	454168	9200085	225,713	103,155	21,315	15,076	20,339	65,434	44,703	10,800	9,503	11,148	6,156	371,574	0,331
ML1	514056	9187918	313,561	133,426	15,948	18,284	47,545	164,187	74,062	30,016	10,597	2,163	7,451	511,376	0,628
ML2	505922	9186996	306,208	134,084	18,659	18,224	43,191	154,025	69,350	27,105	10,034	2,772	7,269	490,048	0,583
JN1	469922	9206529	223,757	93,171	14,375	13,660	29,121	95,442	45,624	16,956	11,641	7,966	6,585	384,414	0,443
JN2	465821	9205713	224,496	94,192	15,097	14,092	27,243	82,935	47,745	15,460	11,157	9,691	6,461	389,135	0,411
JN3	464453	9201152	229,820	102,451	19,249	14,588	25,248	89,399	44,181	14,451	10,401	8,247	6,431	376,275	0,400
JN9	467287	9202396	229,351	100,499	17,927	14,324	26,853	94,621	44,411	15,568	10,798	7,708	6,508	378,802	0,420
JN11	464343	9203351	227,131	98,377	17,262	14,409	25,898	83,719	46,354	14,675	10,699	9,308	6,422	383,548	0,400
JN15	464366	9197932	233,651	108,386	22,180	14,862	24,189	97,029	41,065	14,038	9,947	6,786	6,437	365,693	0,398
JN18	464998	9203678	226,919	97,853	16,934	14,339	26,275	84,944	46,378	14,938	10,798	9,180	6,440	384,031	0,404
JN21	466875	9204032	226,951	97,425	16,538	14,180	27,166	90,007	45,805	15,621	11,004	8,517	6,495	383,237	0,418
JN22	465455	9201742	229,518	101,484	18,635	14,487	25,868	90,788	44,462	14,864	10,561	8,144	6,458	377,846	0,407
JN24	464386	9200875	230,123	102,955	19,507	14,614	25,131	89,892	43,928	14,395	10,358	8,143	6,430	375,377	0,399
JN25	464652	9201339	229,681	102,130	19,063	14,562	25,394	89,494	44,311	14,541	10,443	8,261	6,436	376,838	0,401
JN29	466816	9201270	230,724	102,522	18,936	14,466	26,315	95,611	43,705	15,274	10,597	7,446	6,496	376,140	0,416
MV1	477381	9189222	260,724	126,173	26,355	16,142	28,251	131,895	42,366	17,495	9,314	2,292	6,729	378,966	0,460
MV2	482790	9194422	254,750	117,211	21,670	15,221	32,032	138,405	43,535	19,957	10,528	1,913	6,883	386,134	0,503



**DADOS COM TENDÊNCIA 2ª ORDEM (NÃO LINEAR) SEM RESÍDUOS – JULHO (CONTINUA)**

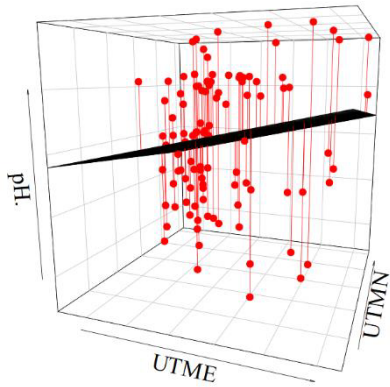
AMOSTRA	UTME	UTMN	STD	D	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
MV3	483565	9202774	234,333	101,774	16,588	13,329	33,878	142,088	38,589	21,179	12,154	1,295	6,973	369,146	0,536
MV4	476020	9186739	263,973	130,600	28,520	16,508	26,963	132,442	41,330	16,736	8,832	1,974	6,691	374,677	0,448
MV7	484086	9198222	246,188	110,306	19,201	14,349	33,316	142,040	41,422	20,837	11,328	1,412	6,948	379,477	0,524
MV13	482019	9198234	244,808	110,026	19,478	14,397	32,371	137,249	41,408	20,130	11,189	1,989	6,894	378,111	0,511
PT1	493809	9166424	355,500	170,895	31,223	23,748	34,572	109,679	88,313	20,616	5,122	9,370	6,734	548,689	0,424

Os valores imputados estão em **negrito**.

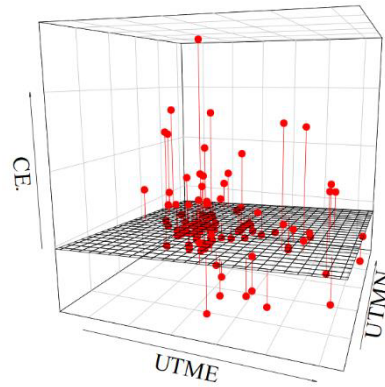
Fonte: Elaborado pelo Autor.

**APÊNDICE I – PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS EM RELAÇÃO A MALHA  
(UTME X UTMN) – DADOS ORIGINAIS – JANEIRO**

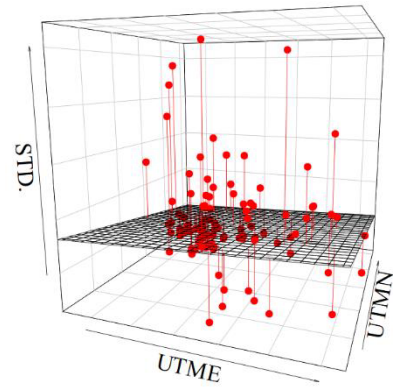
a. pH, b. CE, c. STD, d. D, e.  $\text{Ca}^{2+}$ , f.  $\text{Mg}^{2+}$ , g.  $\text{Na}^+$ , h.  $\text{K}^+$ , i.  $\text{HCO}_3^-$ , j.  $\text{Cl}^-$ , k.  $\text{SO}_4^{2-}$ , l.  $\text{NO}_3^-$ , m.  $\text{NO}_2^-$



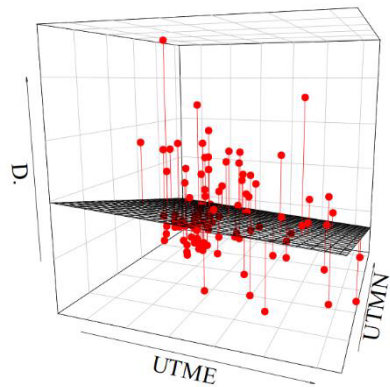
(a)



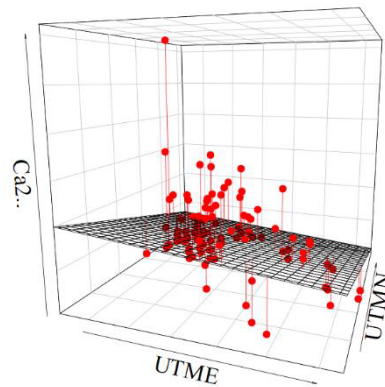
(b)



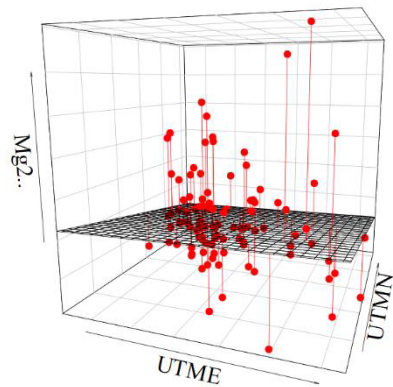
(c)



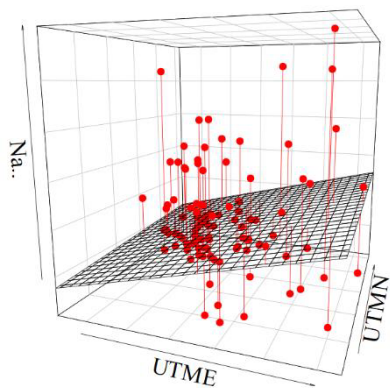
(d)



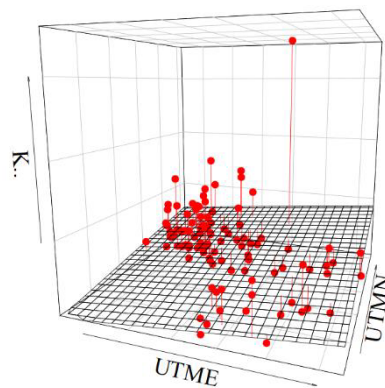
(e)



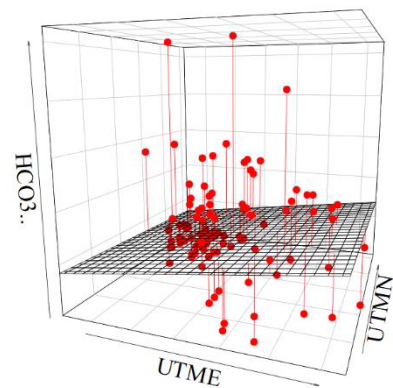
(f)



(g)

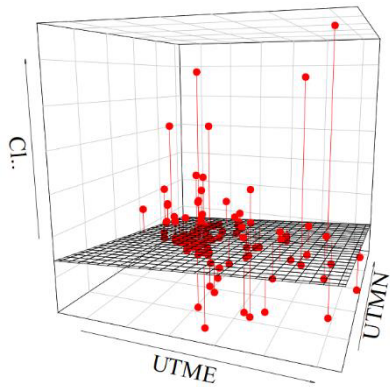


(h)

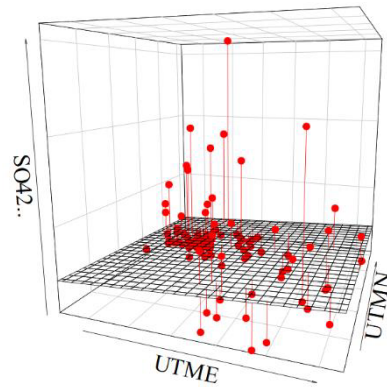


(i)

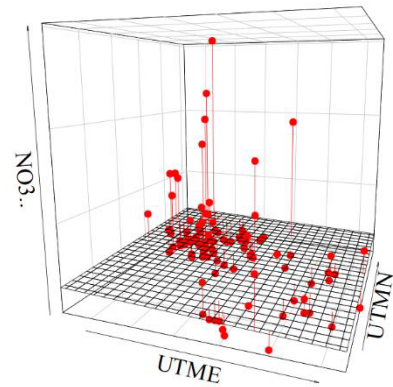
**PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS EM RELAÇÃO A MALHA  
(UTME X UTMN) – DADOS ORIGINAIS – JANEIRO (CONTINUA)**



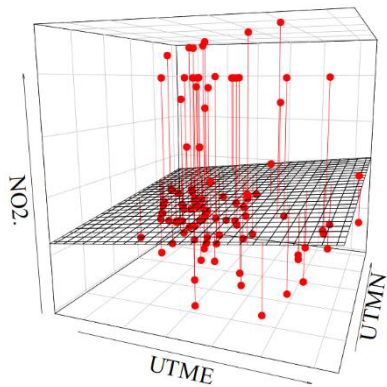
(j)



(k)



(l)

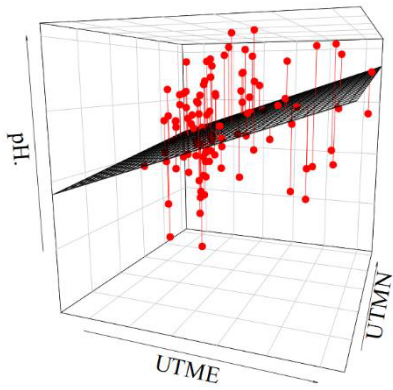


(m)

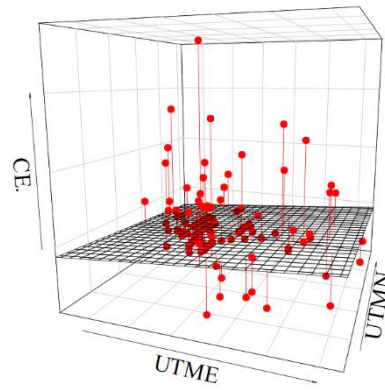
Fonte: Elaborado pelo Autor.

**APÊNDICE J – PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS EM RELAÇÃO A MALHA  
(UTME X UTMN) – DADOS ORIGINAIS – JULHO**

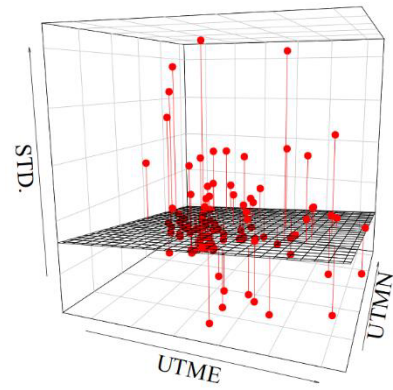
a. pH, b. CE, c. STD, d. D, e.  $\text{Ca}^{2+}$ , f.  $\text{Mg}^{2+}$ , g.  $\text{Na}^+$ , h.  $\text{K}^+$ , i.  $\text{HCO}_3^-$ , j.  $\text{Cl}^-$ , k.  $\text{SO}_4^{2-}$ , l.  $\text{NO}_3^-$ , m.  $\text{NO}_2^-$



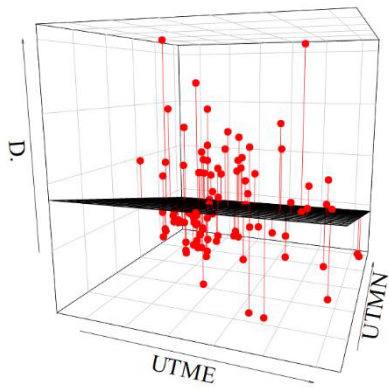
(a)



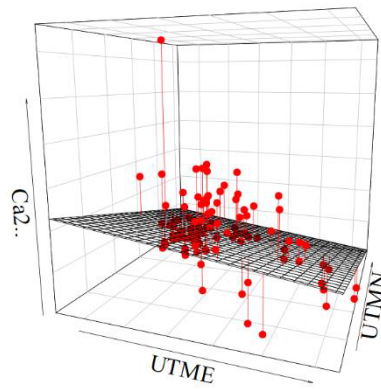
(b)



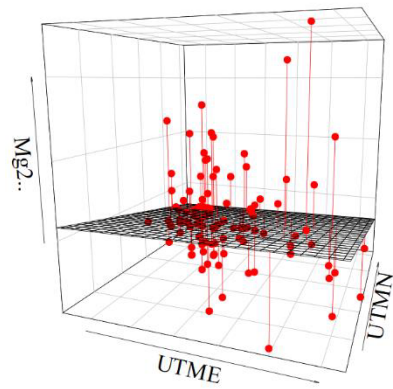
(c)



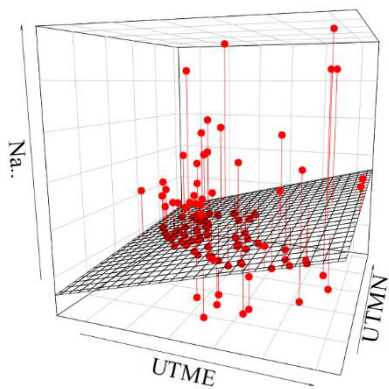
(d)



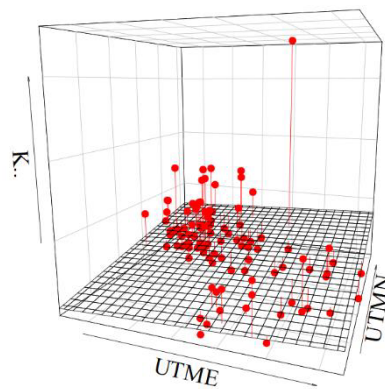
(e)



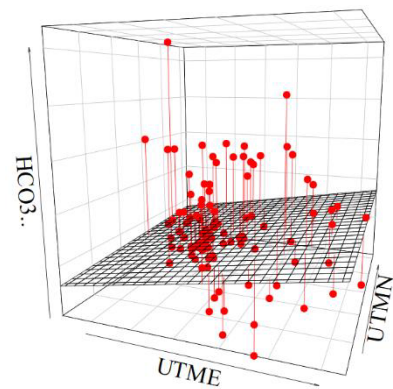
(f)



(g)

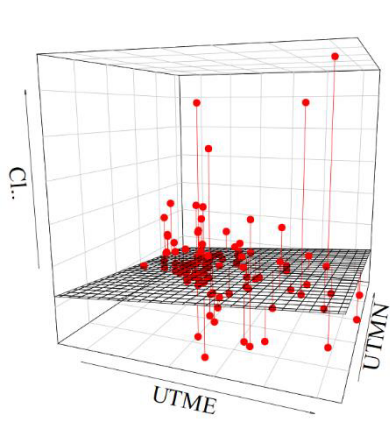


(h)

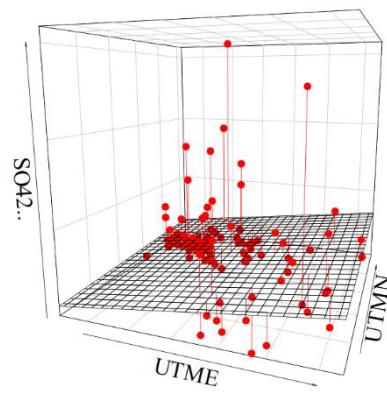


(i)

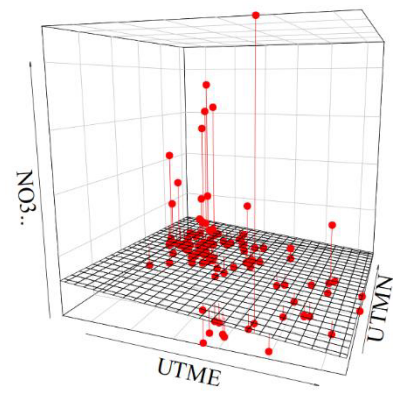
**PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS EM RELAÇÃO A MALHA  
(UTME X UTMN) – DADOS ORIGINAIS – JULHO (CONTINUA)**



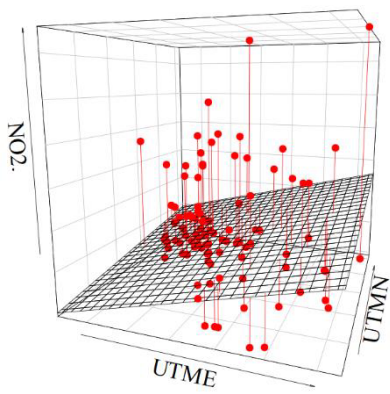
(j)



(k)



(l)

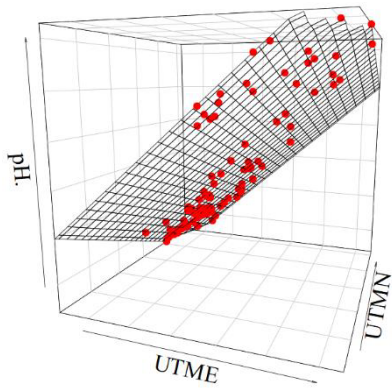


(m)

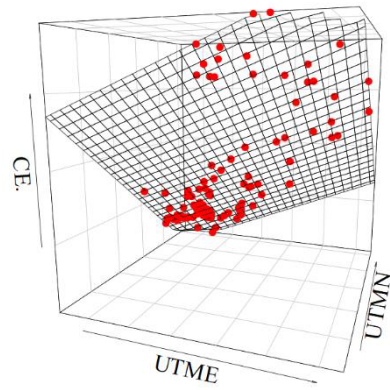
Fonte: Elaborado pelo Autor.

**APÊNDICE K – PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS EM RELAÇÃO A MALHA  
(UTME X UTMN) – TREND 1ª ORDEM – JANEIRO**

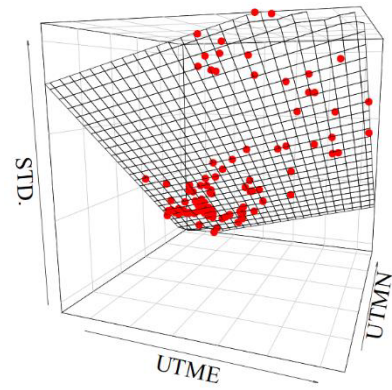
a. pH, b. CE, c. STD, d. D, e.  $\text{Ca}^{2+}$ , f.  $\text{Mg}^{2+}$ , g.  $\text{Na}^+$ , h.  $\text{K}^+$ , i.  $\text{HCO}_3^-$ , j.  $\text{Cl}^-$ , k.  $\text{SO}_4^{2-}$ , l.  $\text{NO}_3^-$ , m.  $\text{NO}_2^-$



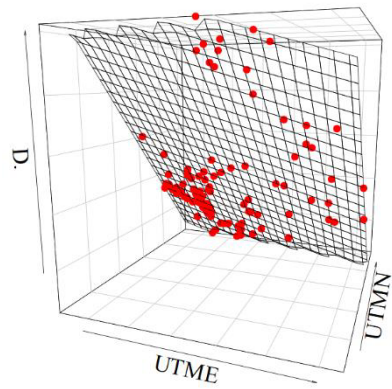
(a)



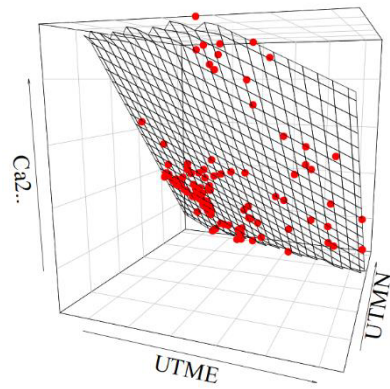
(b)



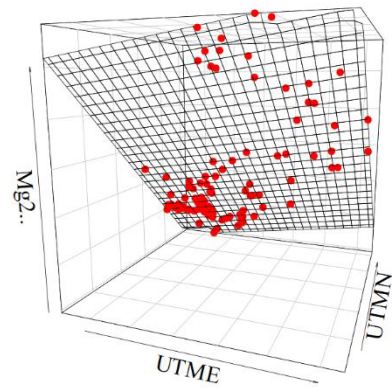
(c)



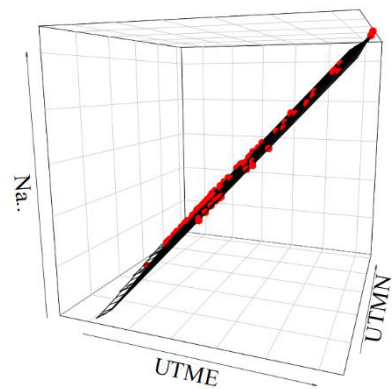
(d)



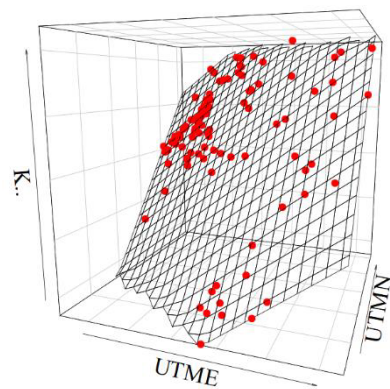
(e)



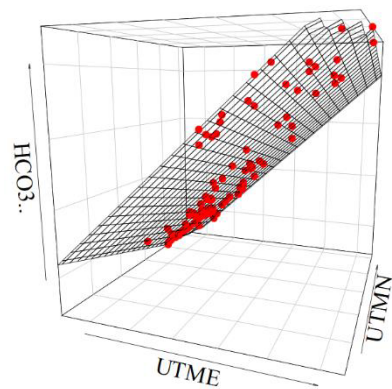
(f)



(g)

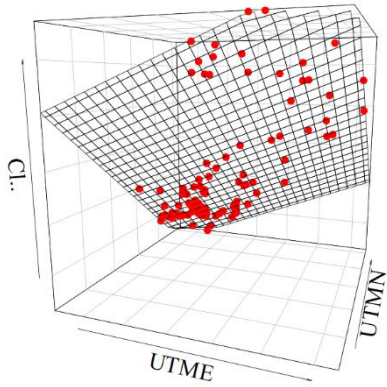


(h)

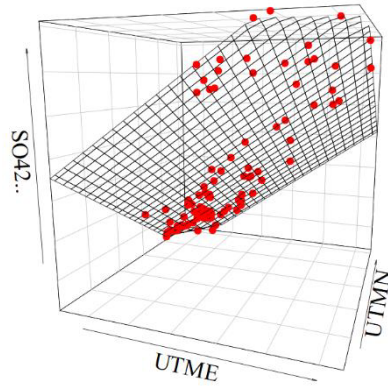


(i)

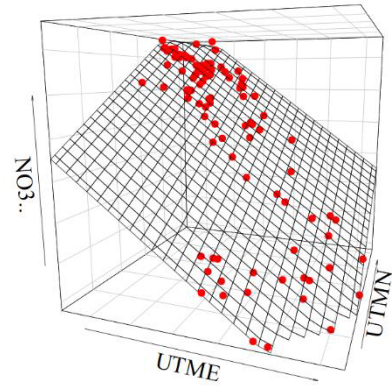
**PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS EM RELAÇÃO A MALHA  
(UTME X UTMN) – *TREND* 1ª ORDEM – JANEIRO (CONTINUA)**



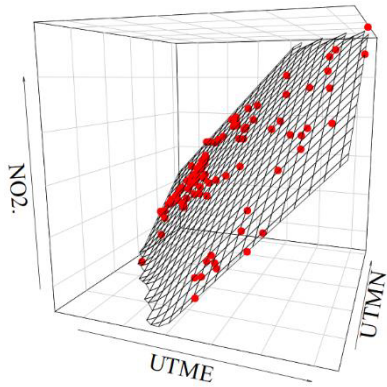
(j)



(k)



(l)

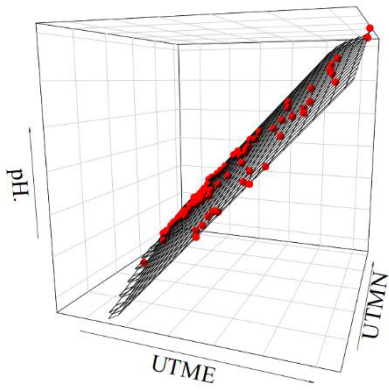


(m)

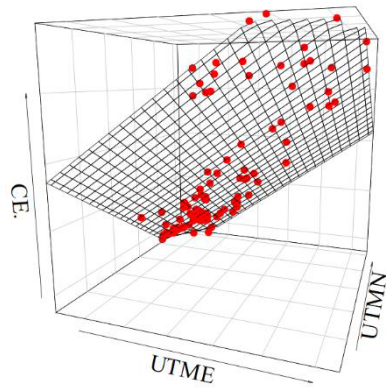
Fonte: Elaborado pelo Autor.

**APÊNDICE L – PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS EM RELAÇÃO A MALHA  
(UTME X UTMN) – TREND 1ª ORDEM – JULHO**

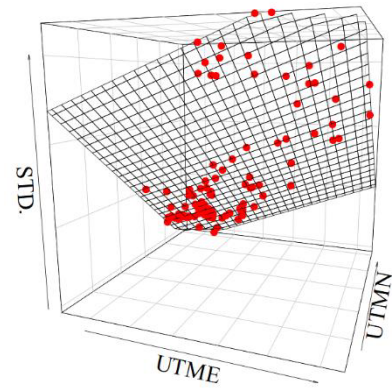
a. pH, b. CE, c. STD, d. D, e. Ca<sup>2+</sup>, f. Mg<sup>2+</sup>, g. Na<sup>+</sup>, h. K<sup>+</sup>, i. HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, j. Cl<sup>-</sup>, k. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, l. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, m. NO<sub>2</sub><sup>-</sup>



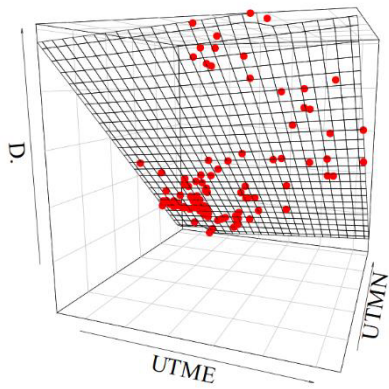
(a)



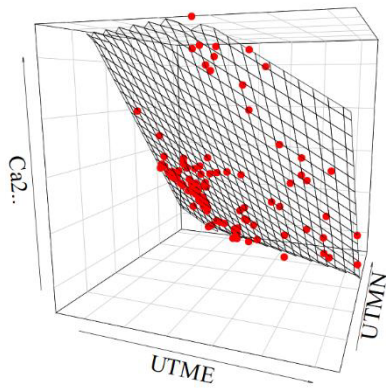
(b)



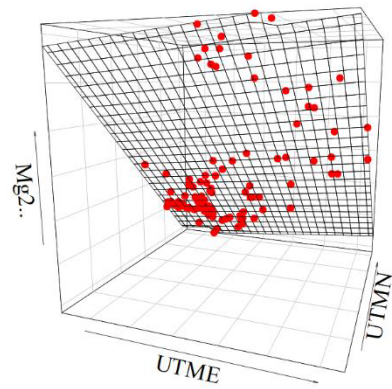
(c)



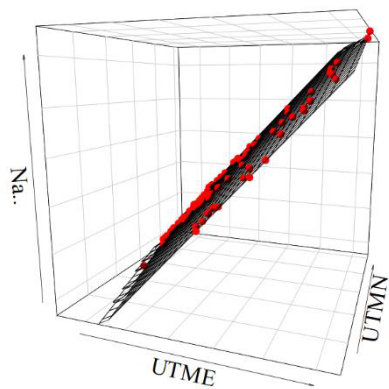
(d)



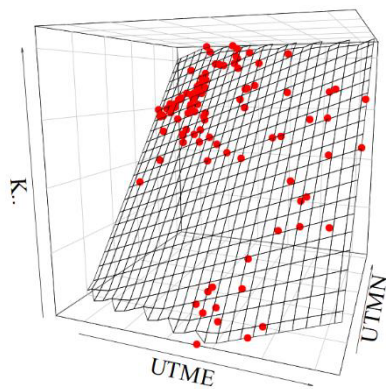
(e)



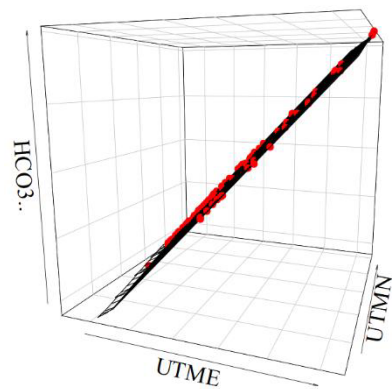
(f)



(g)



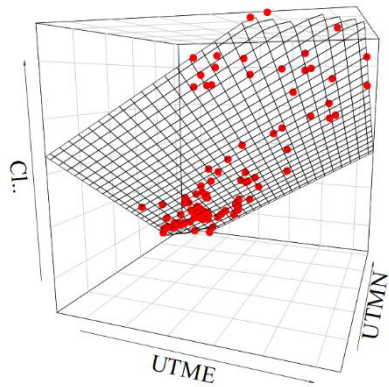
(h)



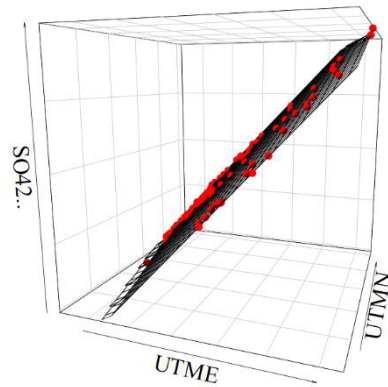
(i)



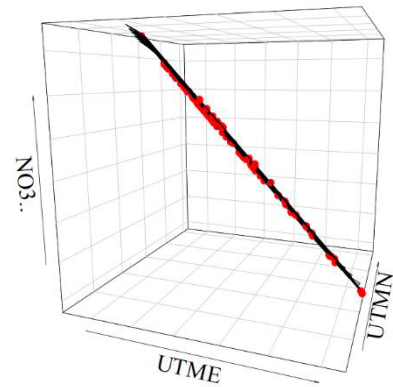
**PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS EM RELAÇÃO A MALHA  
(UTME X UTMN) – *TREND* 1ª ORDEM – JULHO (CONTINUAÇÃO)**



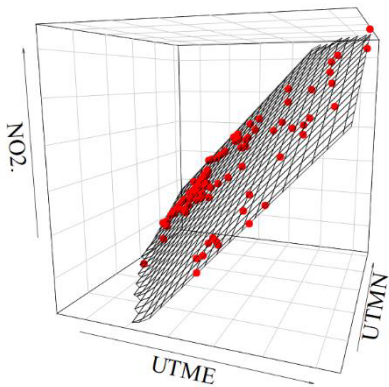
(j)



(k)



(l)

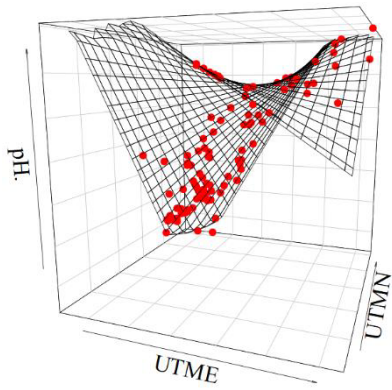


(m)

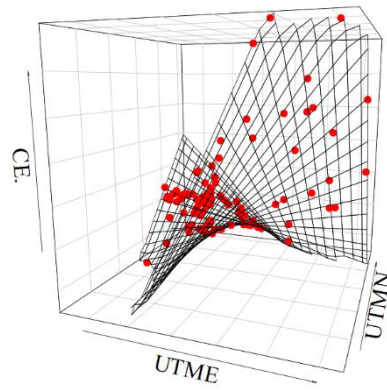
Fonte: Elaborado pelo Autor.

**APÊNDICE M – PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS EM RELAÇÃO A MALHA  
(UTME X UTMN) – TREND 2ª ORDEM – JANEIRO**

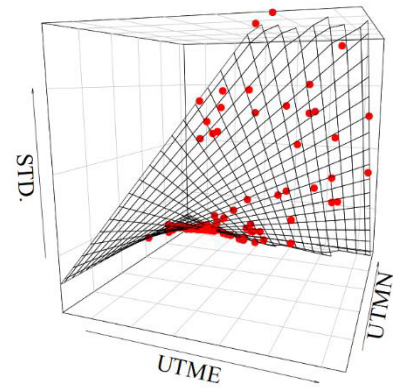
a. pH, b. CE, c. STD, d. D, e.  $\text{Ca}^{2+}$ , f.  $\text{Mg}^{2+}$ , g.  $\text{Na}^+$ , h.  $\text{K}^+$ , i.  $\text{HCO}_3^-$ , j.  $\text{Cl}^-$ , k.  $\text{SO}_4^{2-}$ , l.  $\text{NO}_3^-$ , m.  $\text{NO}_2^-$



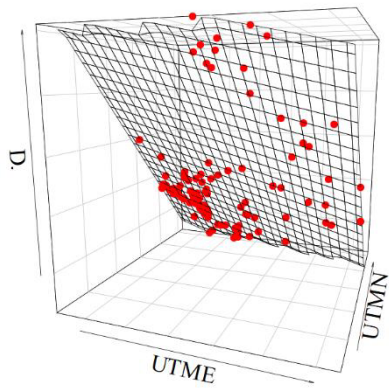
(a)



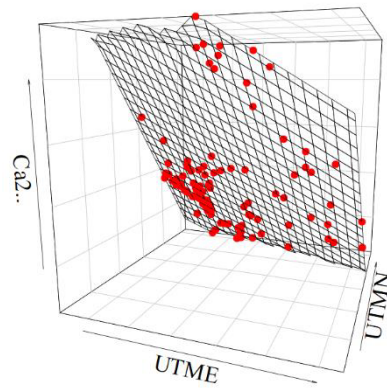
(b)



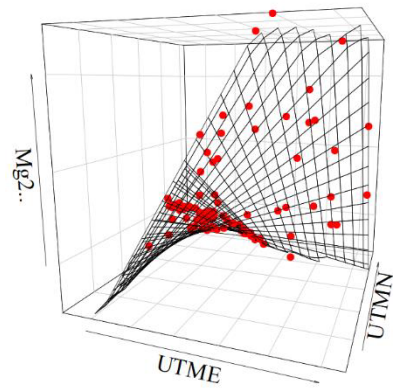
(c)



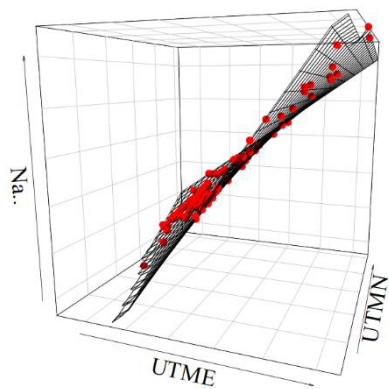
(d)



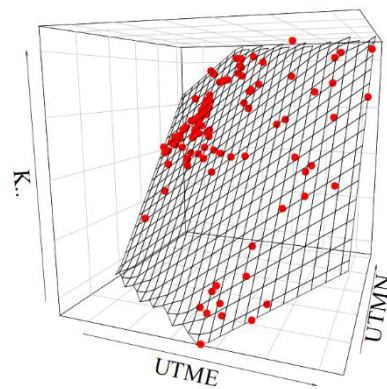
(e)



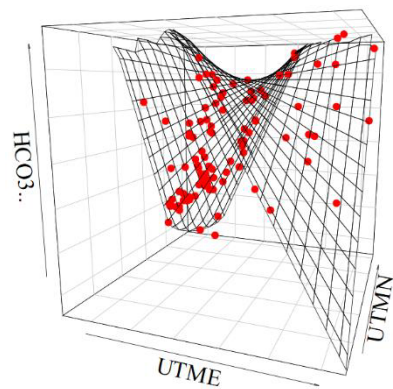
(f)



(g)

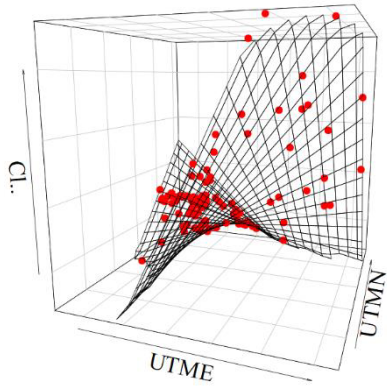


(h)

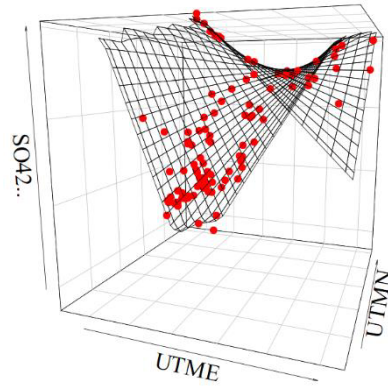


(i)

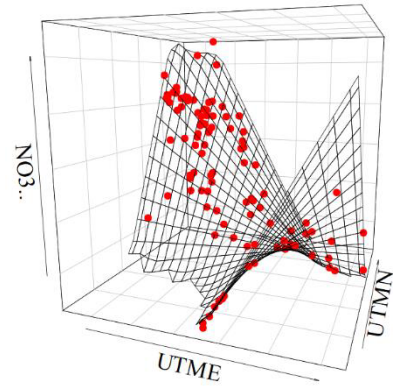
**PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS EM RELAÇÃO A MALHA  
(UTME X UTMN) – *TREND* 2ª ORDEM – JANEIRO (CONTINUA)**



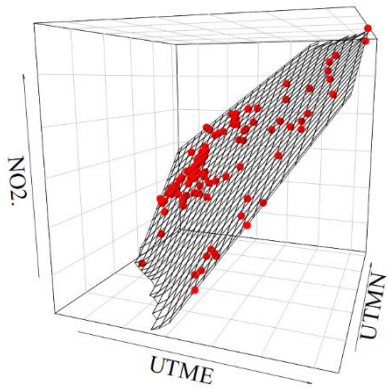
(j)



(k)



(l)

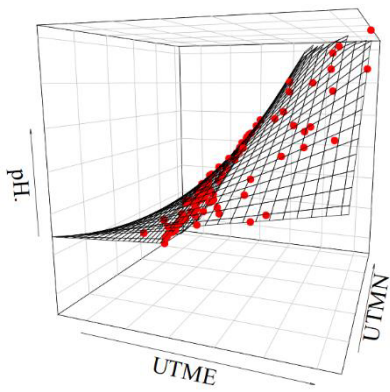


(m)

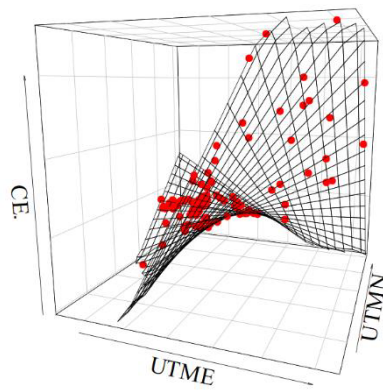
Fonte: Elaborado pelo Autor.

**APÊNDICE N – PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS EM RELAÇÃO A MALHA  
(UTME X UTMN) – TREND 2ª ORDEM – JULHO**

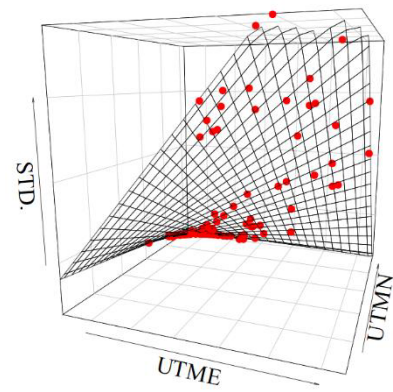
a. pH, b. CE, c. STD, d. D, e. Ca<sup>2+</sup>, f. Mg<sup>2+</sup>, g. Na<sup>+</sup>, h. K<sup>+</sup>, i. HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, j. Cl<sup>-</sup>, k. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, l. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, m. NO<sub>2</sub><sup>-</sup>



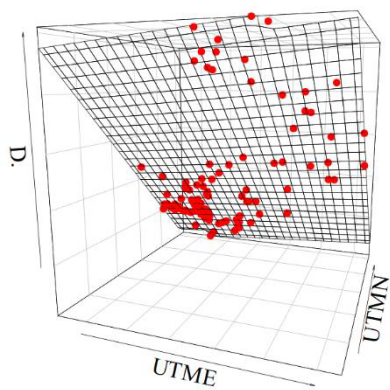
(a)



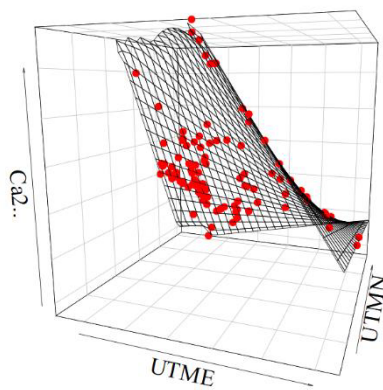
(b)



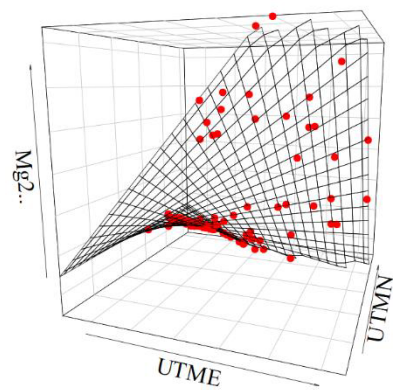
(c)



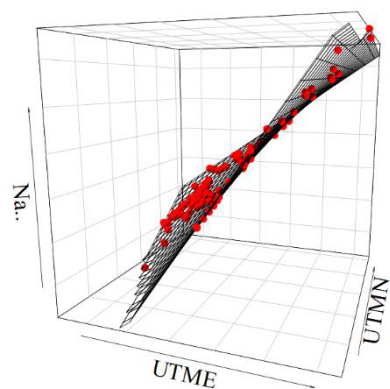
(d)



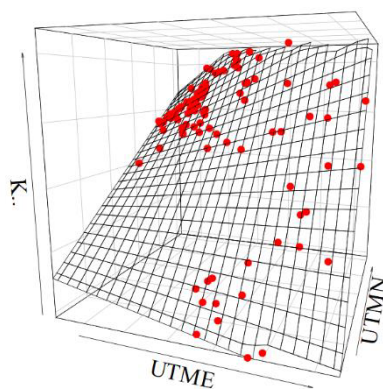
(e)



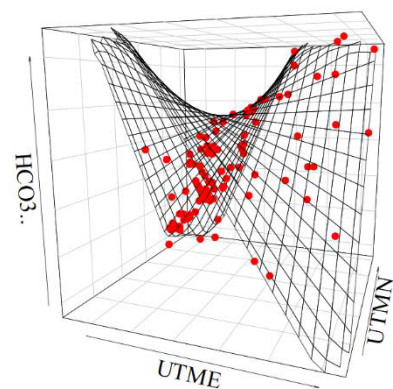
(f)



(g)

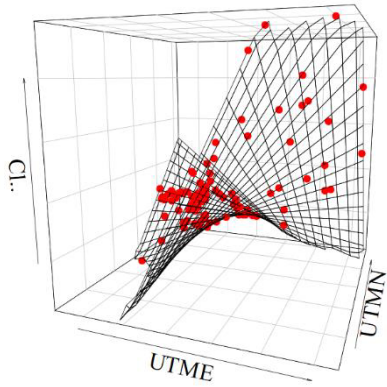


(h)

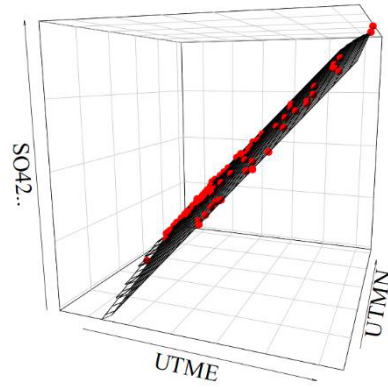


(i)

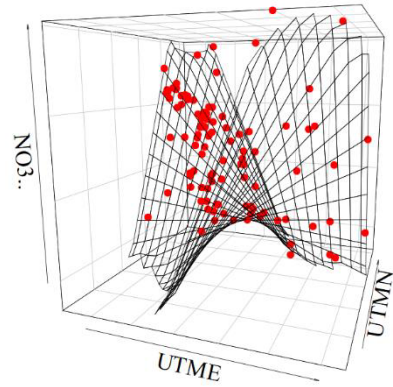
**PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS EM RELAÇÃO A MALHA  
(UTME X UTMN) – *TREND* 2ª ORDEM – JULHO (CONTINUA)**



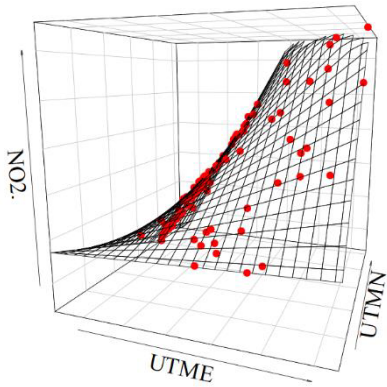
(j)



(k)



(l)

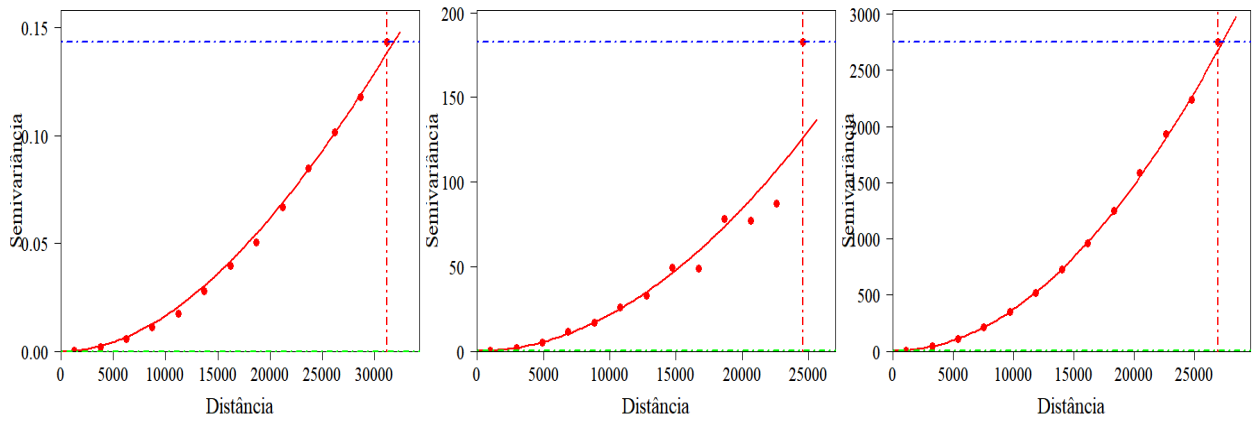


(m)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

## APÊNDICE O – VARIGRAMAS PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS – JANEIRO

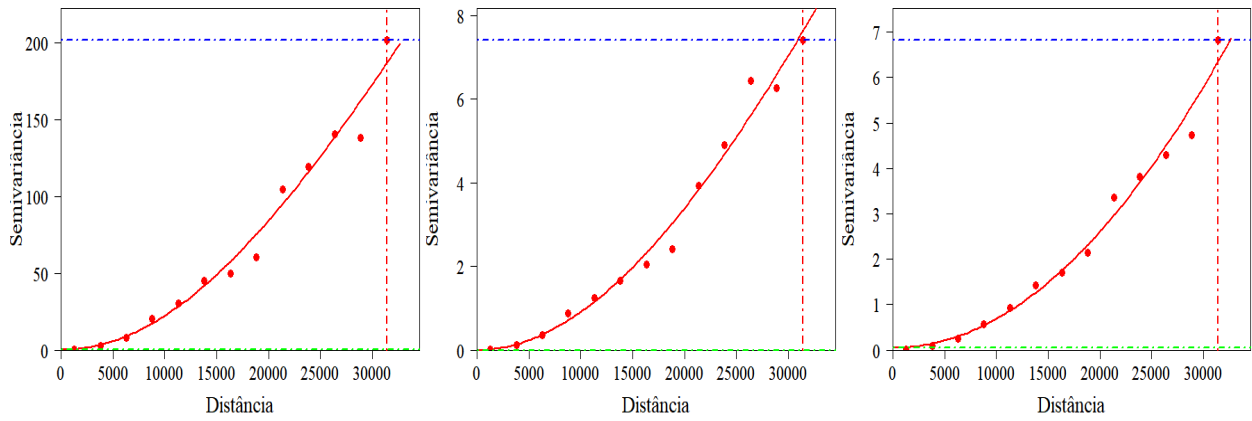
a. pH, b. CE, c. STD, d. D, e.  $\text{Ca}^{2+}$ , f.  $\text{Mg}^{2+}$ , g.  $\text{Na}^+$ , h.  $\text{K}^+$ , i.  $\text{HCO}_3^-$ , j.  $\text{Cl}^-$ , k.  $\text{SO}_4^{2-}$ , l.  $\text{NO}_3^-$



(a)

(b)

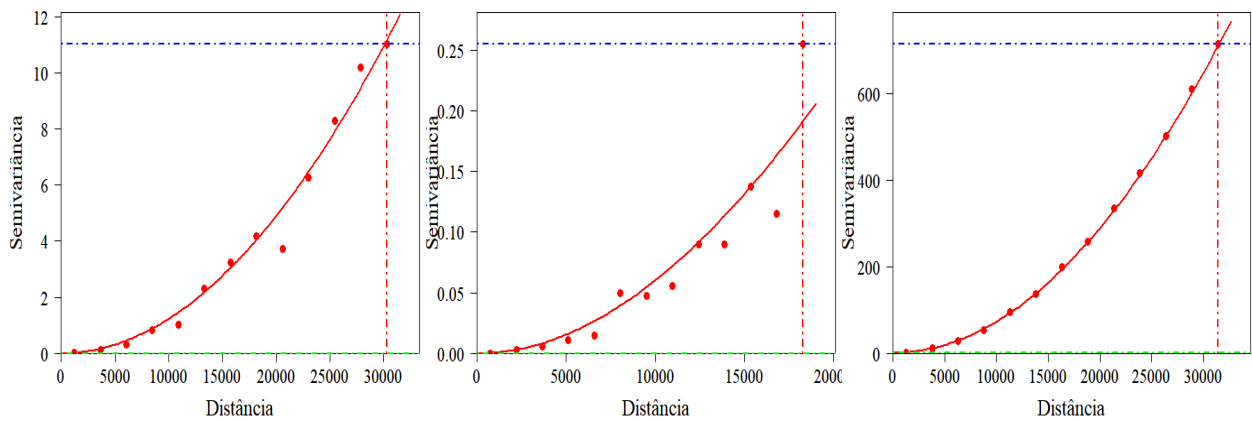
(c)



(d)

(e)

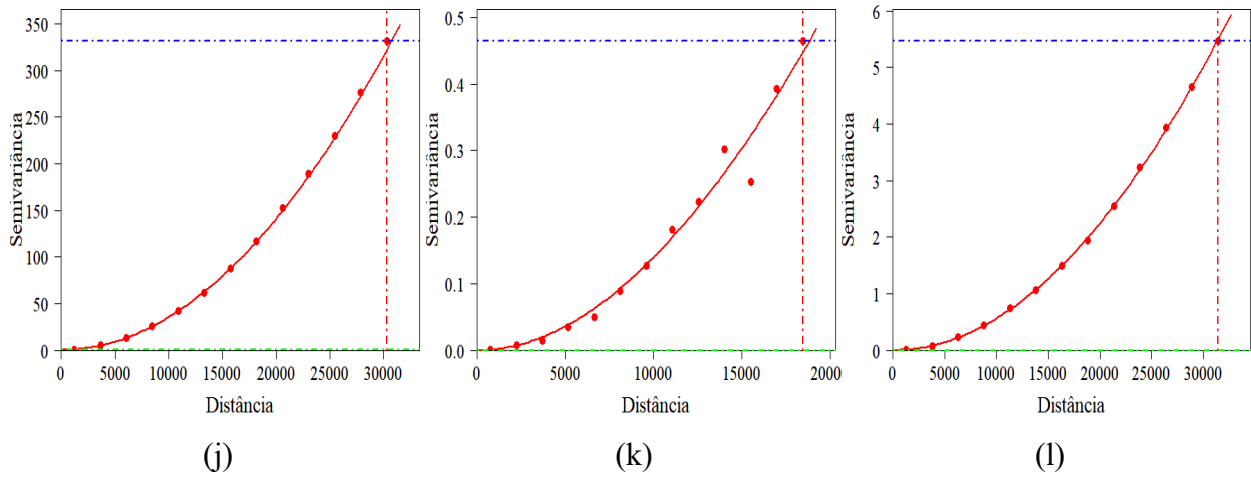
(f)



(g)

(h)

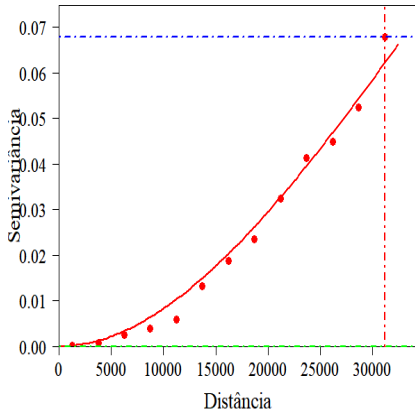
(i)

**VARIGRAMAS PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS – JANEIRO (CONTINUA)**

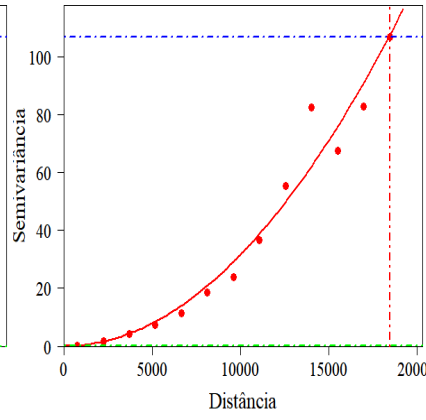
Fonte: Elaborado pelo Autor.

**APÊNDICE P – VARIGRAMAS PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS – JULHO**

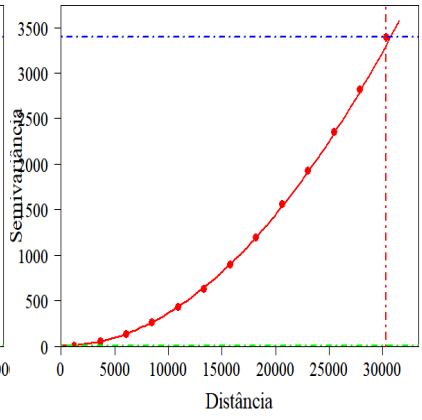
a. pH, b. CE, c. STD, d. D, e. Ca<sup>2+</sup>, f. Mg<sup>2+</sup>, g. Na<sup>+</sup>, h. K<sup>+</sup>, i. HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, j. Cl<sup>-</sup>, k. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, l. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>



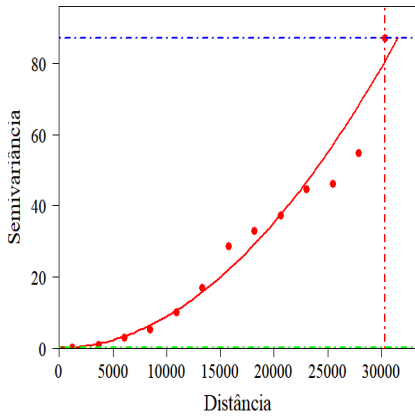
(a)



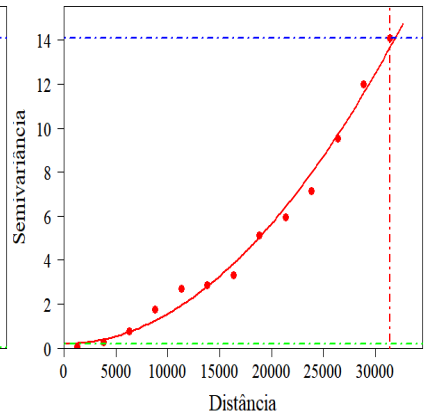
(b)



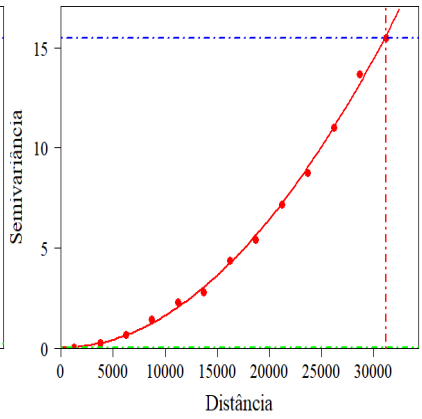
(c)



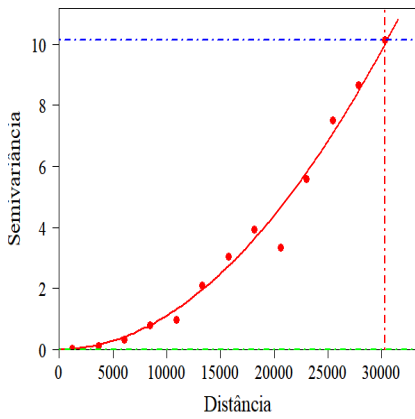
(d)



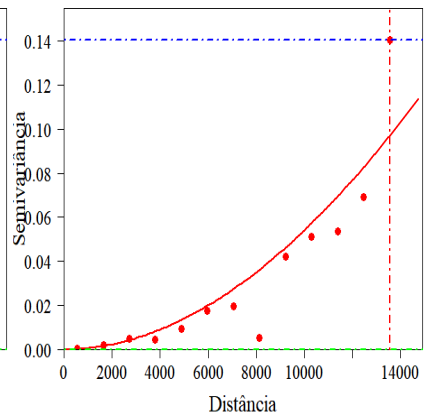
(e)



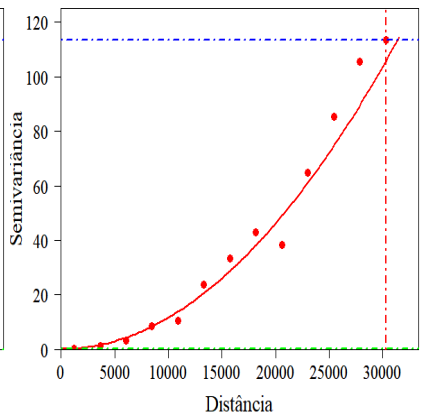
(f)



(g)

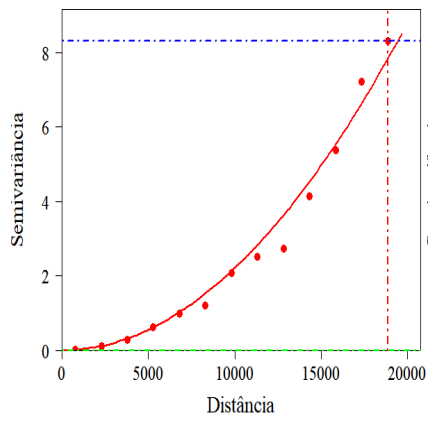


(h)

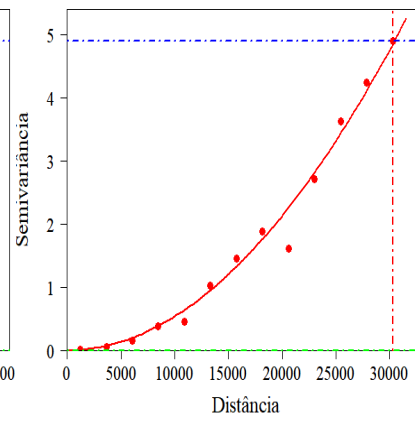


(i)

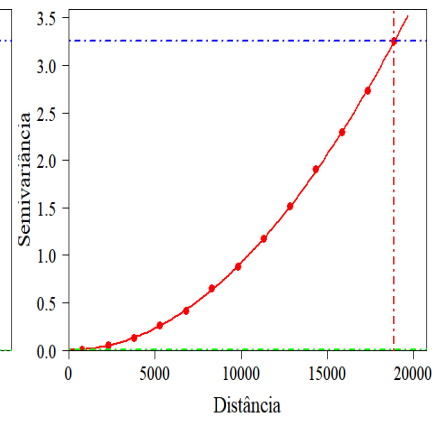


**VARIGRAMAS PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS – JULHO (CONTINUA)**

(j)



(k)



(l)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

**APÊNDICE Q – DESCRITIVO GEOESTATÍSTICO – JANEIRO**

Parâmetro	Dados	Direção	Modelo	Peso	Erro Padrão	Nugget	Sill	Range	Valor Otimizado	Lags no Rangel	Lags no Sill	Fator de Anisotropia
pH	1st trend	45°	Cubic	Equal	0,060	0,000	0,008	31081,179	0,0000042	13	13	0,1583
	1st trend	<b>135°</b>	Cubic	Equal	#N/D	0,000	0,974	<b>196361,283</b>	0,0000765	13	13	
CE	1st trend	<b>65°</b>	Cubic	Cressie	0,006	0,160	11769,780	<b>612772,331</b>	12,4723343	13	13	0,6162
	1st trend	155°	Wave	Cauchy	0,003	5,2141273878,078	377578,835	0,2736380		13	13	
STD	1st trend	80°	Wave	Cressie	0,003	0,353	76857,344	238158,233	60,2799136	13	13	0,9635
	1st trend	<b>170°</b>	Cauchy	Cressie	0,004	3,893	453921,729	<b>247173,056</b>	0,0781764	13	13	
D	1st trend	25°	Wave	Cressie	0,009	0,855	39025,187	56235,871	0,1932898	13	13	0,9460
	1st trend	<b>115°</b>	Cauchy	Cressie	0,013	0,155	1612,435	<b>59444,476</b>	16,8535508	13	13	
Ca <sup>2+</sup>	1st trend	25°	Wave	Cressie	0,009	0,055	2019,035	49212,362	0,1817568	13	13	0,2731
	1st trend	<b>115°</b>	Cubic	Equal	0,015	0,000	45,661	<b>180223,032</b>	1,3763766	13	13	
Mg <sup>2+</sup>	1st trend	<b>80°</b>	Cubic	Equal	0,023	0,000	3,194	<b>131691,938</b>	0,0253732	13	13	0,8255
	1st trend	170°	Cauchy	Cressie	0,004	0,022	492,655	108713,301	0,1173499	13	13	
Na <sup>+</sup>	1st trend	65°	Gneiting	Cressie	0,004	0,069	4252,713	196626,125	0,4172327	13	13	0,1092
	1st trend	<b>155°</b>	Cubic	Equal	0,002	0,000	5746,086	<b>1800184,518</b>	3,1929556	13	13	
K <sup>+</sup>	1st trend	<b>70°</b>	Cubic	Equal	0,029	0,000	4,287	<b>216580,868</b>	0,0076352	13	13	0,2684
	1st trend	160°	Cubic	Equal	0,003	0,000	617,21	807061,364	0,0356165	10	10	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1st trend	25°	Gaussian	Cressie	0,014	0,013	802,637	124034,268	11,4574481	13	13	0,4070
	1st trend	<b>115°</b>	Gaussian	Cressie	0,005	1,253	67052,799	<b>304767,812</b>	0,7555398	13	13	
Cl <sup>-</sup>	1st trend	65°	Cubic	Cressie	0,011	0,013	172,678	261579,964	12,8820430	13	13	0,7486
	1st trend	<b>155°</b>	Cauchy	Cressie	0,004	0,413	86035,714	<b>349424,015</b>	0,2692136	13	13	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1st trend	<b>45°</b>	Cubic	Equal	0,015	0,000	7,476	<b>186677,610</b>	0,0069179	13	13	0,3683
	1st trend	135°	Wave	Equal	0,013	0,014	652,031	68744,19	0,1403712	13	13	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1st trend	40°	Gneiting	Equal	0,289	0,001	0,280	27994,734	0,0004119	13	13	0,4958
	1st trend	<b>130°</b>	Wave	Equal	0,019	0,001	108,137	<b>56462,353</b>	0,0081354	13	13	

Obs.: Principais direções (maior *range*) em negrito. #N/D – Não disponível. NO<sub>2</sub> não foi possível calcular.

### APÊNDICE R – DESCRITIVO GEOESTATÍSTICO – JULHO

Parâmetro	Trend	Direção	Modelo	Peso	Erro Padrão	Nugget	Sill	Range	Valor Otimizado	Lags no Range	Lags no do Sill	Fator de Anisotropia
pH	1st trend	45°	Gneiting Equal	#N/D	0,0000	0,4197	40332,8340	0,0000055	13	13	13	0,3264
	1st trend	135°	Cubic Equal	#N/D	0,0000	0,2014	<b>123586,6774</b>	0,0000866	13	13	13	
CE	1st trend	40°	GaussianCressie	0,026	0,0656	16039,8433	<b>225012,8722</b>	12,0549878	13	13	13	0,9969
	1st trend	130°	GaussianCressie	0,007	7,6332	267249,0471	224315,6147	0,5541549	13	13	13	
STD	1st trend	65°	Cubic Cressie	0,009	0,1478	2579,6264	319079,8995	13,5955836	13	13	13	0,9008
	1st trend	155°	Cauchy Cressie	0,004	4,2787	906340,2747	<b>354214,0597</b>	0,2557836	13	13	13	
D	1st trend	85°	Cauchy Cressie	0,015	0,0757	11685,1612	<b>256850,7612</b>	26,0165576	13	13	13	0,1113
	1st trend	175°	Wave Cressie	0,015	1,7163	8178,0680	28598,8253	0,1243361	13	13	13	
Ca <sup>2+</sup>	1st trend	35°	Cauchy Cressie	0,004	0,0592	14334,1661	202696,3086	0,1806391	13	13	13	0,4232
	1st trend	125°	Gaussian Equal	0,002	0,1989	3135,2371	<b>478954,4761</b>	2,5213753	13	12	12	
Mg <sup>2+</sup>	1st trend	50°	Cubic Equal	0,003	0,0000	504,2225	642057,8780	0,0939719	13	13	13	0,1438
	1st trend	140°	Wave Equal	0,005	0,0228	824,8743	<b>92303,5328</b>	0,5252298	13	13	13	
Na <sup>+</sup>	1st trend	65°	Cauchy Cressie	0,003	0,0880	14309,2502	230450,5515	0,3108360	13	13	13	0,1158
	1st trend	155°	Cubic Equal	0,002	0,0000	6291,7146	<b>1990358,0325</b>	2,3491378	13	13	13	
K <sup>+</sup>	1st trend	45°	Cubic Equal	0,047	0,0000	3,2113	<b>197348,4043</b>	0,0034473	13	13	13	0,7548
	1st trend	135°	Gneiting Equal	0,011	0,0079	3,5298	570,9806	0,0942769	13	13	13	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1st trend	65°	Wave Cressie	0,011	0,6922	29924,9911	67725,4339	0,4279839	13	13	13	0,1173
	1st trend	155°	Cauchy Cressie	0,008	0,0762	76897,7940	<b>577306,5538</b>	22,0224830	13	13	13	
Cl <sup>-</sup>	1st trend	55°	Cubic Equal	0,003	0,0000	16657,5066	<b>2288683,6172</b>	1,7875286	13	13	13	0,1518
	1st trend	145°	Cauchy Cressie	0,004	0,4282	81102,8863	347514,5421	0,5815817	13	13	13	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1st trend	65°	GneitingCressie	0,004	0,0409	2014,745	178589,176	0,3256699	13	13	13	0,1077
	1st trend	155°	Cubic Equal	0,003	0,0000	2124,674	<b>1658835,573</b>	0,5570112	13	13	13	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1st trend	60°	Gneiting Equal	0,005	0,0030	134,3763	<b>120482,3975</b>	0,0014973	13	13	13	0,2004
	1st trend	150°	Gneiting Equal	#N/D	0,0000	0,4284	24148,7372	0,0124122	13	13	10	

Obs.: Principais direções (maior *range*) em negrito; #N/D – Não disponível. NO<sub>2</sub> não foi possível calcular.