

Gabriel Ramiro Mesquita

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DO SISTEMA AQUÍFERO
IÇÁ-SOLIMÕES EM CRUZEIRO DO SUL - ACRE**

**Trabalho Final de Curso
(Geologia)**

Gabriel Ramiro Mesquita

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DO SISTEMA AQUÍFERO
IÇÁ-SOLIMÕES EM CRUZEIRO DO SUL - ACRE**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Gerson Cardoso da Silva Júnior

Talita Azevedo da Silva

MESQUITA, Gabriel Ramiro

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DO SISTEMA AQUÍFERO IÇÁ-SOLIMÕES EM CRUZEIRO DO SUL – ACRE/ Gabriel Ramiro Mesquita- - Rio de Janeiro: UFRJ / IGEO, 2018.

77 p. : il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2018.

Orientadores: Gerson Cardoso da Silva Júnior e Talita Azevedo da Silva. 1. Geologia. 2. Hidrogeologia – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Everton Marques Bongioiolo. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

Gabriel Ramiro Mesquita

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DO SISTEMA AQUÍFERO IÇÁ-
SOLIMÕES EM CRUZEIRO DO SUL - ACRE

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Gerson Cardoso da Silva Júnior

Talita Azevedo da Silva

Aprovada em:

Por:

Orientador: Gerson Cardoso da Silva Júnior (UFRJ)

Orientadora: Talita Azevedo da Silva (UFRJ)

Claudio Limeira Mello (UFRJ)

Kátia Leite Mansur (UFRJ)

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a PETROBRAS pelo financiamento do Projeto Tikuna através do Fundo de Participação Especial da ANP, e pelo financiamento e liberação do uso dos resultados das análises químicas das amostras de água utilizadas nesse estudo.

Agradeço a todos os professores do Departamento de Geologia da UFRJ por todo o conhecimento transmitido ao longo da minha graduação, e que ajudaram na produção desse trabalho, em especial ao Professor Gerson Cardoso da Silva Júnior pelo incentivo quanto ao tema do estudo e pela orientação dada ao longo da elaboração do mesmo. Sou grato pela coorientação da geóloga Talita Azevedo da Silva, que devido a convivência em laboratório foi responsável por diversas discussões construtivas sobre o tema do trabalho e pela orientação, desde os detalhes até os assuntos mais complexos da monografia.

Gostaria de agradecer a toda a minha família, minha mãe Alexandra, meu pai Dila, meu irmão João Victor e minha madrasta Renata pelo apoio e compreensão ao longo dessa minha extensa jornada pela universidade. Tenho certeza que minha mãe está muito feliz com a conclusão dessa etapa na minha vida.

Agradeço à UFRJ pelas oportunidades de aprendizado, não só acadêmicos como profissionais, sociais e culturais e à equipe do laboratório de Hidrogeologia (HIDROGEO). A universidade me formou como geólogo e como cidadão crítico.

E por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer aos amigos que conquistei durante a jornada de quase 10 anos na universidade, e toda a vivência que tive com eles no campus e fora dele. Foram momentos inesquecíveis que construíram quem eu sou hoje, sem eles eu não estaria aqui. Em especial Gustavo Miranda, Emanuelle Schiavon, Victor Corrêa, Ingrid Almeida, Ricardo Sardinha, Lorena Martins e Carolina Salvador.

A todos, muito obrigado!

Resumo

MESQUITA, Gabriel Ramiro. **Caracterização Hidrogeoquímica do Sistema Aquífero Içá-Solimões em Cruzeiro do Sul – Acre**. Rio de Janeiro, 2018. 73 p. Trabalho de Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

A água subterrânea constitui o maior reservatório de água doce em estado líquido do planeta. Os aquíferos são utilizados para o abastecimento de água em diversas regiões, cidades e países ao redor do mundo. A cidade de Cruzeiro do Sul, no estado do Acre, é abastecida majoritariamente por águas subterrâneas, somando 73% de toda água que abastece a cidade e, de acordo com a Agência Nacional de Águas, a exploração de água subterrânea na cidade vai aumentar. Estudos hidrogeológicos realizados na região identificaram na cidade a ocorrência do Sistema Aquífero Içá-Solimões. O presente estudo baseou-se no levantamento de dados de poços tubulares cadastrados no portal SIAGAS da CPRM, no cadastro de poços fornecidos pelo departamento de abastecimento do Acre e também nas análises químicas obtidas durante uma campanha de campo realizada na região, visando compreender melhor as características de funcionamento desse sistema. Através dos resultados desse estudo, foi possível identificar pelo menos três camadas aquíferas no sistema, abrigadas em arenitos que se intercalam com argilitos. O mapa de nível piezométrico do sistema aquífero mostrou uma forte influência da parte livre do Sistema Aquífero, com fluxo das áreas mais altas da cidade em direção aos rios. A interpretação das análises químicas mostrou a predominância de águas bicarbonatadas-sódicas, oriundas provavelmente da dissolução de minerais silicáticos.

Palavras-chave: Hidrogeologia, aquífero Içá, hidroquímica.

Abstract

MESQUITA, Gabriel Ramiro. **Hydrogeochemical characterization of the Içá Aquifer System in Cruzeiro do Sul - Acre**. 2018. 73 p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Groundwater is largest freshwater reservoir of the planet. Aquifers are used for water supply in various regions, cities and countries around the world. The city of Cruzeiro do Sul, in the state of Acre, is mostly supplied by groundwater, which accounts for 73% of all water used in the city, and, according to the Brazilian National Water Agency (ANA), the exploitation of groundwater in the city will increase. Hydrogeological studies in the region identified the occurrence of the Içá-Solimões Aquifer System in the city. In order to achieve a better understanding of the system's characteristics and behavior, the present study was based on the collection of data from deep tubular wells registered in the SIAGAS portal of CPRM, the wells' survey supplied by the Water Department of Acre and also with the chemical analyses obtained through a sampling field survey. Through the results of this study, it was possible to identify at least three aquifer layers in the system, present in sandstones intercalated with argillites. The piezometric map of the aquifer system showed a strong influence of the free portion of the system, with groundwater flowing from the city's highest areas towards the Juruá river down below. The chemical analyses showed the predominance of sodium-bicarbonate waters, probably due to the dissolution of silica minerals.

Keywords: Hydrogeology, Içá aquifer, Hydrochemistry

Lista de Figuras

Figura 1: Croqui do Sistema de Abastecimento de Cruzeiro do Sul projetado para 2025. Fonte: ANA (2010).....	3
Figura 2: Mapa de localização e acessos de Cruzeiro do Sul.....	5
Figura 3: Evolução populacional de Cruzeiro do Sul ao longo dos anos. Fonte: IBGE (2018).6	
Figura 4: Pirâmide Etária de Cruzeiro do Sul. Fonte: IBGE (2018).	7
Figura 5: Ocupação da população por setores ao longo dos anos. Fonte: IBGE (2018).	8
Figura 6: Localização da Bacia do Acre. Fonte: Hasui (2012).	10
Figura 7: Mapa geológico do Acre com ênfase na região de Cruzeiro do Sul, serra do Divisor e as Falhas de Batã e Oeste de Batã. Fonte: Dados retirados do IBGE (2005).....	11
Figura 8: Seção geológica esquemática da Bacia do Acre. Fonte: FEIJÓ; SOUZA apud CPRM (2015).	12
Figura 9: Carta estratigráfica da Bacia do Acre. Fonte: CUNHA (2007).	13
Figura 10: Classificação climática de Köppen atualizada. Fonte: PEEL (2007).....	20
Figura 11: Células atmosféricas. Fonte: NOAA (2018).	21
Figura 12: Normal pluviométrica de Cruzeiro do Sul. Fonte: Dados obtidos do INMET (2018).	22
Figura 13: Variação sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ITCZ). Fonte: BBC (2018).	23
Figura 14: Temperatura média mensal na região de Cruzeiro do Sul. Fonte: INMET (2018).24	
Figura 15: Unidades Geomorfológicas de Cruzeiro do Sul. Fonte: Adaptado da CPRM (2006).	26
Figura 16: Unidades Hidrogeológicas do Acre. Fonte: CPRM (2015) modificado pelo autor.27	
Figura 17: Seção geológica do Aquífero Içá. Fonte: CPRM (2015)	29
Figura 18: Mapa de poços e seções geológicas desse estudo e da CPRM no livro de Geodiversidade do Acre.	34
Figura 19: Poço tubular utilizado para coleta de amostra	37
Figura 20: Poço raso (BRAC08p)	37
Figura 21: Seção geológica de Cruzeiro do Sul com base nos poços investigados na presente pesquisa, com indicação do NE dos poços.	44
Figura 22: Mapa de isopiezas do aquífero freático de Cruzeiro do Sul. As setas indicam a direção de fluxo.	46
Figura 23: Diagrama de Gibbs: a) considerando a razão entre Na^+ e a soma de Na^+ e Ca^{+2} , b) considerando a razão entre Cl^- e a soma entre Cl^- e HCO_3^-	52
Figura 24: Diagrama de Piper das análises químicas das amostras.....	53
Figura 25: Diagrama de Schoeller-Berkaloff da água subterrâneas e do rio Juruá (JR234) na área de estudo.	54
Figura 26: Mapa de diagramas de Stiff.	55
Figura 27: Gráfico de $(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$ versus $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{-2})$	58
Figura 28: gráfico de teores de $\text{rNa}^+/\text{rCl}^-$	59
Figura 29: Diagrama de teores de $\text{rCa}^{+2} + \text{rMg}^{+2}$ pela soma total dos cátions.	60

Lista de Tabelas

Tabela 1: Tabela de Poços para construção da seção geológica.....	32
Tabela 2: Tabela de pontos para interpolação da superfície piezométrica.....	35
Tabela 3: Identificação do projeto e identificação correspondente do SIAGAS e suas profundidades.....	38
Tabela 4: Parâmetros determinados em laboratório e respectivas metodologias	39
Tabela 5: Poços e pontos nos rios e correspondentes cotas de NE.	43
Tabela 6: Tabela de comparação de valores físico-químicos obtidos in situ e em laboratório. (+) significa variação positiva e (-) significa variação negativa.....	47
Tabela 7: Tabela de concentração dos principais íons por amostra.	49
Tabela 8: Tabela de concentração dos principais íons em meq/L.....	49
Tabela 9: Tabela de coeficiente de correlação entre os íons.	50

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa e motivação	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Localização e acesso	4
1.4 Aspectos socioeconômicos	6
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	9
2.1 Geologia Regional	9
2.1.1.BACIA SEDIMENTAR DO ACRE	9
2.1.2 EVOLUÇÃO TECTÔNICA E ESTRATIGRAFIA DA BACIA DO ACRE	12
2.2 Aspectos Fisiográficos	20
2.2.1 CLIMA	20
2.2.2 GEOMORFOLOGIA	23
2.2.3 HIDROGEOLOGIA	26
3. METODOLOGIA	30
3.1 Inventário de poços	30
3.2 Seção geológica	31
3.3 Piezometria	34
3.4 Hidroquímica	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 Seção geológica	40
4.2 Piezometria	42
4.3 Hidroquímica	45
4.3.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS (MEDIÇÕES <i>IN SITU</i>)	45
4.3.2 ANÁLISES QUÍMICAS DE LABORATÓRIO	48
4.3.3 DIAGRAMA DE GIBBS	50
4.3.4 DIAGRAMA DE PIPER.....	51
4.3.5 DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF	53
4.3.6 DIAGRAMAS DE STIFF	55
4.3.7 DIAGRAMAS BINÁRIOS	57
5. CONCLUSÕES	61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXO A – Tabela geral de poços	66
ANEXO B – Mapa de localização dos poços	67

1. INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa e motivação

A água está presente no sistema solar desde seu início, quando este era apenas um grande disco de gases e poeira e, por isso, ela provavelmente também está na Terra desde sua origem. Contudo, segundo Jewitt e Young (2015), a maior parte da água presente hoje na Terra se originou de corpos extraterrestres há cerca de 3,9 bilhões de anos e desde então vem exercendo um papel fundamental no planeta, tanto representando um elemento chave para o surgimento e manutenção da vida, como em processos geológicos que transformam continuamente a Terra.

Por ser essencial para a manutenção da vida, a água é historicamente um elemento central no desenvolvimento e na dinâmica da sociedade. Para se estabelecer uma comunidade é preciso que se tenha acesso a água. No mundo atual, a necessidade da água vai muito além do consumo direto, a água é utilizada para a higiene, recreação, na agricultura e em processos industriais diversos.

O Projeto Tikuna, financiado pela PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S.A) e pela ANP (Agência Nacional de Petróleo) visa compreender os mecanismos e a dinâmica que regem os aquíferos da região amazônica, e para isso conta com o apoio das Universidades, sendo uma delas a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) onde atua em parceria com o Laboratório de Hidrogeologia (HIDROGEO), do qual faço parte da equipe. O projeto Tikuna possui dados hidrogeológico de diversas regiões da Amazônia, dentre eles dados da região de Cruzeiro do Sul – Acre, que foi escolhido para dar origem ao atual trabalho.

O município de Cruzeiro do Sul é o segundo município mais populoso do estado do Acre e está atualmente em um expressivo processo de crescimento populacional. Com isso,

ocorre também o aumento da demanda de água, que de acordo com o Atlas - Abastecimento Urbano de Água da ANA - Agência Nacional de Águas (2010), foi estimado em 193 L/s para o ano de 2015. Isso corresponde não só ao consumo por parte da população como também para a manutenção de serviços básicos na cidade. Ainda de acordo com a ANA, a maior parte do abastecimento de água de Cruzeiro do Sul é de origem subterrânea, equivalente a 73% do abastecimento total do município, captada através de poços espalhados pela região, sendo o restante do abastecimento proveniente de águas superficiais do Igarapé São Salvador.

Pelo fato de os mananciais de água do estado comumente carregarem um grande aporte de sedimentos em suspensão, o uso dessas águas para o consumo humano é possível, porém requer um processo custoso de tratamento. Levando esse fato em consideração, as autoridades da Região de Cruzeiro do Sul optaram em suprir o aumento da demanda por água na região expandindo o uso de poços, ou seja, aumentando a exploração de águas subterrâneas com a perfuração de novos poços (ANA, 2010). Segundo a mesma instituição, até 2025 a previsão é de investimento de 4 milhões de reais na perfuração de novos poços e de restringir o uso de água superficial do Igarapé São Salvador, aumentando ainda mais a relevância da extração de águas dos sistemas de aquíferos da região (Figura 1).

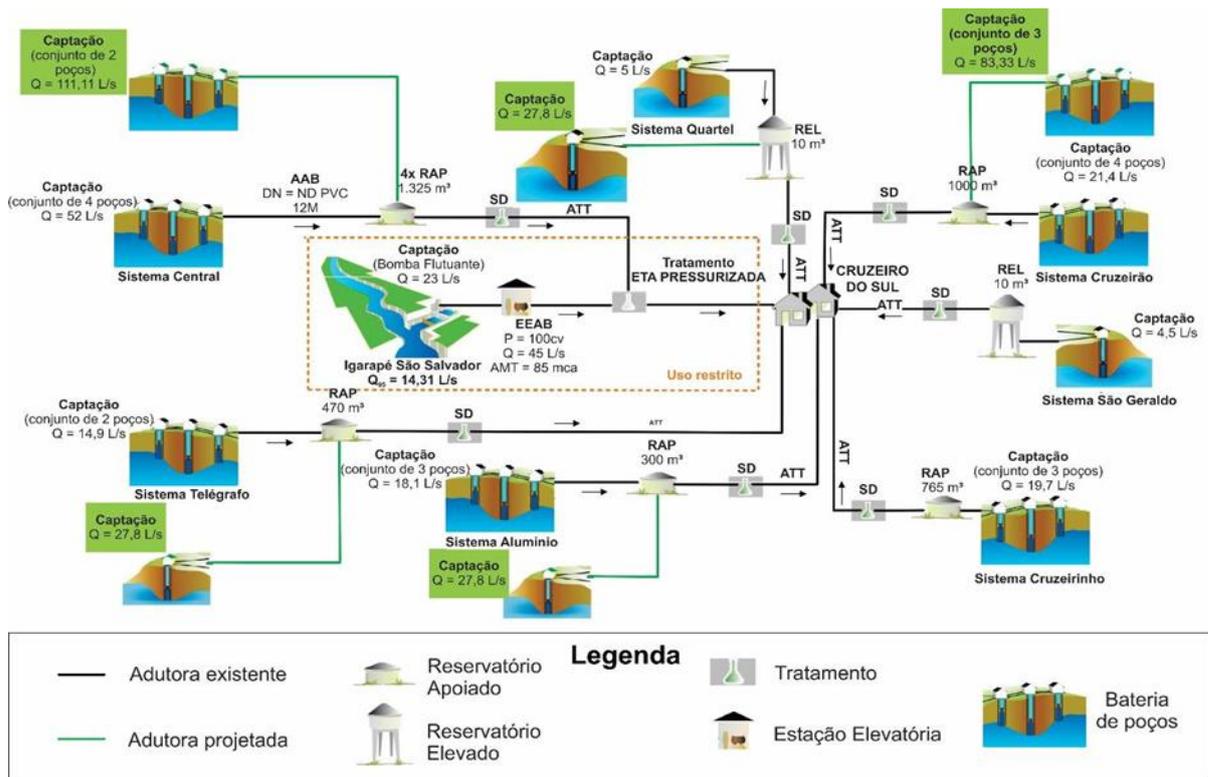


Figura 1: Croqui do Sistema de Abastecimento de Cruzeiro do Sul projetado para 2025. Fonte: ANA (2010)

Devido aos fatos citados é de extrema importância conhecer as características hidrogeológicas da água que compõe o sistema aquífero que abastece o município, com a finalidade de compreender melhor a interação da água com a rocha, além de estudar o seu fluxo, profundidade e geometria das rochas aquíferas que servirão de fonte de água para o desenvolvimento da região.

1.2 Objetivos

Devido a importância do uso da água proveniente do sistema aquífero na região de Cruzeiro do Sul, o presente trabalho possui os seguintes objetivos:

- **Objetivo geral:** fazer uma caracterização hidrogeológica do aquífero presente nas rochas das Formações Içá-Solimões, que abastece a região de Cruzeiro do Sul, com ênfase nas características hidrogeoquímicas da água desse aquífero.

- **Objetivos específicos:**
 - Produzir um perfil geológico esquemático das rochas que constituem o aquífero objeto desse estudo.
 - Produzir um mapa de nível piezométrico da região e estimar a direção de fluxo da água no aquífero.
 - Caracterizar quimicamente a água do aquífero através de métodos gráficos utilizando-se de resultados de análises químicas feitos em amostras de alguns poços na região.

1.3 Localização e acesso

O município de Cruzeiro do Sul localiza-se na região Norte do Brasil, no Oeste estado do Acre (Figura 2). Suas coordenadas compreendem a área de 71°56'44" a 73°37'56" Oeste e de 7°26'16" a 8°28'31" Sul, fazendo fronteira com os municípios de Tarauacá a Leste, Porto Walter a Sul e Rodrigues Alves e Mâncio Lima à Oeste, o município possui uma área total de 7.925 km². A cidade de Cruzeiro do Sul, região urbanizada onde localiza-se a maior parte dos poços, possui coordenada de 72°40'26.3" Oeste e 7°37'29.7" Sul.

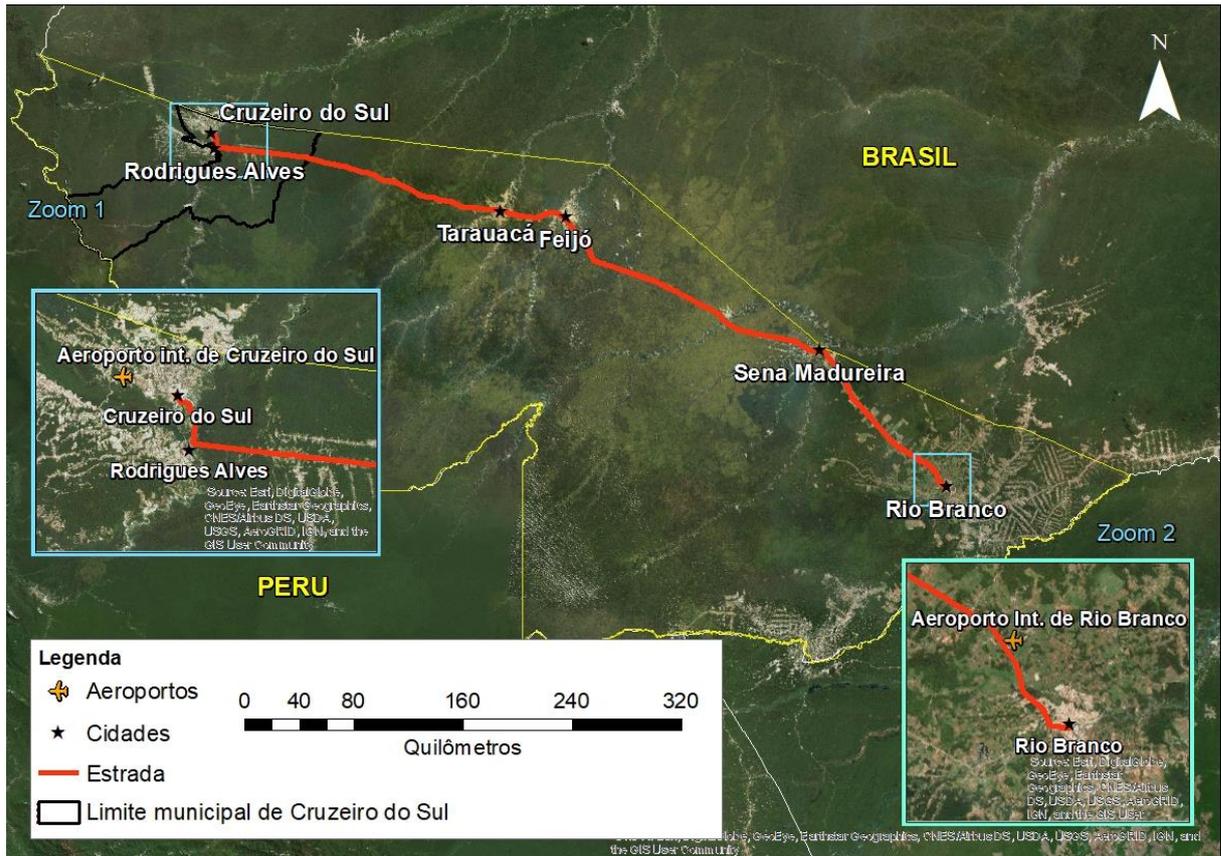


Figura 2: Mapa de localização e acessos de Cruzeiro do Sul.

Situada a uma distância de 600 km da capital Rio Branco, Cruzeiro do Sul é conectada essencialmente por avião ou por transporte rodoviário. De avião é necessário fazer escala no Aeroporto Internacional Presidente Médici em Rio Branco e de lá seguir para o Aeroporto Internacional de Cruzeiro do Sul, em um voo que dura aproximadamente uma hora. O acesso pelo modal rodoviário é possível através da rodovia BR-364 seguindo em direção NW por cerca de 624 km de Rio Branco até a cidade de Rodrigues Alves, e em seguida acessando a rodovia BR-307 em sentido Norte por cerca de 12km de Rodrigues Alves até Cruzeiro do Sul. A viagem dura cerca de 9 horas e 30 min. e percorre-se um total de 636 km de estrada.

1.4 Aspectos socioeconômicos

Cruzeiro do Sul é, segundo o IBGE (2017), a segunda maior cidade do estado do Acre, com uma população total de 78.502 habitantes, de acordo com o censo de 2010, e com projeção de 82.622 para o ano de 2017, sendo superada apenas pela capital do estado, Rio Branco. O município de Cruzeiro do Sul atualmente expressa o crescimento demográfico que essa região do Brasil vem apresentando ao longo dos últimos anos (Figura 3). Desde o ano de 1996 até o censo de 2010, o município teve uma taxa de crescimento populacional de aproximadamente 2,4% por ano, enquanto o Brasil, durante o mesmo período, apresentou uma taxa de 1,4% por ano.

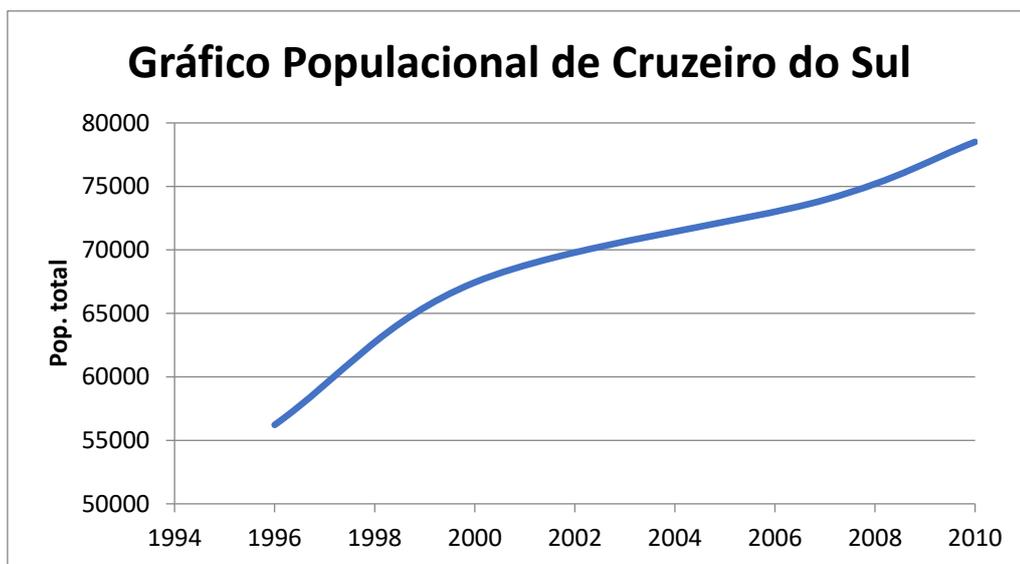


Figura 3: Evolução populacional de Cruzeiro do Sul ao longo dos anos. Fonte: IBGE (2018).

A pirâmide etária da população do município mostra uma tendência típica de países no início de seu desenvolvimento, com a base larga, ou seja, grande quantidade de jovens e crianças, e estreitamento acentuado da pirâmide no sentido do aumento de idade a partir da idade de 25 anos, como mostra a figura 4. O perfil com base larga e meio estreito, que representa

a idade adulta, é típico de uma população ainda jovem que, mantidos o aumento da população, expectativa de vida e queda na taxa de natalidade, tende a mudar para uma pirâmide etária com base mais estreita que o meio, ou seja, uma população adulta de maior expressividade, que significa maior mão-de-obra para o mercado e economia.

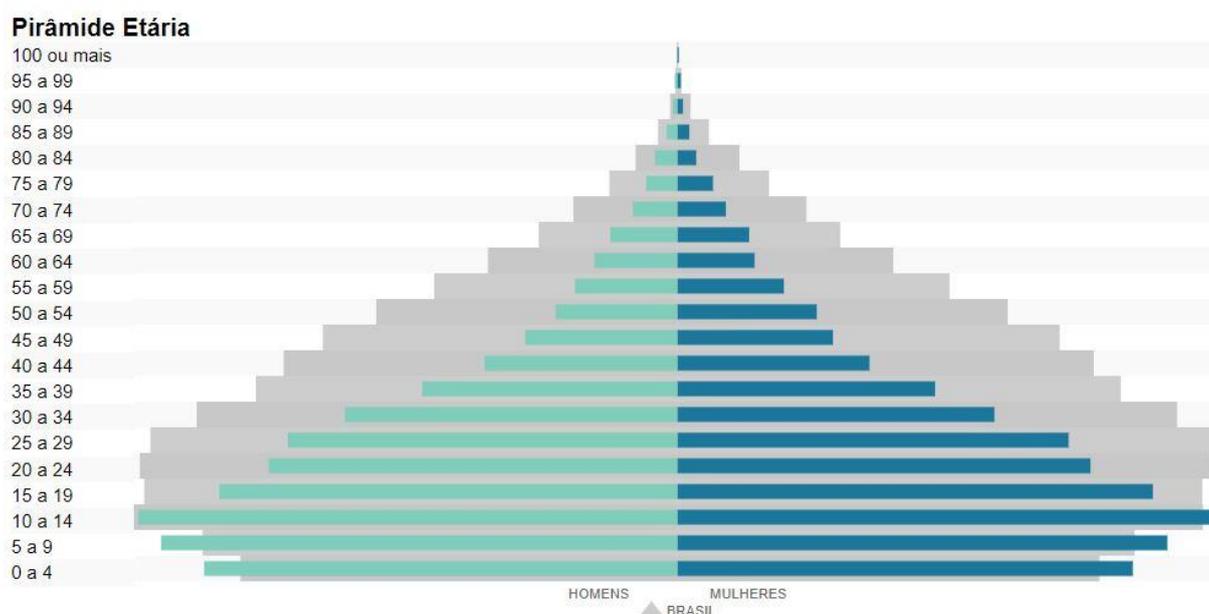


Figura 4: Pirâmide Etária de Cruzeiro do Sul. Fonte: IBGE (2018).

De acordo com os dados mais recentes do IBGE referentes ao ano de 2014, a economia de Cruzeiro do Sul se baseia em Serviços (68,7%), Indústria (18,3%) e Agropecuária (13%). O Produto Interno Bruto do município (PIB) é de R\$ 974.477.917,00 sendo a maior parte vinda de Administração e Serviços públicos, seguida de serviços, agropecuária, indústria e impostos, respectivamente. Sendo assim, a agropecuária, que faz elevado uso dos recursos hídricos, representa a terceira maior fonte de renda do município. O PIB *per capita* de Cruzeiro do Sul é de R\$ 12.123, inferior ao valor do estado do Acre (R\$ 14.733) e do Brasil (R\$ 26.445). A ocupação da população está em maior parte nos setores de serviços e comércio, indústria e agricultura respectivamente. Do ano de 2007 até 2013 todos os setores aumentaram a quantidade de trabalhadores empregados, contudo o setor de serviços e indústria foram os que

tiveram maior aumento, como mostra a figura 5, sendo o setor de indústria um grande consumidor de recursos hídricos.

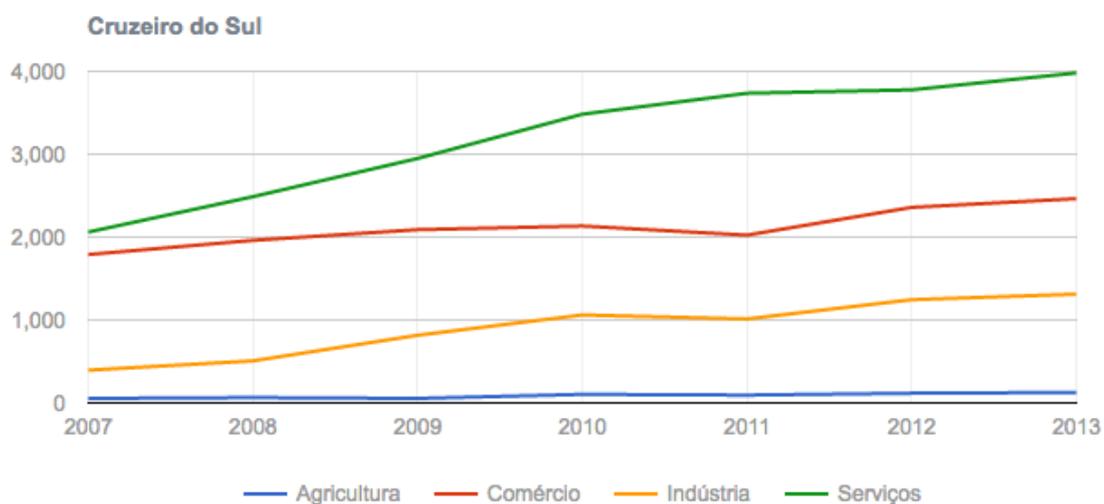


Figura 5: Ocupação da população por setores ao longo dos anos. Fonte: IBGE (2018).

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Geologia Regional

2.1.1. BACIA SEDIMENTAR DO ACRE

O município de Cruzeiro do Sul encontra-se dentro da Bacia Sedimentar do Acre (BSA), que aflora por cerca de 110.000 km² e abrange o estado do Acre e parte do estado do Amazonas, região Norte do Brasil. O tamanho da bacia é ainda maior, pois cerca de 40.000 km² de sua extensão não afloram. A BSA é composta por rochas fanerozoicas, totalizando uma área de 150.000 km². Conforme mostra a figura 6, a Bacia é limitada pelo Arco de Iquitos ao Leste, onde é separada da Bacia de Solimões; ao Norte e Noroeste ela estende-se para a Bacia do Marañon; e ao Sul e Sudoeste é limitada pelas Bacias de Ucayali e Madre de Dios, ambas no território peruano. (CUNHA, 2007; HASUI, 2012).

De maneira geral, ao estudar a BSA Oliveira (1994) notou dois domínios geomorfológicos predominantes na paisagem: o que ele chamou de “domínio de serras” e “domínio de planícies”. O primeiro é notado no extremo oeste do estado do Acre e compreende a serra do Divisor, um conjunto de morros de até 700 m de altitude, com um lineamento aproximadamente N(NW)-S(SE), destoando significativamente do segundo domínio, o de planícies, que cobre a grande maioria da área da bacia, possui um relevo ondulado e é composto por depósitos neógenos e paleógenos e depósitos aluvionares de idade quaternária ao longo das margens dos rios.

A serra do Divisor encontra-se a aproximadamente 110 km a oeste da cidade de Cruzeiro do Sul, e é resultado dos esforços compressivos da tectônica andina que dobrou as formações rochosas mais antigas, até mesmo do Cretáceo, e as expôs na superfície. Estruturalmente, a

serra é caracterizada por dobras assimétricas anticlinais limitadas por dobras sinclinais, com direção N-S e plano axial mergulhando para oeste. Dessa forma, os flancos da parte oeste das dobras possuem um mergulho suave, enquanto os flancos de leste possuem um mergulho alto com comum presença de falhas reversas (OLIVEIRA, 1994).

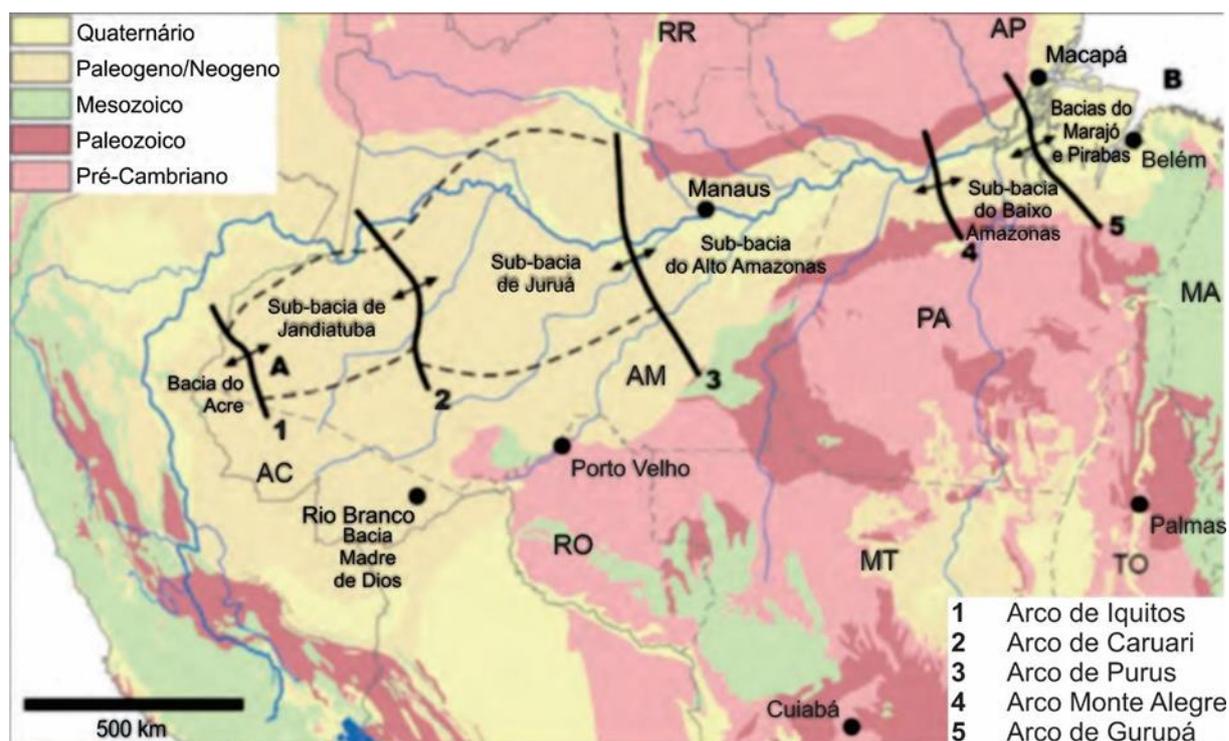


Figura 6: Localização da Bacia do Acre. Fonte: Hasui (2012).

Ainda segundo o mesmo autor, no domínio das planícies não é possível notar muitas estruturas geológicas devido ao abrangente recobrimento sedimentar da Formação Solimões, com exceção de uma falha inversa, a Falha de Batã (Figura 7), a única feição mapeada em superfície, com direção aproximada de N-S e cerca de 170km de extensão. Ela é identificada através de uma quebra no relevo e mudanças em imagens de radar e fotografias aéreas causadas pelas diferenças litológicas entre o bloco a leste e a oeste da falha. Em ambos os blocos afloram rochas da Formação Solimões, porém no bloco ao leste, que foi rebaixado, a litologia é mais

argilosa do que no bloco ao oeste. Associada ao anticlinal, no domínio das serras, existe uma outra falha com direção aproximada também de N-S, intitulada de Falha Oeste de Batã.

Essa falha de grande extensão acompanha o flanco leste do anticlinal e possui um mergulho de alto ângulo com um rejeito estimado de alguns quilômetros.

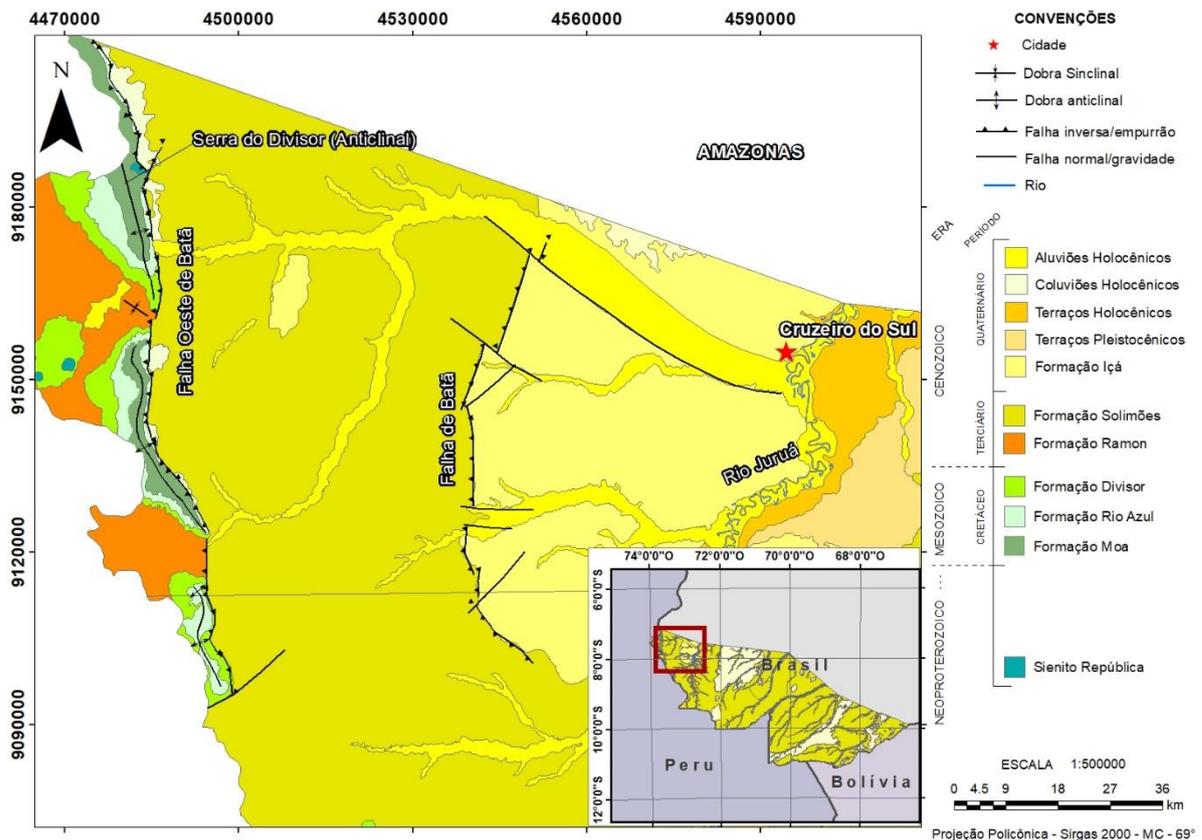


Figura 7: Mapa geológico do Acre com ênfase na região de Cruzeiro do Sul, serra do Divisor e as Falhas de Batã e Oeste de Batã. Fonte: Dados retirados do IBGE (2005).

A Bacia do Acre é entendida por Raja Gabaglia e Figueiredo (1990) como uma perissutura associada a uma megassutura compressional maior, o cinturão andino. É uma bacia de antepaís, sendo a única região do país afetada pelo sistema tectônico compressivo andino. A formação da bacia teve início no Paleozoico com a deposição de sedimentos sobre um embasamento Proterozoico, constituído por rochas metamórficas e ígneas pertencentes à Faixa Rondoniana-San Ignácio (HASUI *et al.*, 2012). Possui uma complexa história evolutiva sempre

subordinada a eventos tectônicos compressivos que deformaram e criaram uma série de falhas reversas de direção N-S na bacia, conforme se observa na Figura 8 (CUNHA, 2007).

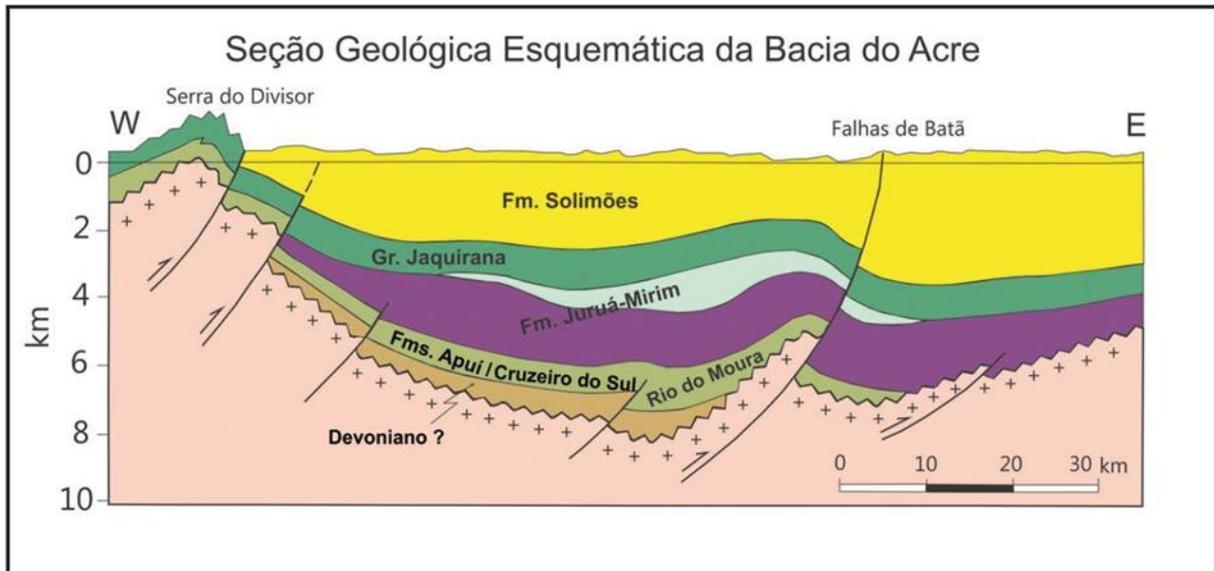


Figura 8: Seção geológica esquemática da Bacia do Acre. Fonte: FEIJÓ; SOUZA apud CPRM (2015).

2.1.2 EVOLUÇÃO TECTÔNICA E ESTRATIGRAFIA DA BACIA DO ACRE

Os estudos geológicos na Bacia do Acre são relativamente recentes e por isso a sua estratigrafia ainda passa por reformulações por parte dos pesquisadores. A proposta mais recente e bem aceita no meio científico do arcabouço estratigráfico (Figura 9) da bacia foi idealizada por Cunha (2007), que apresenta onze sequências estratigráficas (do Siluriano até o Neógeno) cronocorrelatas com as sequências das bacias subandinas, e que são delimitadas por horizontes correspondentes aos limites das sequências ou discordâncias regionais. Cada sequência representa um momento geotectônico da Bacia, submetida a ambientes de deposição sedimentar que variam ao longo do tempo. Em síntese, a Bacia registra deposição de sedimentos que variam entre ambiente marinho, marinho raso, fluvial, lacustre e eólico continental, resultando em uma grande variedade litológica ao longo de suas formações que foram sujeitas

a campos de *stress* compressivos durante as orogenias Herciniana e Andina causando falhamentos e deformação nos pacotes sedimentares depositados. A discussão sobre a evolução geotectônica e estratigráfica da Bacia inicia-se pelo entendimento do embasamento seguida das onze sequências deposicionais atualmente propostas.

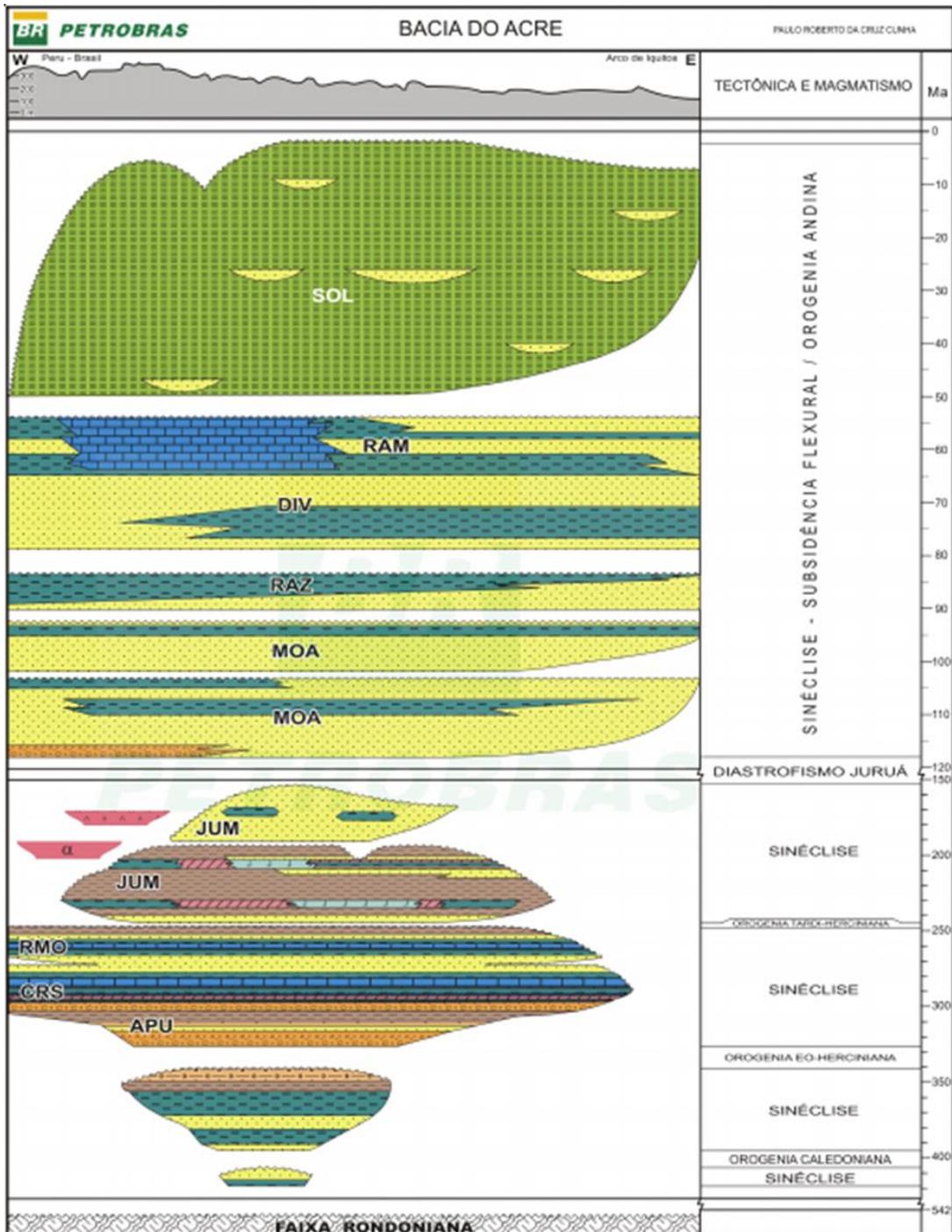


Figura 9: Carta estratigráfica da Bacia do Acre. Fonte: CUNHA (2007).

- **Embasamento**

Segundo Oliveira (1994) o embasamento da Bacia é constituído por gnaisses dioríticos, gnaisses graníticos, anfíbolitos e veios de quartzo de idade Proterozoica. A datação das idades das rochas do embasamento já foi feita por alguns autores e muitas vezes os resultados não são coerentes, exceto pelas datações feitas por Tassinari e Texeira (1976) e Cordani *et al.* (1984), que se mostraram bastante similares. As datações feitas através do método K/Ar estabeleceram idades que variam de 871 ± 10 Ma à 1321 ± 50 Ma, enquanto que o método Rb/Sr indicou idade máxima de 1540 Ma segundo o estudo realizado por Cordani (1984).

O substrato da Bacia do Acre pertence ao cinturão Rondoniano, que faz parte do Cráton Amazônico. O núcleo mais antigo do Cráton Amazônico é composto por gnaisses, quartzitos, xistos e *BIFs*, que formavam uma unidade continental durante o Arqueano. Esse núcleo foi acrescido por cinturões móveis repetidamente durante o Meso e Paleoproterozoico, originando as províncias Maroni-Itacaiúnas (2,2 - 1,9 Ga), Rio Negro e Juruena (1,78 - 1,55 Ga), Rondoniana (1,56 - 1,3 Ga), e a mais recente delas a província Sunsás (1,2 - 0,95 Ga), (HASUI, 2012). O cinturão Rondoniano possui orientação NW-SE e constitui-se de gnaisses e migmatitos com granitos associados (OLIVEIRA, 1994).

Ainda segundo Cordani *et al.* (1984), os limites desses cinturões móveis correspondem aos arcos estruturais, que delimitam as bacias na sinéclise Amazônica. Dessa forma, o limite entre a Bacia Solimões e a Bacia do Acre, marcado pelo arco de Iquitos, corresponderia ao limite entre o cinturão Rio Negro e Juruena e o cinturão Rondoniano.

- **Sequência Siluriano – Devoniano Inicial**

O limite superior dessa sequência ainda não é muito bem definido, estimando-se o Devoniano inferior. Esse intervalo é representado pelas rochas do grupo Contaya na Bacia do Marañon no leste do Peru, na Bacia do Acre a sequência cronocorrelata ao Contaya é inferida por sísmica de reflexão. Nesse período a região central do Peru permaneceu soerguida, constituindo a borda da Bacia eopaleozoica (DALMAYRAC, 1978). Essa sequência, assim como a sequência imediatamente sobreposta a essa, ainda não foi perfurada na Bacia do Acre, tendo sido apenas interpretada através de sísmica e correlações com as sequências correspondentes na Bacia do Marañon e Ucayali, onde esse grupo é composto por rochas siliciclásticas (folhelhos, siltitos e arenitos).

- **Sequência Devoniano Inicial – Carbonífero Inicial a Médio**

O limite superior dessa sequência também não é precisamente definido. Assim como a sequência anterior, esse intervalo estratigráfico na Bacia do Acre só é identificado através de sísmica, onde é observada uma discordância na base do Permo-Carbonífero, sobreposta a rochas sedimentares mais antigas que diminuem de espessura quanto mais ao leste, até que desaparecem. A partir daí, as rochas do Paleozoico Superior passam a estar assentadas diretamente em contato com o embasamento Proterozoico. Todo o pacote Pré-Carbonífero possui um caráter distensivo enquanto os pacotes sobrejacentes possuem um caráter compressivo. Essa sequência parece ter sofrido uma intensa erosão associada a fase inicial da orogenia Herciniana (Eohercinana). A sequência Devoniano - Carbonífero é correlacionada na Bacia do Ucayali e Bacia do Solimões a uma sequência de rochas arenosas e conglomeráticas, sobrepostas por um pacote de folhelhos marinhos com potencial gerador de hidrocarbonetos.

- **Sequência Carbonífero Inicial a Médio – Permiano Médio a Final**

Essa sequência possui dois estágios de sedimentação distintos que deram origem a duas formações na Bacia do Acre: a Formação Apuí e a Formação Cruzeiro do Sul. O primeiro estágio possui sua base no Mississipiano superior (Carbonífero Inferior) e está em contato discordante, ora sobre o embasamento Proterozoico, ora sobre as sequências do Devoniano - Carbonífero citadas anteriormente. Compreende um momento em que a Bacia era intracratônica/marginal, com drenagem para Oeste. A Formação Apuí é composta por conglomerados com seixos e grânulos de quartzo, feldspato e granito e matriz arenoargilosa de leques aluviais, e representa um momento de regressão arenosa resultante da deposição dos sedimentos erodidos do relevo formado durante a orogenia Eoherciniana.

O segundo estágio possui base no final do Pensilvaniano, em contato concordante com a Formação Apuí e topo no Permiano médio a superior e representa um momento de transgressão na Bacia. O início da deposição da Formação Cruzeiro do Sul está relacionado ao início da transgressão onde formaram-se calcários em um ambiente marinho raso, plataformal e restrito. Essa litologia cobre uma vasta área da Bacia que vai desde a Bacia do Ucayali até a Bacia do Acre, entrando até mesmo em contato com o escudo brasileiro. Sobreposta ao calcário encontra-se uma unidade formada por arenitos marinhos e continentais regressivos, cuja base representa a superfície de inundação máxima da transgressão marinha formadora do calcário. Nessa unidade também se encontram folhelhos permianos considerados potenciais geradores de hidrocarbonetos na Bacia do Acre.

- **Sequência Permiano Médio a Final – Permiano Final a Triássico Inicial**

Essa sequência abriga a Formação Rio do Moura, que teve início no final da sequência anterior. Sua seção basal compreende camadas de arenitos intercalados com folhelhos gradando para carbonatos que recobrem e estão em contato concordante com os sedimentos finos da Formação Cruzeiro do Sul. A parte inferior da Formação Rio do Moura é entendida também

como deposição em um regime transgressivo, num ambiente marinho raso e plataformar de idade neopermiana. A parte superior da Fm. Rio do Moura é composta por arenitos avermelhados, argilitos e evaporitos resultantes da continentalização da Bacia e possui no seu limite superior uma superfície de erosão ligada à fase tardia da orogenia Herciniana (Tardiherciniana). A orogenia Herciniana marca o final do Sistema Pré-Andino e o início do Sistema Andino com início da subducção da placa de Nazca.

- **Sequência Triássico Inicial – Jurássico Inicial**

Uma relevante fase de subsidência da bacia intracratônica ocorreu durante o Triássico, resultando na deposição de um espesso pacote de sedimentos arenosos caracterizando a seção basal da Formação Juruá-Mirim. A seguir, houve a sedimentação de calcários e dolomitos escuros, intercalados com folhelhos, arenitos betuminosos e camadas evaporíticas. Esse ciclo é entendido como deposição em um ambiente fluvial, lacustrino, *sabkha* e marinho restrito. Contemporaneamente a esse momento, houve um regime compressivo que criou dobras de baixa amplitude e longo período que provocou a ascensão e deformação das camadas evaporíticas.

Esse ciclo gradualmente muda para o início de um sistema de sedimentação eólica marcado por uma seção continental regressiva composta por arenitos *red-beds*, que vai se estender até a próxima sequência. Essa sucessão sedimentar corresponde à parte inferior da Fm. Juruá Mirim na Bacia do Acre e a Formação Pucará nas bacias do oriente peruano. Durante esse ciclo houve também a extrusão de magma ácido formando rochas vulcânicas representadas por traquito nefelínico, datado em 194 ± 12 milhões de anos, cronocorrelatos a intrusões básicas do magmatismo Penatecaua na Bacia do Solimões.

- **Sequência Jurássico Inicial – Jurássico Superior**

Nessa sequência ocorreu a sedimentação da seção superior da Fm. Juruá-Mirim, formada em ambiente eólico. Essa seção é formada por arenitos avermelhados com intercalações de folhelhos vermelhos. Há também a ocorrência de derrames de basaltos datados de 177 ± 7 Ma através do método K/Ar em amostra de poço. Durante o final do Jurássico e início do Cretáceo, ocorreu um importante evento compressivo na bacia, que resultou no deslocamento inicial que deu origem à Falha do Batã, que provocou fortes inversões e falhamentos a oeste da falha. Devido aos esforços compressivos, as camadas salinas migraram para os eixos de dobramentos anticlinais e antigas falhas foram reativadas.

- **Sequência Aptiano / Albiano Final – Cenomaniano**

Esse período é caracterizado por estabilidade tectônica e foi o momento de sedimentação da parte basal do Grupo Jaquirana (Formação Moa inferior). Durante esse período a bacia era caracterizada como *foreland* e foram depositados sedimentos arenosos finos a médios, adjacentes ao cinturão andino, em um ambiente fluviodeltaico, com contato basal caracterizado por uma superfície discordante erosiva com a Fm. Juruá-Mirim.

- **Sequência Albiano Final / Cenomaniano – Turoniano Final / Coniaciano**

Representada pela seção superior da Fm. Moa, essa sequência é caracterizada também por arenitos finos a médios e folhelhos subordinados. Há a ocorrência de um nível de folhelho que aparentemente representa a superfície de inundação máxima de maior relevância desde o Triássico.

- **Sequência Turoniano Final/ Coniaciano – Companiano Inicial**

Abriga a Formação Rio Azul constituída por pelitos marinhos e alguns poucos arenitos intercalados. Pode representar uma outra fase de inundação máxima.

- **Sequência Campaniano Inicial– Eoceno Final**

É representada pela Formação Divisor com seus arenitos fluviais em contraste marcante com os folhelhos marinhos da Formação Rio Azul e os folhelhos e carbonatos da Formação Ramon. A Fm. Ramon marca uma sedimentação num sistema transgressivo e preserva também a superfície de inundação máxima do Paleoceno. O Grupo Jaquirana está em contato discordante tanto com a Fm. Juruá-Mirim na sua base quanto com a Formação Solimões no topo e é composto pelas Formações Moa, Rio Azul, Divisor e Ramon.

- **Sequência Eoceno Inicial– Plioceno**

Essa sequência é interessante especialmente por ser a sequência que abriga o aquífero objeto do atual estudo compreendido nas rochas das Formações Iça e Solimões. A Formação Solimões é representada por sedimentos finos, argila intercalada com arenitos depositados em um ambiente flúvio-lacustre. Segundo a CPRM (2015), é comum encontrar na Fm. Solimões concreções carbonáticas dispersas em sedimentos pelíticos, além da existência de afloramentos com camadas contínuas de sedimentos carbonáticos. A Fm. Solimões foi afetada pela orogenia Andina quando as falhas Oeste de Batã e Batã foram reativadas, dando origem a serra do Divisor durante o Mio-Plioceno.

A Formação Içá aflora na região do município de Cruzeiro do Sul e caracteriza-se por arenitos finos e, às vezes, conglomeráticos, com algumas intercalações argilito e siltito sobrepostos aos sedimentos finos da Fm. Solimões (CPRM, 2015). Entre as formações há uma possível superfície de discordância paralela. A Fm. Içá foi depositada em um ambiente continental oxidante através de processos flúvio-lacustres e de leques aluviais.

Um estudo realizado na Formação Içá no estado do Amazonas, que caracterizou a mineralogia das rochas dessa formação, identificou que alguns arenitos da Fm. Içá, além de

bastantes grãos de quartzo, também possuem feldspatos, sendo considerados como arenitos subarcóseos em algumas ocasiões (MOTTA, 2008).

2.2 Aspectos Fisiográficos

2.2.1 CLIMA

O município de Cruzeiro do Sul está situado na floresta amazônica que, por ser uma região muito próxima a linha do equador, caracteriza-se por ser uma região quente e úmida. Cruzeiro do Sul encontra-se na região climática Am (Tropical com curto período seco) próximo ao limite com a região Af (Tropical sem nenhum período seco) da classificação de Köppen (PEEL, 2007), como mostra a figura 10, definindo a região como quente e muito úmida praticamente o ano todo, como é típico de regiões equatoriais como a região amazônica.

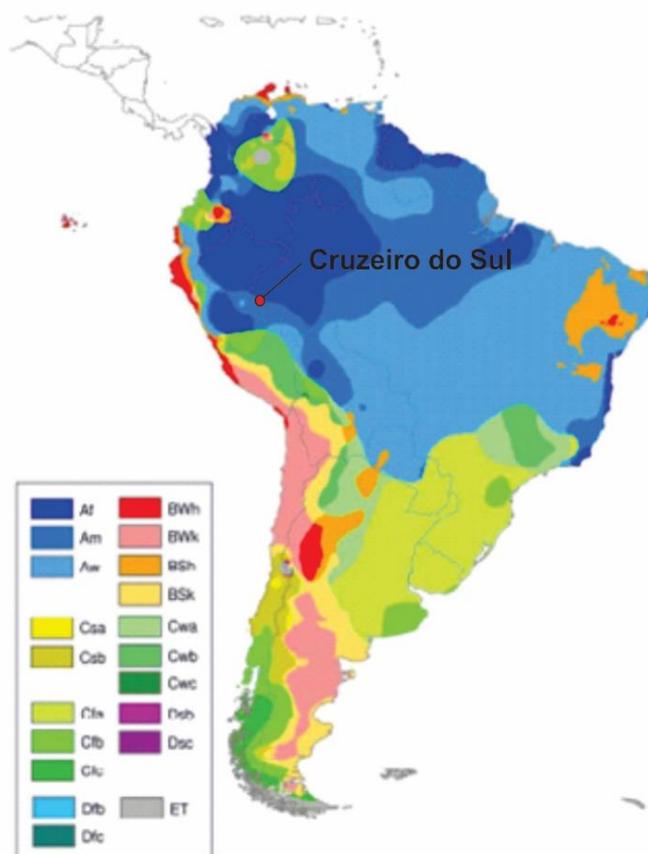


Figura 10: Classificação climática de Köppen atualizada. Fonte: PEEL (2007).

Próximo ao equador existe uma região chamada de zona de convergência intertropical (ZCIT), que se caracteriza pela convergência dos ventos tropicais provenientes das células de circulação atmosférica tropicais (células de Hadley, segundo Farrel, 1990, ver a figura 11). Esse conjunto de células regem a dinâmica da atmosfera em escala global. As células de Hadley estendem-se do equador até as latitudes aproximadas de 30° Norte e Sul. Nas latitudes de 30° os ventos das altas altitudes da atmosfera sofrem subsidência em direção a superfície criando uma região de alta pressão. A partir dessa região, parte dos ventos seguem em direção aos polos, compondo parte da célula de Farrel, e parte segue em direção ao equador compondo parte da célula de Hadley. Ao chegar no equador esses ventos, que estão aquecidos devido à alta radiação solar na região tropical, e úmidos, devido à alta evaporação também nessa região, se encontram com os ventos da célula de Hadley do hemisfério norte e são forçados a ascender, caracterizando uma zona de baixa pressão e de convecção do ar. Ao elevar-se na atmosfera, essa massa de ar resfria-se e condensa parte da grande carga de vapor d'água que carrega consigo, criando nuvens do tipo cumulonimbus, que são nuvens de tempestades e responsáveis por altos volumes de chuva. A persistência desse padrão resulta em um acumulado pluviométrico anual de 2283 mm na região de Cruzeiro do Sul, (INMET, 2018), um valor bastante alto.

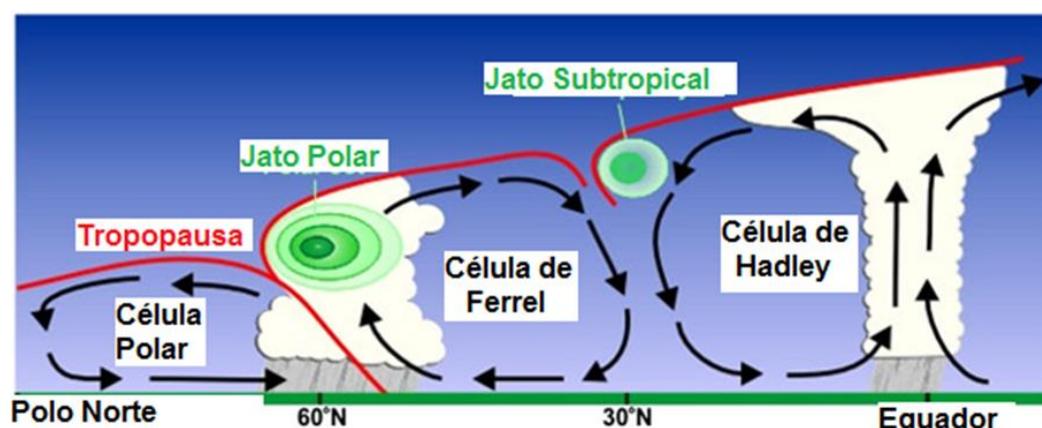


Figura 11: Células atmosféricas. Fonte: NOAA (2018).

Como foi mencionado anteriormente, a cidade de Cruzeiro do Sul está localizada na região climática Am (tropical com curto período seco), classificação essa que descreve bem a normal climatológica do município elaborada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A normal climatológica mais atual foi produzida a partir de dados obtidos pela estação meteorológica de Cruzeiro do Sul entre os anos de 1960 e 1990. Ao analisar a média pluviométrica anual desse período é possível observar a permanência de um longo período chuvoso que vai de setembro até maio, com elevados acumulados pluviométricos e um período um pouco mais seco de junho até agosto, mas que ainda assim possui um acumulado razoável (INMET, 2018), como mostra a figura 12.

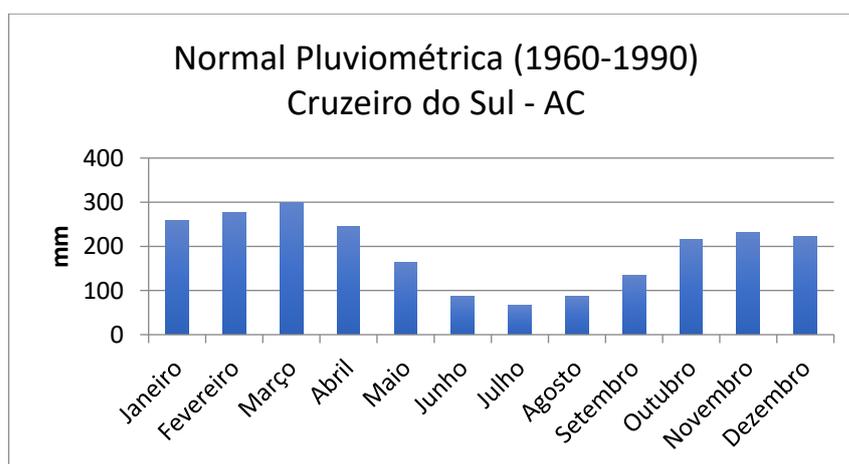


Figura 12: Normal pluviométrica de Cruzeiro do Sul. Fonte: Dados obtidos do INMET (2018).

Essa mudança entre um período úmido e um período mais seco está relacionada à variação da localização média da ZCIT, que durante o inverno do hemisfério Sul encontra-se mais ao Norte e durante o verão encontra-se mais ao sul (Figura 13).

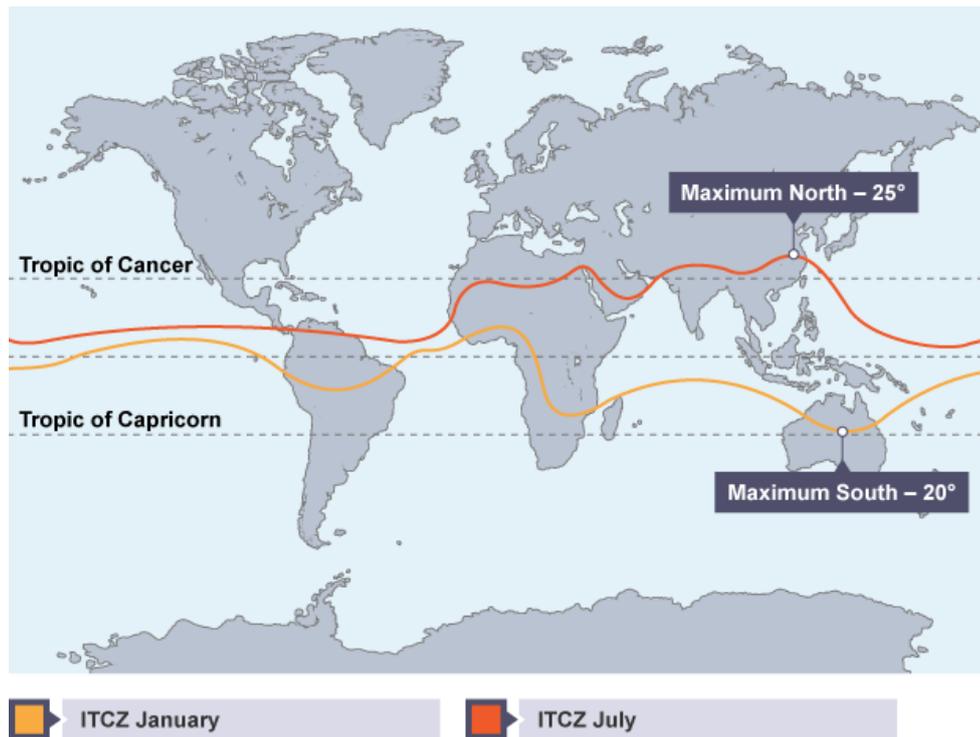


Figura 13: Variação sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ITCZ). Fonte: BBC (2018).

Por estar situado muito próximo a linha do equador, Cruzeiro do Sul apresenta altas temperaturas durante todo o ano, e a variação térmica também é muito baixa (Figura 14). Isso ocorre devido à pequena sazonalidade causada pelas baixas latitudes, que recebem intensa radiação solar durante todo o ano. Contudo, durante o inverno podem ocorrer algumas entradas de frentes frias na região, fenômeno conhecido como “friagem”, o que faz com que as temperaturas baixem um pouco durante as noites de inverno, resultando em temperaturas mínimas médias de cerca de 17°C na região.

2.2.2 GEOMORFOLOGIA

A geomorfologia tem como objetivo estudar as diferentes formas e feições do relevo da superfície da Terra, que refletem não somente o material que compõe o substrato rochoso com suas estruturas (falhas, dobras, etc.), assim como também é resultado dos fatores exógenos

climáticos do passado e atuais, que modelam os solos e as rochas, criando dessa forma um conjunto de grupos de categorias geomorfológicas.

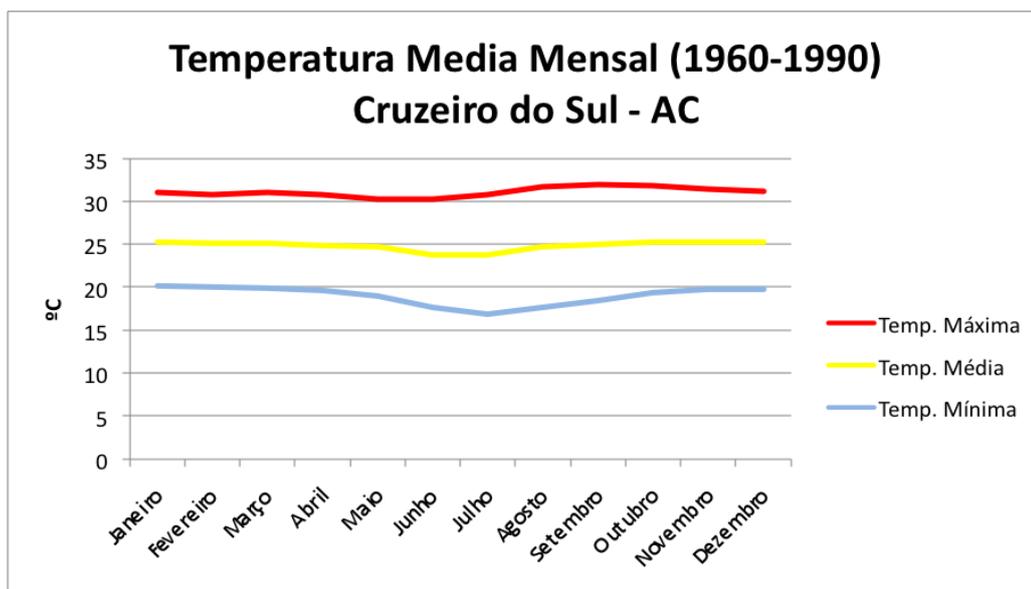


Figura 14: Temperatura média mensal na região de Cruzeiro do Sul. Fonte: INMET (2018)

Ao classificar diferentes categorias geomorfológicas o principal fator a ser analisado é o da altimetria, contudo o alto grau homogeneidade altimétrica na região amazônica torna inconveniente uma classificação baseada nesse fator. Dessa forma, os principais elementos utilizados para a caracterização geomorfológica na região são morfogenéticos e texturais. Para fins de zoneamento não basta uma caracterização da forma, é necessário também fazer uma análise do grau de dissecamento e aprofundamento das incisões no relevo assim como a densidade da drenagem (CAVALCANTE, 2010).

De acordo com o autor supracitado, na região de Cruzeiro do Sul e suas proximidades é possível encontrar duas das nove unidades geomorfológicas presentes no estado do Acre. São elas a Planície Amazônica e a Superfície Tabular de Cruzeiro do Sul. A Planície Amazônica possui altitudes que variam de 110 a 270 m, encontra-se ao longo da margem dos rios e forma-se a partir de processos de colmatagem de sedimentos em suspensão e construção de planícies

e terraços fluviais acelerada pela evolução de meandros. É caracterizada por diversos níveis de terraços e as várzeas recentes contêm diques e paleocanais, lagos de meandro e de barramento, bacias de decantação, furos, canais anastomosados e trechos de talwegues, que possuem padrões retilíneos devido a fatores estruturais. Na região de Cruzeiro do Sul encontram-se duas subunidades da Planície Amazônica:

- Terraços Fluviais: são depósitos fluviais aplainados com uma ruptura de altitude com declive alto em relação ao leito do rio e as várzeas recentes que se encontram em um nível abaixo do terraço. Possuem as bordas esculpidas pela diferença de nível de base do rio.
- Planícies Fluviais: terrenos sujeitos a eventos de cheias periódicas com deposição de sedimentos fluviais. Podem conter meandros abandonados, furos e diques aluviais paralelos ao leito atual do rio.

A Superfície Tabular de Cruzeiro do Sul possui uma altitude média que varia de 150 a 270 m, com padrão dendrítico a paralelo. Essa unidade tem uma forte ligação com a Falha de Batã, pois configura-se como o *Horst* dessa falha. Caracteriza-se por relevos tabulares com declives suaves.

Além das unidades descritas por Cavalcante (2010), um levantamento realizado pela Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM, 2006) aponta a existência de outra unidade geomorfológica em Cruzeiro do Sul (Figura 15), o Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Baixos, onde é frequente a atuação de processos erosivos severos, como voçorocas e ravinas, potencializados onde há a presença de sedimentos da Formação Solimões, como é o Caso de Cruzeiro do Sul.

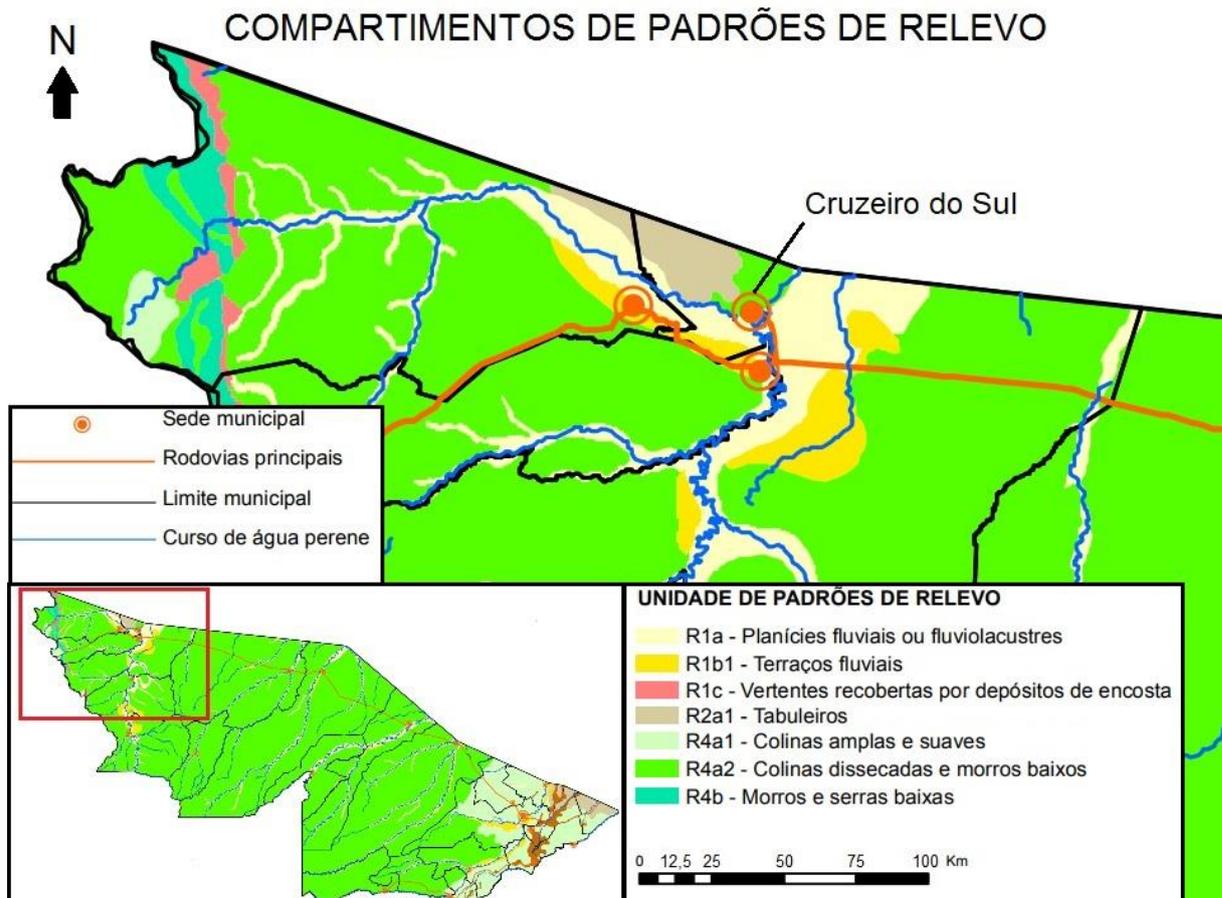


Figura 15: Unidades Geomorfológicas de Cruzeiro do Sul. Fonte: Adaptado da CPRM (2006).

2.2.3 HIDROGEOLOGIA

O conhecimento hidrogeológico da região de Cruzeiro do Sul passou a ser mais detalhado e aprofundado apenas nos últimos anos, quando novos estudos na região começaram a despertar o interesse de cientistas e de entidades governamentais devido ao crescimento da região. De acordo com dados da base simplificada dos sistemas hidrogeológicos do Acre publicados pela CPRM (2015) no livro de Geodiversidade do Acre, os aquíferos se estendem ao longo da área do estado, sendo 87,2% referentes ao Sistema Aquífero Solimões, 10% os Sistemas Aquíferos Aluvionares, 2% o Sistema Aquífero Içá (nesse estudo compreendido como

Solimões-Içá) e 1% o Sistema Divisor . Dentro os sistemas supracitados, a área de estudo ocorre no Sistema Aquífero Içá-Solimões, que por isso é o objeto dessa pesquisa (Figura 16).

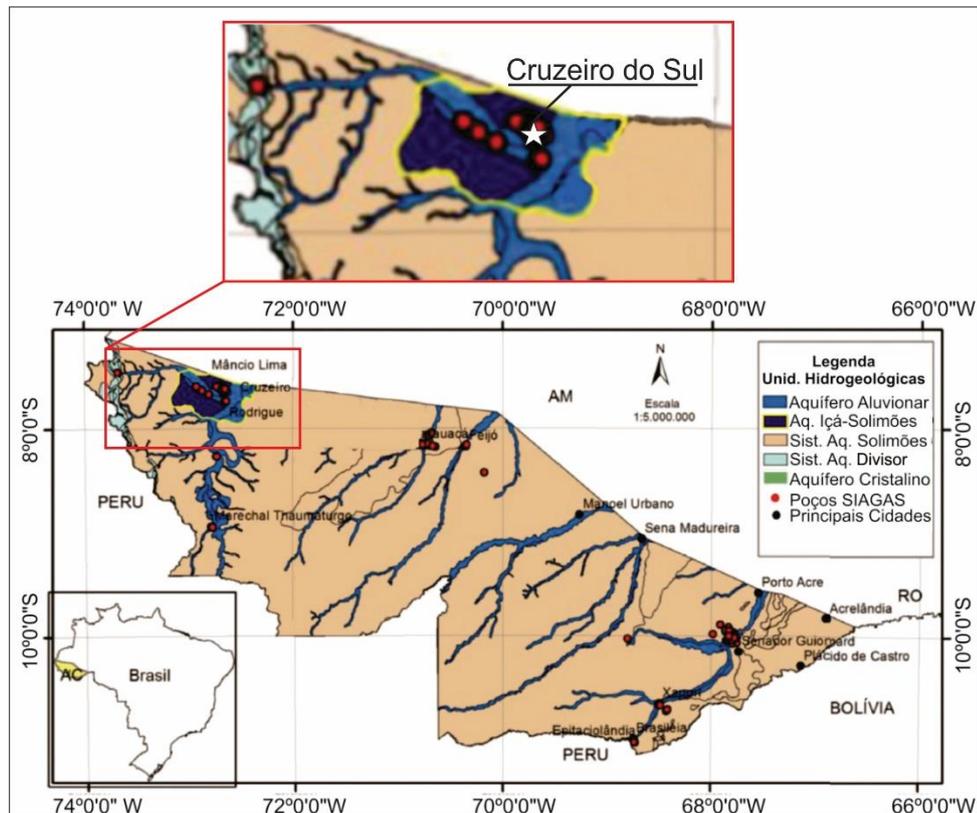


Figura 16: Unidades Hidrogeológicas do Acre. Fonte: CPRM (2015) modificado pelo autor.

Sistema Aquífero Içá-Solimões

Primeiramente é necessário esclarecer a decisão de nomear o sistema aquífero como Içá - Solimões. Essa nomenclatura foi proposta por Souza *et al.* (2013) em um estudo realizado no Amazonas, onde um dos aquíferos estudados estavam em profundidades que poderiam marcar o limite entre as formações Içá e Solimões (cerca de 70 m de profundidade), e devido à dificuldade de separar as formações litologicamente decidiu-se por utilizar a denominação Içá-Solimões. O mesmo acontece nesse estudo, onde os poços possuem mais de 100 m de profundidade e provavelmente também perfuram camadas aquíferas tanto da Formação Içá quanto da Formação Solimões.

De acordo com estudos realizados previamente pela CPRM, (2015) o Aquífero Iça - Solimões localiza-se no vale do Rio Juruá, onde se encontra a cidade de Cruzeiro do Sul. Ele possui uma forma aproximadamente retangular com uma área de 3251 km². Esse sistema abastece a cidade de Cruzeiro do Sul e cidades vizinhas como Mâncio Lima e Rodrigues Alves e Guajará, sendo esse último no estado do Amazonas.

Devido a presença de camadas arenosas de cerca de 30 m de espessura, essa unidade é explotada como fornecedora de água subterrânea, principalmente pelo Departamento Estadual de Pavimentação e Saneamento (DEPASA). A presença de camadas argilosas intercalando as camadas arenosas dão ao aquífero um caráter semiconfinado, podendo ser considerado um aquífero livre em algumas partes específicas.

As águas desse sistema são próprias para o consumo humano. De acordo com a análise química de uma amostra coletada em um dos poços da rede RIMAS em Cruzeiro do Sul, o poço de número de identificação 1100002660, mostrou valores baixos dos cátions principais, sendo eles cálcio 33,66 mg/L, potássio 6,69 mg/L, sódio 4,70 mg/L e magnésio 4,53 mg/L. Através da análise de 14 poços da DEPSASA o pH apresenta-se alcalino, variando de 8,2 a 9,2 e turbidez varia de 1,31 a 5,65 uT.

Ainda segundo a CPRM (2015), a partir da correlação de perfis geológicos de alguns poços da área, foi possível identificar dois horizontes com predominância de camadas arenosas dentro do sistema: o primeiro encontra-se dentro dos primeiros 50 m de profundidade, já o segundo ocorre entre 100 e 140 m. Entre elas existem pacotes de argilitos carbonáticos, como mostra a figura 17.

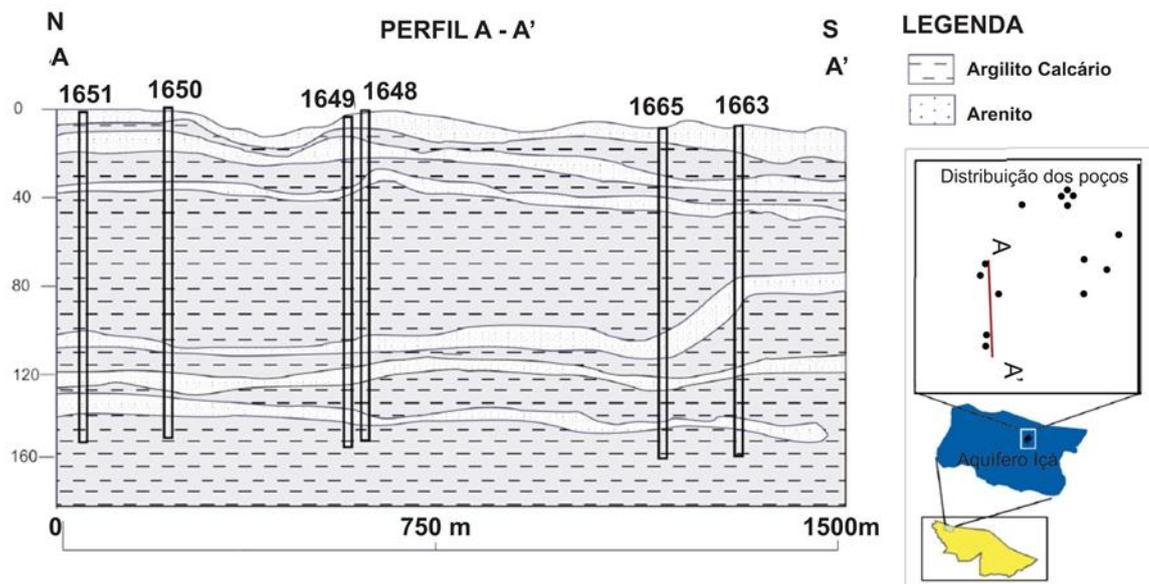


Figura 17: Seção geológica do Aquífero Içá. Fonte: CPRM (2015)

Os valores de vazão desse sistema são os maiores para todo o estado do Acre, com uma média de $36 \text{ m}^3/\text{h}$, a capacidade específica é de cerca de $1,2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e o nível estático e dinâmico de 16,4 e 53 m, respectivamente. Os poços analisados nesse estudo da CPRM possuem de 72 a 180 m de profundidade, e a transmissividade não foi calculada devido à ausência de um teste de bombeamento de 12 horas mínimas.

3. METODOLOGIA

3.1 Inventário de poços

Os poços utilizados para a realização desse estudo estão cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, que pertence à CPRM – Serviço Geológico do Brasil. O SIAGAS possui informações de diversos poços distribuídos pelo Brasil, sendo que cada poço possui um número de identificação com 10 dígitos. Para cada poço existem diversas informações que são categorizadas em informações gerais, construtivas, geológicas, hidrogeológicas, teste de bombeamento e análises químicas.

O município de Cruzeiro do Sul possui 77 poços cadastrados no SIAGAS. As informações de todos esses poços foram baixadas do website e armazenadas de forma ordenada dentro de uma planilha de Excel, elaborada de forma tal que fosse fácil acessar todas as informações contidas nos poços. Nessa tabela constam, além das informações contidas no site, outras colunas criadas para armazenar novas informações tais como: as colunas de cotas das bocas dos poços e os níveis piezométricos da água. Também foram acrescentadas na tabela os dados dos poços tubulares adquiridos junto ao Departamento Estadual de Pavimentação e Saneamento do Acre (DEPASA). A partir dessas informações, foram extraídos os dados de cada poço que auxiliaram na produção do mapa de nível piezométrico, seção geológica e análises químicas.

3.2 Seção geológica

A produção de uma seção geológica é importante para se ter conhecimento sobre a geometria e profundidade de um aquífero, assim como para identificar quais são os tipos de litologia que abrigam o aquífero e as rochas que o delimitam. Com base nessas informações, é possível estimar se o aquífero é livre, confinado ou semiconfinado.

Para elaborar a seção foram utilizados dados de perfil litológico dos poços do sistema SIAGAS. Para isso foram selecionados os poços de Cruzeiro do Sul que possuíam informações de perfil litológico, esses somam um total de 27 poços na região. Nas primeiras tentativas de se traçar seções foi encontrada uma dificuldade de correlacionar as camadas entre poços que, apesar de muito próximos, possuíam perfis litológicos bastante distintos. Em algumas ocorrências, foram observadas camadas de calcário ou de areia que desapareciam de um poço para outro em poucos metros de distância. As incertezas sobre a interpretação e descrição pobre do perfil litológico tornaram-se obstáculos para confeccionar as seções. Por exemplo, uma camada de areia argilosa de um perfil poderia ser interpretada como uma argila arenosa em outro; ou uma argila calcífera ser tratada como calcário, dentre outras ambiguidades.

Para tentar contornar o problema citado no parágrafo anterior, decidiu-se realizar uma busca bibliográfica por seções geológicas no local. Devido a quantidade limitada de estudos na região, apenas uma seção geológica foi encontrada. Essa seção foi elaborada pela CPRM e publicada no livro de Geodiversidade do Estado do Acre (ACRE, 2015) (Figura 18). Esse perfil com orientação Norte – Sul e 1500 m de comprimento mostra que o aquífero compreende um grupo de três camadas de arenito nos primeiros cinquenta metros de profundidade intercaladas com camadas de argilito calcário (marga), seguidos de um pacote espesso de argilito calcário de cerca de 50 m de espessura. Sob essa camada ocorre mais um intervalo de três camadas de arenitos intercalados com argilito em profundidades que variam de 100 a 140 m.

Baseando-se nessa seção, foi elaborado um padrão que fosse semelhante ao padrão descrito na obra citada. O padrão criado é caracterizado por uma ou mais camadas de arenitos nos primeiros 50 m de profundidade, separados por um pacote espesso de argila, seguido de mais um grupo de uma ou mais camadas de arenitos intercalados com argilitos em profundidades de cerca de 100 m ou mais. Tendo estabelecido esse padrão de todos os perfis litológicos dos poços de Cruzeiro do Sul, foram analisadas todas as ocorrências e classificadas como dentro do padrão ou fora do padrão (Tabela 1).

Tabela 1: Tabela de Poços para construção da seção geológica.

ID SIAGAS	Dentro do padrão	Fora do padrão	UTM E	UTM S
1100001648	X		756052	9155626
1100001649	X		756138	9155698
1100001650		X	755865	9156038
1100001651	X		755958	9156222
1100001652	X		757437	9157413
1100001653		X	757344	9157475
1100001654	X		757253	9157414
1100001655	X		757374	9157229
1100001656		X	757676	9156274
1100001658	X		757981	9156150
1100001659		X	758042	9156088
1100001662	X		756576	9157264
1100001663		X	755980	9154777
1100001665		X	755981	9154962
1100002294		X	756587	9153330
1100002297	X		758261	9156701
1100002614	X		753787	9157371
1100002615	X		748313	9160042
1100002616	X		755605	9159021
1100002617		X	750944	9164915

É importante ressaltar que algumas simplificações foram feitas nas descrições litológicas dos poços com o intuito de simplificar e facilitar a elaboração da seção, assim como de tentar minimizar a discrepância entre as interpretações litológicas de diferentes poços que provavelmente foram descritos por pessoas diferentes. Essas simplificações e aproximações

consistem observar que em alguns poços há a presença de espesso intervalo calcário sem que haja nenhuma menção de calcário no perfil de poços adjacentes. Há muitas outras descrições de argilito calcífero, então foi decidido que onde fosse descrito calcário seria entendido argilito calcífero. Outra aproximação é de que alguns poços possuem argilito arenoso em intervalos com filtro no poço, logo são intervalos onde a vazão é alta o suficiente para a exploração de água subterrânea e, tendo em vista que a argila é muito pouco permeável, decidiu-se interpretar esses intervalos como arenito argiloso, levando em consideração também que a interpretação de quem descreveu a litologia pode ser afetada pela lama do fluido de perfuração.

Tendo classificado os poços com base em seu perfil litológico, importou-se a tabela 1 mostrada previamente para o *software* de mapeamento ArcGIS 10.3, utilizando-se do sistema de coordenadas SIRGAS 2000, com projeção UTM 18S. Todos os poços foram plotados no mapa com a finalidade de escolher os poços que poderiam compor a seção geológica. Aos poços que se enquadravam dentro do padrão atribui-se a cor verde, enquanto que para os poços fora do padrão foi concedida a cor vermelha (Figura 18).

Os poços cuja identificação no portal SIAGAS são 1100002614, 1100001662, 1100001665 e 1100002297 foram escolhidos para compor a seção. Para manter o relevo da superfície o mais fiel possível a seção foi dividida em duas partes, ambas com orientação NW – SE, tendo ao todo 5,13 km de extensão.

A linha que representa a interseção da seção com a superfície em mapa no ArcGIS foi exportada para o software Google Earth, para que fosse possível gerar um perfil de elevação da linha, o qual foi usado para compor a superfície na seção.

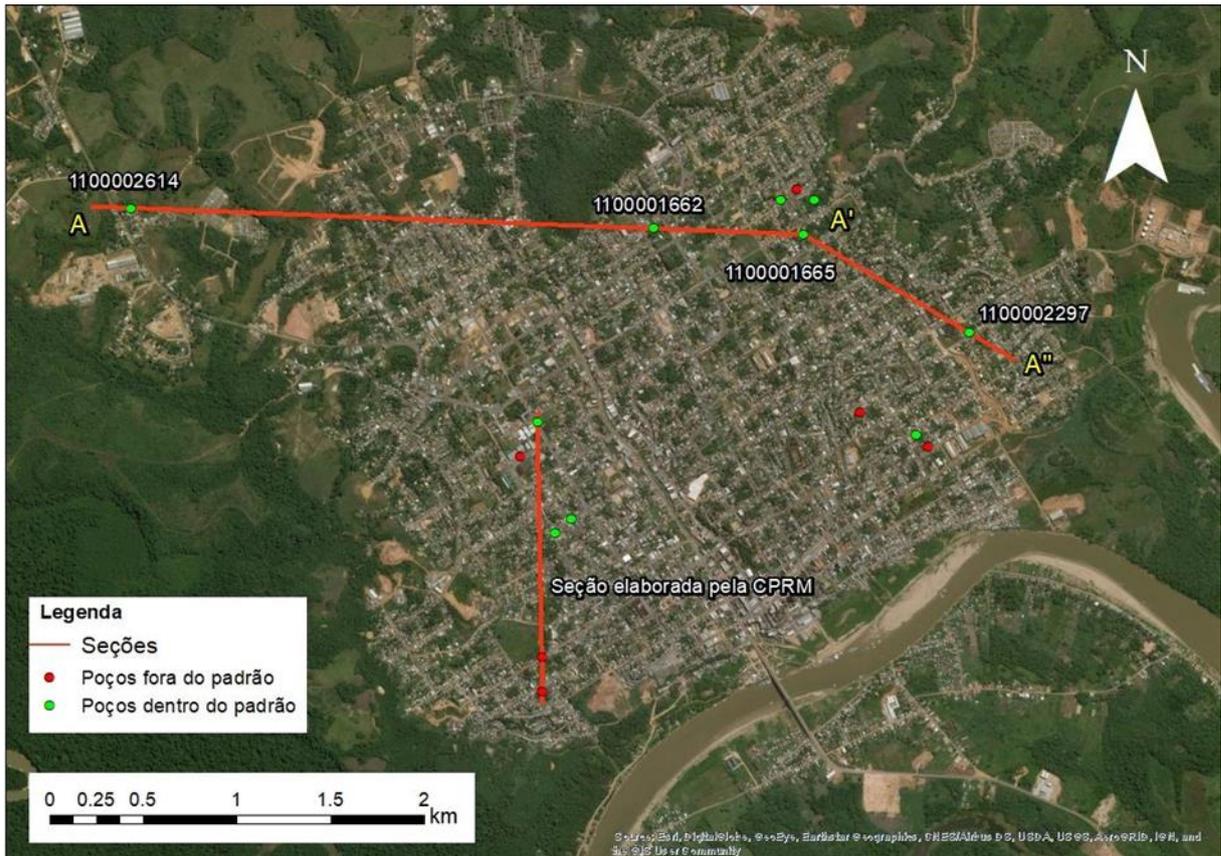


Figura 18: Mapa de poços e seções geológicas desse estudo e da CPRM no livro de Geodiversidade do Acre.

3.3 Piezometria

O mapa da superfície piezométrica do aquífero foi produzido através das medições do nível estático (NE) da água nos poços de Cruzeiro do Sul. Apenas uma parte dos poços possui a medição do NE e sua distribuição na área de estudo não é muito homogênea.

O NE indicado no relatório de cada poço refere-se à profundidade do nível da água nos poços, então para que fosse possível atribuir uma cota altimétrica a esse nível foi necessário determinar a cota da boca de cada poço. Para isso, os poços foram projetados no *software Google Earth* através de suas coordenadas UTM, onde suas cotas foram extraídas. Uma vez projetados no programa o valor de suas cotas foi extraído, e o valor da cota do nível estático foi calculado através da fórmula $COTA\ NE = COTA\ DO\ POÇO - PROFUNDIDADE\ DO\ NE$.

Ao projetar os poços no ArcGIS, notou-se que alguns poços estavam muito próximos uns aos outros, formando um aglomerado de poços. Esse tipo de distribuição espacial causa problemas na hora de interpolar os valores de NE, resultando em falhas e rupturas bruscas no posicionamento das linhas isopiezométricas. Para contornar esse problema foi decidido selecionar apenas um poço de cada uma desses aglomerados de poços, que fosse representativo do todo. Dessa forma, os poços utilizados para a interpolação teriam uma distribuição espacial mais homogênea.

Segundo a CPRM (2015), esse sistema aquífero também apresenta camadas com comportamento livre. Em decorrência disso, três novos pontos foram adicionados a malha de pontos no ArcGIS para aumentar a quantidade de dados para a interpolação e gerar contornos de linha isopiezométricas mais fiéis a realidade. Esses pontos foram arbitrariamente posicionados sobre os rios, dois pontos sobre o rio Juruá na margem da cidade de Cruzeiro do Sul e um ponto em um rio afluente do rio Juruá. Os níveis de NE atribuídos a esses pontos são os mesmos da cota da superfície do rio nesses pontos retirados também *do Google Earth*. A tabela final de pontos utilizadas para a interpolação foi a tabela 2.

Tabela 2: Tabela de pontos para interpolação da superfície piezométrica.

ID_SIAGAS	UTM_E	UTM_S	COTA (m)	NE (m)	Cota NE (m)	Profundidade (m)
1100001648	756052.5	9155626	207	16	191	120
1100001651	755958	9156222	211	15	196	150
1100001652	757437	9157413	201	10,4	190,6	148
1100001659	758042	9156088	192	17	175	120
1100001662	756576	9157264	215	16	199	130
1100002545	756257	9154868	192	23,5	168,5	150
1100002614	753787	9157371	211	31,82	179,18	140
1100002616	755605	9159021	213	27,2	185,8	150
1100002760	752367	9161374	216	25,52	190,48	71
Rio_Jurua_1	757587	9154944	165	0	165	0
Rio_Jurua_2	756974	9154684	165	0	165	0
Rio_afluente	752615	9154863	177	0	177	0

Todos os pontos e *rasters* de interpolação foram projetados com o sistema de coordenadas SIRGAS 2000 e projeção UTM fuso 18S. O método de interpolação utilizado foi de Interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW) realizando correções manuais apenas para adequar as condições de contorno na parte próxima ao rio, obedecendo o leito do rio como nível piezométrico.

3.4 Hidroquímica

As coletas de amostra de água para a posterior análise química em laboratório ocorreram durante a campanha de campo realizada de 05 a 10 de outubro de 2016, na qual eu não pude estar presente, porém participaram membros do HIDROGEO integrantes do Projeto Tikuna (financiador da campanha de campo e das análises). Nessa campanha se coletaram amostras de poços de Cruzeiro do Sul, dentre outras localidades. Ao total foram realizadas análises químicas de 6 poços e uma amostra do rio Juruá. Os poços estão cadastrados no SIAGAS (com exceção dos poços das amostras BRAC08p e BRAC09p), e durante a campanha ganharam uma identificação própria do projeto Tikuna, assim como a amostra de rio (Tabela 3). Além dessas amostras, dados de análise química de outro poço (JR 234) realizada pela CPRM em 2013 através da Rede Integrada de Monitoramento Água Subterrânea (RIMAS) foi integrada ao estudo.

A seleção de poços a serem amostrados tiveram como requisito profundidade superior a 70 m (Figura 19) para que fossem coletadas amostras também representativas de camadas mais profundas, com exceção de um poço de 6 m (Figura 20) de profundidade (BRAC08p) para amostragem de água nas camadas superficiais quaternárias, e amostra do rio (BRAC 11r).



Figura 19: Poço tubular utilizado para coleta de amostra



Figura 20: Poço raso (BRAC08p)

Tabela 3: Identificação do projeto e identificação correspondente do SIAGAS e suas profundidades.

ID Projeto	ID SIAGAS	Prof (m)
BRAC01p	1100001648	120
BRAC02p	1100002292	200
BRAC03p	1100002295	150
BRAC07p	1100002882	176
BRAC08p	1100002883	6
BRAC09p	--	150
BRAC11r	Rio	Superficial
JR 234	1100002616	150

Para a coleta das amostras alguns procedimentos foram tomados com a finalidade de garantir uma amostra com características químicas fiéis às águas na formação. Antes da coleta os poços foram bombeados por pelo menos 10 minutos para evitar contaminação da água pela tubulação. Após o bombeamento, foram realizadas as aferições dos parâmetros físico-químicos *in situ*, como pH, condutividade elétrica, temperatura, total de sólidos dissolvidos (TSD) e alcalinidade em carbonato.

Para realizar as medições foram utilizados equipamentos portáteis da fabricante *Hanna Instruments*, calibrados antes da campanha de campo. Para cada parâmetro físico-químico foram utilizados os seguintes equipamentos da *Hanna* e *Hach* (código do fabricante): pH e temperatura – HI98127, condutividade elétrica e TSD – HI98311, alcalinidade – Kit de Alcalinidade da fabricante *Hach* (modelo 20637-00).

Após as medições *in situ*, as amostras de água foram coletadas para a análise em laboratório. As amostras de água foram acondicionadas em 2 frascos de plástico de 250 ml, utilizando-se luva de plástico descartável para evitar contaminação e seguindo os procedimentos de coleta estabelecidos pelo laboratório. O laboratório responsável por fazer as análises químicas foi o Laboratório de Caracterização de Águas (LAB-AGUAS) da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

No citado laboratório, além dos parâmetros físico-químicos medidos também *in situ* foram medidos os teores de bicarbonato e os cátions sódio, potássio, cálcio e magnésio, mais os ânions fluoreto, cloreto, brometo, nitrato, fosfato e sulfato, ademais de metais. Para cada parâmetro foi utilizada a metodologia indicada na tabela 4.

Os valores obtidos nas análises químicas laboratoriais, principalmente referentes ao bicarbonato, valores iônicos e de TSD foram utilizados para elaborar gráficos binários e de *Piper, Schoeller e Stiff*. Os gráficos de *Stiff* de cada amostra foram projetados no mapa utilizando-se as coordenadas UTM com sistema de coordenadas SIRGAS 2000 para avaliação da variação espacial das características químicas das águas.

Tabela 4: Parâmetros determinados em laboratório e respectivas metodologias

Ensaio	Metodologia
Aspecto Natural	Visual
Odor a Frio	Sensorial
Sólidos em Suspensão	Visual
Cor aparente	NBR 13798-97
Cor real	NBR 13798-97
Turbidez	MB-3227-90
pH a 25°C	ASTM D1293-12
Condutividade a 25°C	ASTM D1125-95
Total de Sólidos Dissolvidos	Calculado
Dureza total em CaCO₃	
Dureza Permanente em CaCO₃	
Dureza Temporária em CaCO₃	
Alcalinidade Total em CaCO₃	ASTM D1067-11
Carbonato em CO₃⁻²	
Bicarbonato em HCO₃⁻	
Fluoreto	ASTM 4327-11
Cloreto	
Brometo	
Nitrato	
Fosfato	
Sulfato	
Sódio	ASTM D6919-09
Potássio	
Cálcio	
Magnésio	
Metais	EPA 200-8

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Seção geológica

Ao vincular as litologias do perfil de cada poço em camadas e, em alguns casos, lentes, segundo a interpretação geológica realizada (modelo conceitual geológico), a hipótese mais coerente foi a que configurou a seção presente na Figura 21.

A seção de orientação NW-SE e 5,13 km de extensão mostrou um pacote de arenitos de até 40 m de espessura, que aflora na parte central da seção. Esse pacote assenta-se sobre uma camada de argilito com espessura variável, desde 5 m na região central da seção e aumentando conforme aproxima-se das bordas, chegando até uma espessura máxima de 30 m. Essa camada de argilito aflora em algumas partes das extremidades da seção.

Abaixo da primeira camada de argilito encontra-se uma outra camada de arenito, que atravessa toda a seção, contudo é considerada como semi-confinada regionalmente, como será discutido posteriormente nessa mesma seção. Essa camada possui um mergulho suave para SE, e seu topo e base encontram-se respectivamente em cotas que variam entre aproximadamente 195 m na porção NW da seção e 155 m na porção SE. Na porção NW da seção, essa camada possui uma espessura média de 15 m, chegando a ter 20 m segundo o perfil do poço 1100001662. Ao encontrar o poço 1100002297, na parte SE da seção, essa camada se adelgaça e passa a ter cerca de 4 m de espessura, seguindo com essa dimensão até o final da seção.

Sotoposto a camada de arenito descrita acima, ocorre um grande pacote de argilito, com cerca de 60 m de espessura. Nessa camada de argilito ocorrem algumas lentes de arenito com aproximadamente 2 m de espessura. Na região SE da seção outras duas camadas de arenito são

identificadas, mas não se sabe se elas representam a extremidade de grandes camadas de arenito ou apenas lentes.

Sob o espesso pacote de argilito encontra-se mais uma camada de arenito, que também atravessa toda a seção. Essa camada possui uma espessura praticamente constante de 15 m e possui uma cota média de 95 m. Seu topo atinge cota máxima de 110 m na porção central da seção identificada no poço 1100001662, onde a camada possui uma geometria levemente convexa e contém uma lente de argila de cerca de 2 m de espessura. Sua base alcança cota mínima de 74 m no poço 1100002297 na parte SE da seção.

É importante salientar que tanto as camadas de argilito quanto a de arenito possuem partes em que são calcíferas, chegando até mesmo a ser consideradas como calcários em alguns perfis.

Com relação às propriedades do aquífero, é possível notar três camadas que podem abrigar água subterrânea com potencial de exploração: a camada livre de arenito superior, a camada semi-confinada intermediária de arenito e a camada confinada de arenito de maior profundidade no perfil analisado. Em todos esses horizontes os poços possuem filtros, o que significa que provavelmente notou-se a potencialidade de água subterrânea nesses intervalos.

Deve-se ter em mente que os valores de nível estático (NE) identificados nos poços são na verdade uma composição dos NEs das diferentes camadas aquíferas captadas pelos filtros dos poços. Ressalta-se que o poço 1100001655 não possui informação sobre posição de filtros.

O pacote superior de arenito possui uma cota de NE de 205 m, de acordo com o poço 1100001662. Esse arenito aflora em superfície e, por isso, esse valor alto de cota do NE pode ser reflexo de uma contribuição de água recente que infiltra na camada localmente (aquífero suspenso). Esse arenito sobrepõe uma camada de argila que também aflora em superfície, por esses motivos pode-se dizer que esse aquífero, que compõe parte do sistema aquífero Içá-Solimões, pode ser considerado como livre e com possibilidade de ser também suspenso.

A camada confinada de baixa profundidade possui filtros em dois poços diferentes: o poço 1100001662 e o poço 1100002614. O poço 1100001662 possui cota do NE de 205 m enquanto o poço 1100002614 possui cota de NE de 185 m. A diferença entre esses poços é que o segundo poço não perfura a camada de arenito superficial, logo não tem influência da água do aquífero livre. Outra explicação é de que o nível piezométrico do poço pode ter sofrido o efeito do bombeamento em poços adjacentes, diminuindo a cota do NE ao realizar a medição. Ambas hipóteses podem explicar a diferença de nível do NE. O fato do NE do poço 1100002614 estar abaixo do topo da camada sugere que a camada não está totalmente saturada. Esse aquífero, por ser pouco profundo, provavelmente pode ser considerado como parcialmente confinado, mesmo estando totalmente confinado na atual seção.

Por fim, a camada mais profunda de arenito, que possui filtros em todos os poços que a perfuram (com exceção do poço sem dados), pode ser considerada como um aquífero confinado, com água mais antigas do que os outros aquíferos.

4.2 Piezometria

O levantamento do nível estático da água nos poços mostrou que há uma variação de até 25,1 m na superfície piezométrica. Levando em consideração o nível do rio Juruá na margem da cidade (nível medido, que apresenta grande variação ao longo do ano), essa diferença sobe para 30,6 m conforme mostra a tabela 5.

Tabela 5: Poços e pontos nos rios e correspondentes cotas de NE.

ID_SIAGAS	COTA (m)	Cota NE (m)
1100001648	207	191
1100001651	211	196
1100001652	201	190,6
1100001659	192	175
1100001662	215	199
1100002545	192	168,5
1100002614	211	179,18
1100002616	213	185,8
1100002760	216	190,48
Rio Juruá1	165	165
Rio Juruá2	165	165
Rio afluente	177	177

A potenciometria do nível freático indica que o NE dos poços na região central da cidade é mais elevado, diminuindo em direção ao rio Juruá. Para oeste, em direção oposta ao rio Juruá, há uma diminuição do nível estático de NW para SW, onde se encontra um rio afluente ao rio Juruá. De maneira geral, o NE parece aumentar do leito dos rios para áreas mais afastadas (Figura 22), mostrando que o fluxo da água subterrânea ocorre em direção aos rios. A cota do NE possui uma correlação positiva com a cota do terreno, ou seja, as partes mais altas possuem um NE mais elevado, o que sugere uma forte contribuição do aquífero livre nas medições dos níveis estáticos nos poços e também na alimentação do nível e base dos rios locais (efluentes).

É notável também a redução do NE nas proximidades do poço 1100002614 (na parte média a esquerda da figura) que aparenta ser resultado do efeito de bombeamento de poços próximos durante a medição do NE, ou até mesmo do bombeamento no próprio poço pouco antes de realizar a medição do NE. Esse poço é também o primeiro poço que compõe a seção geológica, e como mencionado anteriormente, a diferença do NE nesse poço pode ser causado pela ausência da influência do aquífero livre.

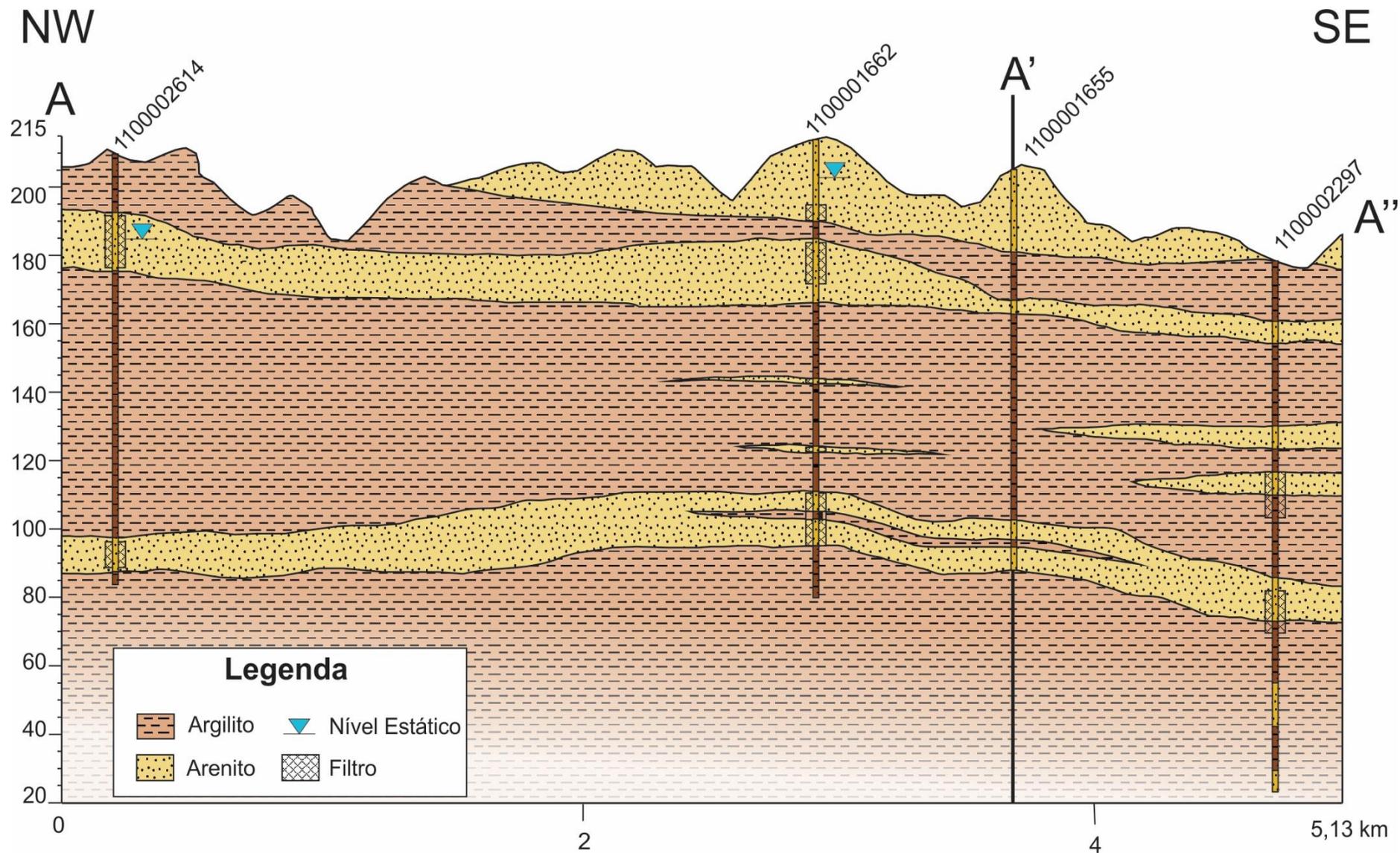


Figura 21: Seção geológica de Cruzeiro do Sul com base nos poços investigados na presente pesquisa, com indicação do NE dos poços.

4.3 Hidroquímica

4.3.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS (MEDIÇÕES *IN SITU*)

A comparação entre valores dos parâmetros hidroquímicos obtidos em campo e obtidos pela análise química de amostras em laboratório mostrou algumas diferenças, conforme apresentado na tabela 4. Os valores de condutividade elétrica (CE) mostraram-se superiores na medida de campo para todos os poços, exceto o BRAC08p e JR 234, com uma variação pequena entre as medições, sendo a maior delas obtida no poço BRAC02p com diferença de 165 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (variação de 25% do valor obtido em campo). Os poços BRAC08p e JR 234, que possuem os menores valores de CE, tiveram uma variação positiva na análise de laboratório. Os valores de condutividade elétrica variam em função da temperatura, porém essa variável é descartada, já que ambas as medições são convertidas para valores em 25° C. O TSD é calculado com base na CE, por isso teve comportamento semelhante, salvo algumas exceções que podem ter sido causados pela diferença no fator de conversão utilizado no laboratório. O fator de conversão utilizado para obtenção do TSD foi de 0,65, esse fator pode variar de 0,55 a 0,75 (CPRM, 2000), conforme a natureza dos sais dissolvidos.

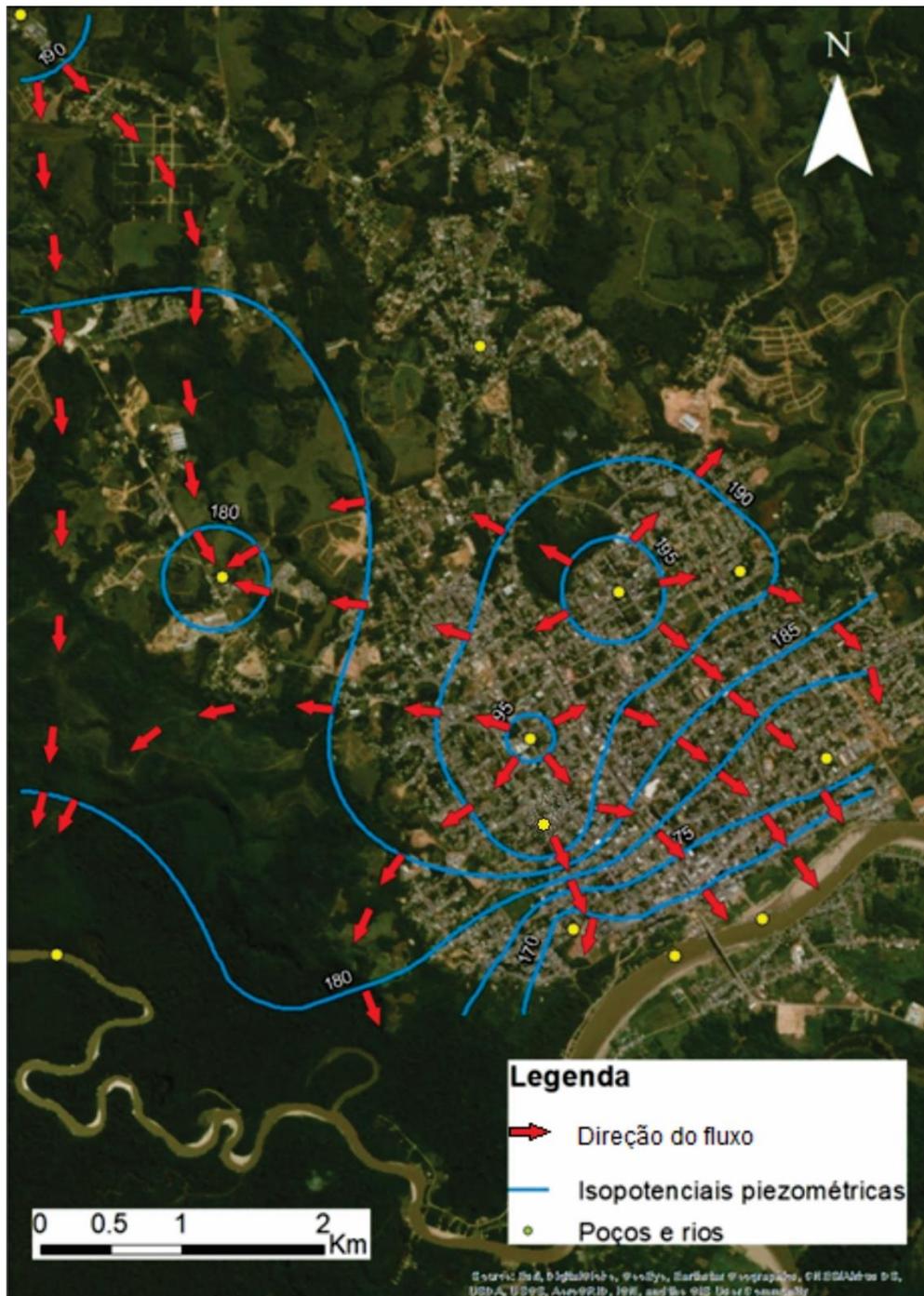


Figura 22: Mapa de isopiezas do aquífero freático de Cruzeiro do Sul. As setas indicam a direção de fluxo.

Os valores de pH tiveram pequenas variações, sendo a maior delas de 0,36 unidades de pH na amostra BRAC01p. Os valores de alcalinidade também tiveram variação pequena. No

geral, os resultados da medição dos parâmetros físico-químicos em laboratório e em campo estão na mesma ordem de grandeza e podem ser considerados compatíveis entre si.

A diferença entre os valores medidos em campo e os valores medidos em laboratório deve-se ao fato de que reações de oxidação e redução podem ocorrer, alterando os valores de sólidos dissolvidos, condutividade elétrica, e alcalinidade, as diferenças nos valores de pH podem ser causadas devido a fuga de CO₂, gás que quando presente na água diminui o pH, ou em todos os casos, diferenças na precisão dos instrumentos utilizados.

Tabela 6: Tabela de comparação de valores físico-químicos obtidos in situ e em laboratório. (+)

significa variação positiva e (-) significa variação negativa.

Medida de Campo					Medida de laboratório			
ID	CE (μ S/ cm)	TSD (ppm)	pH	Alcalinidade (mgCaCO ₃ / L)	CE (μ S/cm)	TSD (ppm)	pH	Alcalinidade (mgCaCO ₃ / L)
BRAC01p	495	321,75	8,14	197	456 (-)	299 (-)	8,5 (+)	255 (+)
BRAC02p	656	426,4	8,28	256	491 (-)	321 (-)	8,35 (+)	278 (+)
BRAC03p	598	388,7	8,76		521(-)	340 (-)	8,62 (-)	297
BRAC07p	689	447,85	8,4	270	666 (-)	432 (-)	8,17 (-)	286 (+)
BRAC08p	27	24,3	5,35		43.4 (+)	37,9 (+)	5,2 (-)	6,25
BRAC09p	306	198,9	8,03	126	298 (-)	199 (=)	8,09 (+)	165 (+)
BRAC11r	164	106,6	7,9	43	156 (-)	109 (+)	7,63 (-)	71,3 (+)
JR 234	46.4	41,76			95,3* (+)	62 (+)	5,14	13,55

Os valores de CE relativamente elevados dos poços, exceto BRAC08p e JR 234, podem refletir a relevante presença de águas de partes confinadas do sistema aquífero Içá-Solimões no bombeamento dos poços. As águas confinadas têm geralmente maior tempo de residência e tendem a apresentar um TSD maior do que águas novas e recém infiltradas, resultando em maior quantidade de íons dissolvidos e maior valor de CE. Em contrapartida, o poço BRAC08p,

que é um poço raso (6m) possui CE e TSD baixos, refletindo as águas recentes do aquífero livre.

O poço JR 234 apesar de profundo possui características físico-químicas diferentes dos demais poços, com valores de CE, TSD, alcalinidade e pH menores, valores próximos ao do poço raso, o que pode significar uma maior influência do aquífero livre nesse poço em relação aos aquíferos confinados. A água do Rio Juruá apresentou valores intermediários entre os encontrados nas rochas do quaternário do aquífero livre e das rochas mais antigas dos aquíferos confinados.

4.3.2 ANÁLISES QUÍMICAS DE LABORATÓRIO

A análise química das amostras visou a obtenção do teor de diversos elementos, cátions e ânions dissolvidos na água. Nesse estudo serão abordados apenas os principais cátions e ânions que, juntos, somam praticamente a totalidade de elementos dissolvidos nas águas subterrâneas. São eles bicarbonato (HCO_3^-), cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-), sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{+2}) e magnésio (Mg^{+2}) (CPRM, 2010).

De acordo com o resultado das análises químicas o teor de cada um desses íons presentes nas amostras encontra-se na tabela 7.

A tabela 7 mostra os resultados de concentração em mg/L, porém para elaborar os seguintes diagramas é necessário utilizar as unidades em miliequivalentes-grama (meq/L), a milésima parte de um equivalente iônico em solução. A tabela 8 mostra os valores dos íons em meq/L.

Tabela 7: Tabela de concentração dos principais íons por amostra.

ID	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)
BRAC01p	311	0,26	1,43	0,011	116	4,3	10	2,15
BRAC02p	339	0,2	1,45	0,067	124	4,45	9,6	2,71
BRAC03p	363	0,22	1,52	0,026	138	4,87	7,91	2,17
BRAC07p	349	8,66	57,1	0,15	153	4,35	20,6	6,16
BRAC08p	7,63	2,43	3,16	8,89	13,2	0,57	2,29	0,28
BRAC09p	201	0,11	0,38	0,063	17,6	2,99	37,7	6,67
BRAC11r	86,9	0,45	4,37	1,37	7,44	2,15	21,5	3,05
JR 234	16.531	3,857	0,284	7,857	2,6	5,92	0,919	0,915

Tabela 8: Tabela de concentração dos principais íons em meq/L.

ID Projeto	HCO ₃ ⁻ meq/L	Cl ⁻ meq/L	SO ₄ ²⁻ meq/L	NO ₃ ⁻ meq/L	Na ⁺ meq/L	K ⁺ meq/L	Ca ²⁺ meq/L	Mg ²⁺ meq/L
BRAC01p	5,098	0,007	0,030	0,000	5,043	0,110	0,500	0,178
BRAC02p	5,557	0,006	0,030	0,001	5,391	0,114	0,480	0,224
BRAC03p	5,951	0,006	0,032	0,000	6,000	0,125	0,396	0,179
BRAC07p	5,721	0,244	1,190	0,002	6,652	0,111	1,030	0,509
BRAC08p	0,125	0,068	0,066	0,143	0,574	0,015	0,115	0,023
BRAC09p	3,295	0,003	0,008	0,001	0,765	0,076	1,885	0,551
BRAC11r	1,425	0,013	0,091	0,022	0,323	0,055	1,075	0,252
JR 234	0,271	0,109	0,006	0,127	0,113	0,151	0,046	0,076

Na Tabela 9 é possível analisar com o coeficiente de correlação de Pearson (r) correlações entre os diferentes íons. O valor do coeficiente varia de -1 a 1, sendo -1 uma correlação linear perfeita negativa, 1 uma correlação linear perfeita positiva e 0 nenhuma correlação (SANTOS 2015). Valores com alto grau de correlação indicam que esses íons provavelmente são derivados da mesma fonte, enquanto que valores com baixo grau de correlação indicam íons que derivam de fontes diferentes. Os valores de HCO₃⁻ e Na⁺ possuem um alto grau de correlação positiva (0,932) indicando que esses íons foram liberados na água durante o mesmo processo, assim como ocorre com os íons Ca²⁺ e Mg²⁺ (0,906).

Tabela 9: Tabela de coeficiente de correlação entre os íons.

	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
HCO ₃ ⁻	1							
Cl ⁻	0,002	1						
SO ₄ ²⁻	0,349	0,885	1					
NO ₃ ⁻	-0,851	0,208	-0,223	1				
Na ⁺	0,932	0,215	0,481	-0,643	1			
K ⁺	0,454	0,177	0,105	-0,274	0,459	1		
Ca ⁺	0,213	-0,062	0,221	-0,592	0,459	-0,202	1	
Mg ⁺	0,451	0,258	0,538	-0,661	0,235	0,057	0,906	1

4.3.3 DIAGRAMA DE GIBBS

O Diagrama de Gibbs tem a finalidade de visualizar os mecanismos que controlam a química das águas na natureza. O diagrama teve como sua proposta original criar uma envoltória que agrupa três diferentes tipos de mecanismos que atuam sobre a composição química das águas de rios espalhados por todo o mundo. Por ser uma envoltória criada a partir de águas superficiais, ao produzir o diagrama com as amostras de água subterrânea, devido ao alto teor de sódio algumas amostras ficaram fora da envoltória, com exceção das amostras BRAC11r e BRAC009p (Figura 22-a). Contudo, pode-se considerar que todas elas se enquadram dentro do domínio dos fenômenos que ocorrem no domínio das rochas (Figura 23-a).

O diagrama de Gibbs que leva em consideração os íons cloreto e bicarbonato no eixo das abcissas, teve como resultado que algumas amostras caíram um pouco fora da envoltória devido ao baixo teor de cloreto e alto teor de bicarbonato, mas todas elas também se encontram próximas a região de domínio de rocha podendo ser consideradas como pertencentes a esse grupo (Figura 23-b).

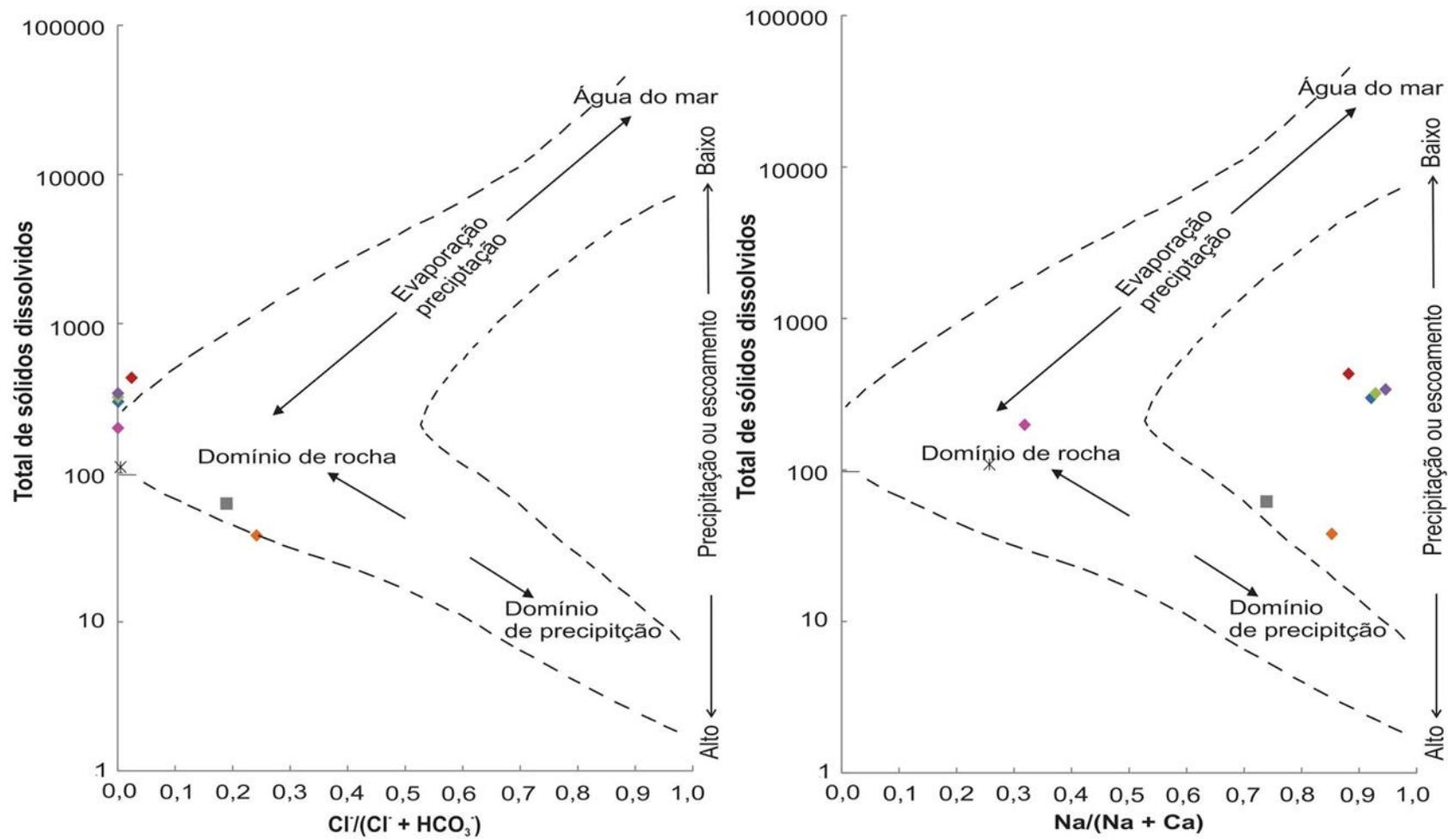
As águas que caem sobre o domínio das rochas apresentam-se em equilíbrio parcial com os minerais presentes nos solos e rochas em contato, e dependem do relevo, clima e composição das rochas onde se encontram (Gibbs, 1970).

4.3.4 DIAGRAMA DE PIPER

O diagrama de Piper consiste em um conjunto de 2 triângulos equiláteros e um losango central. Cada triângulo equilátero representa um grupo de três cátions ou ânions, e cada ponta do triângulo representa a porcentagem máxima (100%) de um cátion ou ânion, enquanto a base do triângulo cuja aresta é oposta ao vértice de 100% representa o valor de 0% do íon em questão. Os ânions utilizados são HCO_3^- , SO_4^- e Cl^- enquanto que os cátions utilizados são $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$, Ca^{2+} e Mg^{2+} . Os valores de cada triângulo são projetados para o losango central, e o cruzamento entre as projeções define o ponto no losango. As águas geoquimicamente similares agrupam-se em áreas bem definidas no losango. Dessa forma, esse gráfico permite representar muitas análises de uma maneira que não fique confusa e essa é uma de suas maiores vantagens (CUSTODIO e LLAMAS, 1983).

O diagrama de Piper (Figura 24) permite agrupar as amostras em dois grupos distintos: as águas bicarbonatadas cálcicas (BRAC09p e BRAC11r) e as águas bicarbonatadas sódicas (BRAC01p, BRAC02p, BRAC03p, BRAC07p, BRAC08p e JR234).

A água do poço BRAC09p é quimicamente muito semelhante a água do rio Juruá. As águas do poço raso BRAC08p e do poço JR 234, apesar de serem bicarbonatadas sódicas, diferenciam-se das demais amostras desse grupo pela maior concentração de cloreto e nitrato respectivamente, sendo 2,43 mg/L e 8,89 mg/L para o poço raso e 3,86 mg/L e 7,86 mg/L para o poço JR 234.



◆ BRAC01p ◆ BRAC02p ◆ BRAC03p ◆ BRAC07p ◆ BRAC08p ◆ BRAC09p ✕ BRAC11r ■ JR 234

Figura 23: Diagrama de Gibbs: a) considerando a razão entre Na^+ e a soma de Na^+ e Ca^{+2} , b) considerando a razão entre Cl^- e a soma entre Cl^- e HCO_3^-

Diagrama de Piper

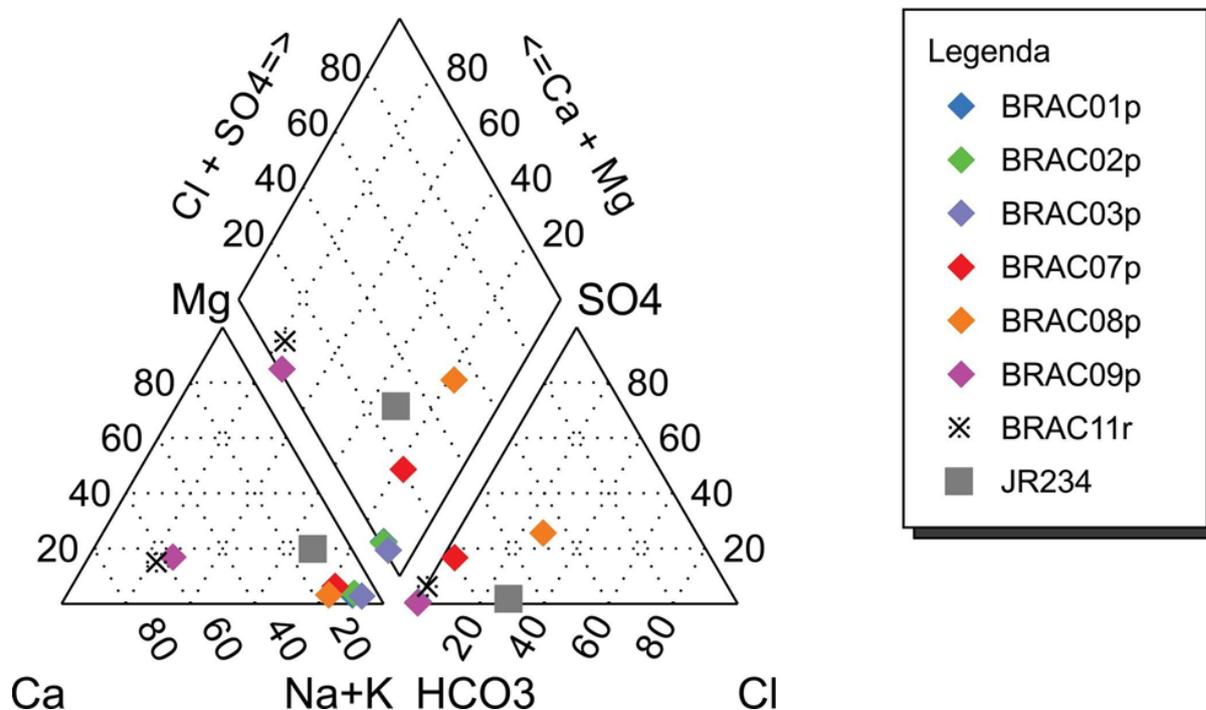


Figura 24: Diagrama de Piper das análises químicas das amostras.

4.3.5 DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

O diagrama de Schoeller-Berkaloff (ou logarítmico) permite comparar o perfil químico de todas as amostras em um único gráfico, onde o eixo Y é a concentração e o eixo X é dividido nos seis íons analisados, a concentração de cada íon se conecta com os íons vizinhos através de retas (Figura 25). Águas com química semelhante possuem o mesmo padrão de retas.

No diagrama logarítmico é possível observar novamente a forte semelhança química das amostras BRAC01p, BRAC02p e BRAC03p. A amostra BRAC07p foge um pouco do padrão das anteriores por possuir teores bem maiores de cloreto e sulfato.

Teores altos de cloreto também são encontrados nas amostras do poço raso e JR 234. A amostra JR234 possui um padrão bem diferente de todas as outras. Já a amostra do poço raso

possui um padrão parecido com as amostras BRAC01-07p, apesar de as concentrações iônicas serem praticamente uma ordem de grandeza menores e a concentração de cloreto ser uma ordem de grandeza maior.

A amostra BRAC08p possui um padrão parecido com as amostras BRAC01-3p porém com menor teor de Na^+ , Ca^{+2} e HCO_3^- e maiores teores de SO_4^- e Cl^- . A amostra JR 234 mostrou-se diferente das demais por ser a única com maiores teores relativos de Mg^{+2} em relação ao Ca^{+2} e também por possuir altos níveis de Cl^- . Embora não esteja no gráfico a amostra JR 234 e BRAC08p possuem altos níveis de NO_3^- .

As amostras BRAC09p e BRAC11r novamente possuem um padrão bem semelhante, sendo as únicas com maior teor de cálcio do que de sódio. Todas as amostras são ricas em bicarbonato.

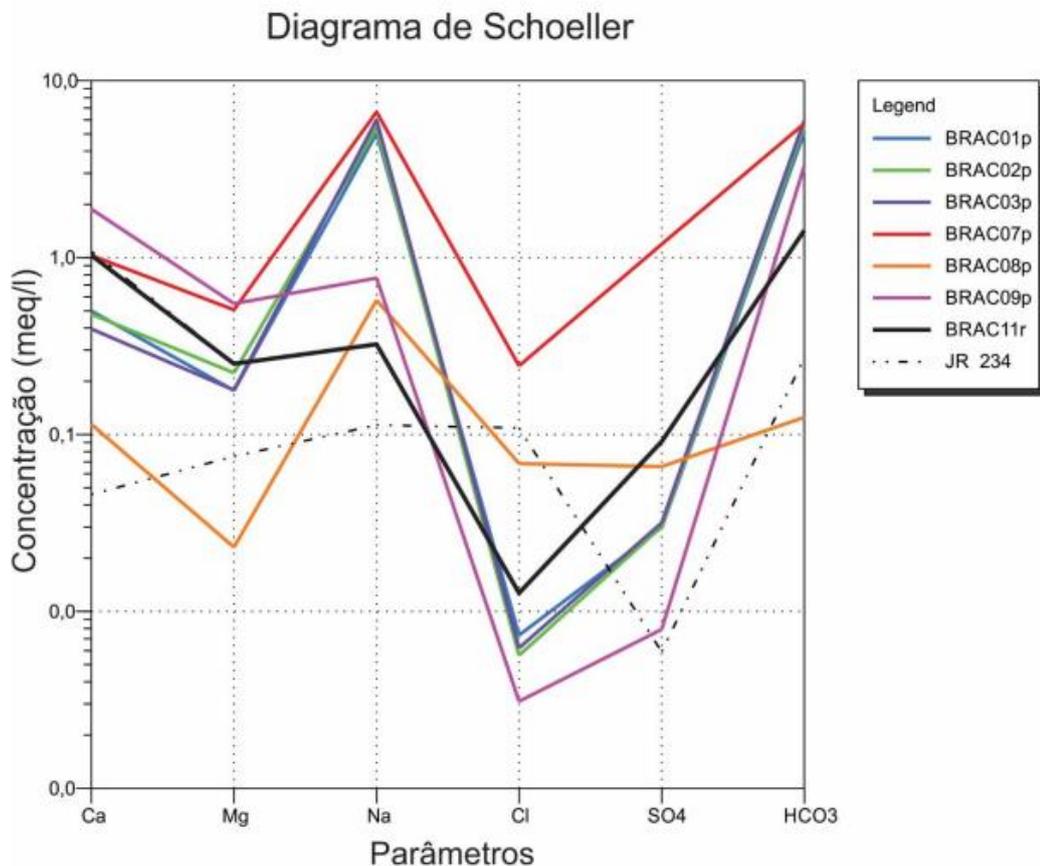


Figura 25: Diagrama de Schoeller-Berkaloff da água subterrâneas e do rio Juruá (JR234) na área de estudo.

4.3.6 DIAGRAMAS DE STIFF

O diagrama de Stiff é outra forma de visualizar o perfil químico das amostras, caracteriza-se por um polígono, cujo vértice representa um íon, o eixo X representa o teor em meq/L, então quanto mais longe o vértice estiver do eixo central maior o teor do íon que o vértice representa. O diagrama de Stiff é especialmente interessante de analisar quando visto em mapa, pois dessa forma é possível fazer uma análise espacial dos diferentes tipos de água amostradas (Figura 26).

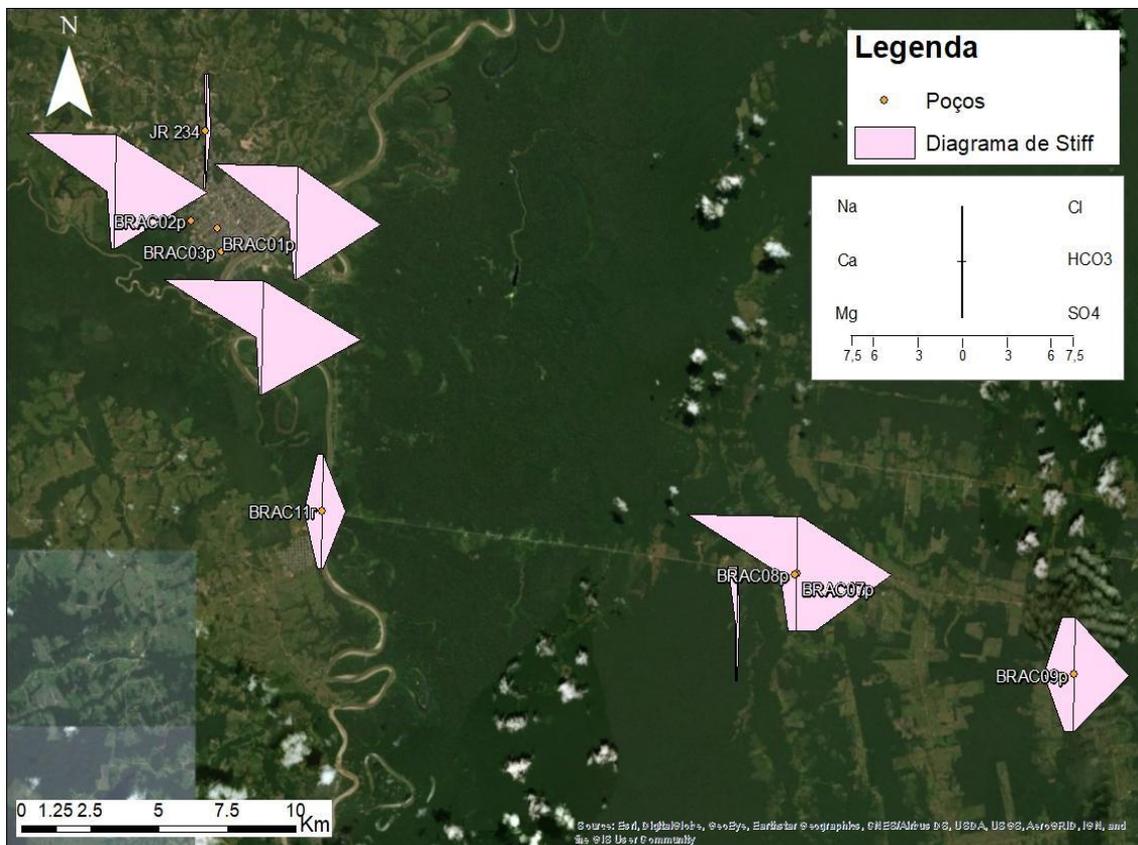


Figura 26: Mapa de diagramas de Stiff.

O mapa de diagrama de Stiff mostra que na região central da cidade de Cruzeiro do Sul, as amostras BRAC01p, BRAC02p e BRAC03p possuem o mesmo padrão químico, assim como a amostra BRAC07Pp, mesmo estando um pouco mais afastada. Essa semelhança é uma forte evidência de que esses poços estão captando água dos mesmos aquíferos, e que provavelmente,

um deles é o aquífero confinado inferior, devido aos altos teores de sais dissolvidos como Na^+ e o HCO_3^- .

A amostra JR 234, apesar de ser também de um poço profundo e estar próxima das amostras do centro da cidade, possui uma característica química muito diferente. Ao analisar a posição dos filtros nesse poço é possível observar que os filtros mais profundos que vem depois de um grande pacote de argila estão posicionados em camadas de argila arenosa, e por isso talvez a permeabilidade dessas camadas seja reduzida comparada a das camadas profundas de arenito dos outros poços. Logo, a maior parte das águas bombeadas por esse poço deve provir das camadas aquíferas superiores, onde também se encontram filtros. A maior contribuição de águas desses aquíferos resulta na química mais depletada de íons comparada as amostras dos outros poços próximos, além de um perfil químico diferente e maior teor de cloreto e nitrato. Outra possibilidade, embora seja menos provável, pode estar no processo de análise química da amostra ter alterado os resultados, pois essa análise foi feita pela CPRM e não durante a campanha de campo do projeto Tikuna.

A amostra BRAC08p de poço raso, apesar de estar muito próxima ao poço BRAC07p possui característica química bem diferenciada desse poço, isso por que o poço é raso. Essa amostra também possui teor de sais dissolvidos bem menores e um enriquecimento em cloreto e nitrato, o que fortalece ainda mais a ideia de que o poço JR 234 possa estar tendo contribuição muito maior dos aquíferos superiores.

O poço BRAC09p, apesar de ter uma química muito semelhante à da água do rio Juruá, está muito distante desse rio ou de qualquer outro rio, o que torna a possibilidade de uma influência da água do rio nesse poço pouco provável. Esse poço se localiza muito longe dos demais, logo, a composição química das águas bombeadas nele pode mostrar uma diferenciação química que o aquífero pode estar sofrendo conforme afasta-se da cidade, por influência litológica ou de outra natureza.

4.3.7 DIAGRAMAS BINÁRIOS

Os diagramas binários utilizam-se de razões entre íons para compreender o caráter de reação química que a água subterrânea sofre com o meio rochoso, e assim estimar a natureza dos minerais com que a água reage, dissolvendo seus componentes, e resultando em sua composição química final. Esses diagramas são importantes para dar uma ideia da natureza da rocha onde o aquífero se encontra, como também podem indicar a ocorrência de precipitação de minerais que a água pode gerar.

O gráfico de $(Ca^{+2}+Mg^{+2})$ versus $(HCO_3^- + SO_4^{-2})$ (Figura 27) mostra que a alta concentração dos bicarbonatos nos poços não provém do intemperismo de carbonatos. O gráfico mostra que se houvesse intemperismo de carbonato, as concentrações de Ca^{+2} e Mg^{+2} deveriam ser mais elevadas em relação aos íons $HCO_3^- + SO_4^{-2}$. Os resultados indicam que esses íons talvez provenham do intemperismo silicatos.

O alto teor de $(HCO_3^- + SO_4^{-2})$ em relação a quantidade de $(Ca^{+2}+Mg^{+2})$ sugere que os íons de bicarbonato e sulfato poderiam estar ligados à outros cátions antes de sofrerem dissolução, e os outros grandes cátions são os alcalinos Na^+ e K^+ , principalmente o bicarbonato, pois apresentam teores muito mais elevados. A linha central, que representa a razão 1:1, está relacionada a dissolução de calcita, dolomita, gipsita ou aragonita (FISHER e MULLICAN, 1997 *apud* SINGH *et al.*, 2013); KATZ *et al.*, 1998 *apud* RAMESH e GOWRI, 2012).

Próximo a essa linha apenas a amostra do rio, e talvez a amostra do poço BRAC09p e o poço raso BRAC08p, indicando que possivelmente esses processos ocorram nas partes mais superficiais do aquífero, ou que haja uma troca catiônica liberando maior quantidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} no sistema. Além disso, a correlação fraca entre $Ca^{2+} - HCO_3^-$ (0,21) e $Ca^{2+} - SO_4^{2-}$ (0,22) mostra que a dissolução de calcita e de gipsita não são os maiores contribuintes para a dissolução desses íons no sistema (SINGH *et al.*, 2013).

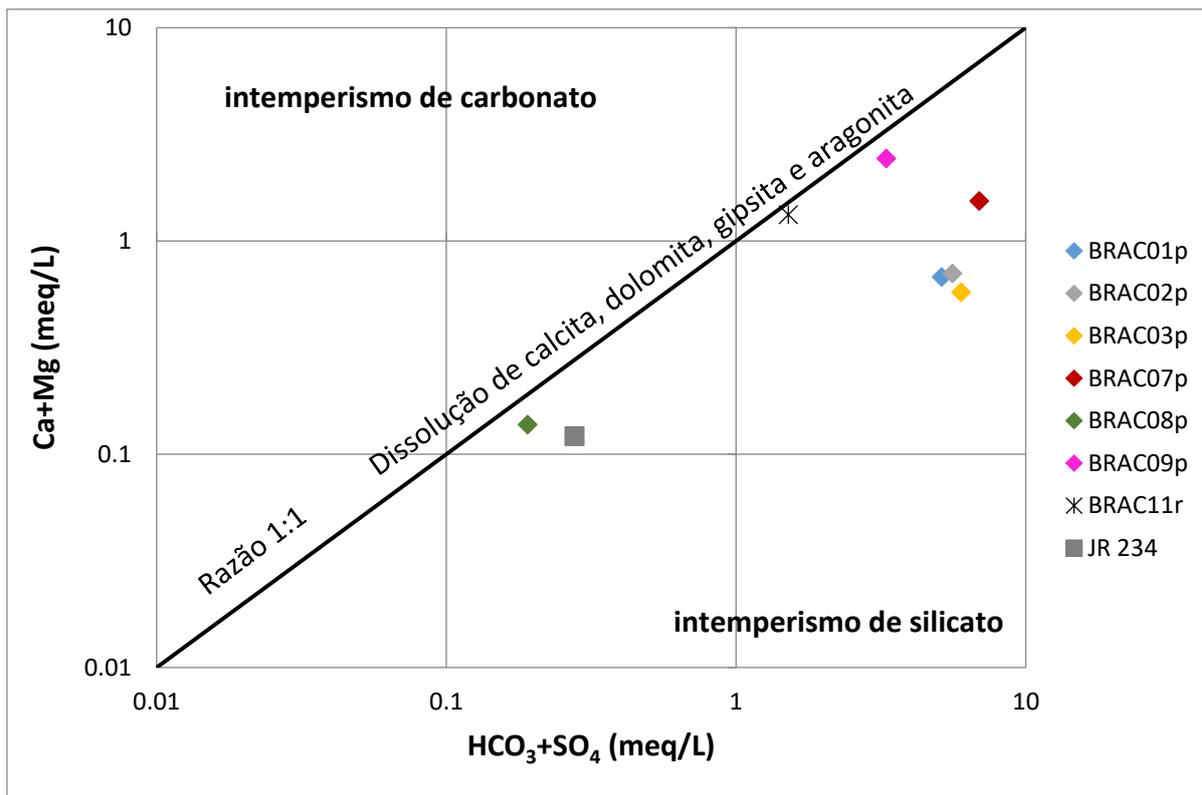


Figura 27: Gráfico de $(Ca^{+2}+Mg^{+2})$ versus $(HCO_3^- + SO_4^{-2})$

Apesar do gráfico não evidenciar a dissolução de carbonato, é necessário considerar a possibilidade da contribuição parcial das camadas de argilito calcífero descritas nos perfis litológicos dos poços, e até mesmo de concreções e camadas carbonáticas descritas na bibliografia, que mesmo não abrigando os aquíferos poderiam ter uma influência restrita nas áreas de contato entre essas camadas e as camadas aquíferas.

O gráfico de Na^+/Cl^- (Figura 28) mostra as possíveis fontes dos elementos no sistema. Em aquíferos onde a fonte de Na^+ provém da dissolução de halita ($NaCl$), as razões de Na/Cl devem se manter próximas de 1. No gráfico é possível observar que praticamente todas as amostras estão acima da linha 1:1, o que indica que a fonte de Na^+ no sistema não seja derivada da dissolução de halita, e sim de do produto do intemperismo de silicatos, como o mineral feldspato, sendo o plagioclásio sódico (albita) o fornecedor de Na^+ e os feldspatos potássicos os fornecedores de K^+ (SINGH *et al.*, 2013, MAYBACK, 1987 apud ZAIDI *et al.*, 2015). A

alta correlação de Na^+ com HCO_3^- (0,932) sugere que a liberação de bicarbonato no sistema está diretamente relacionada ao intemperismo de silicatos sódicos.

A concentração da amostra do poço JR 234 encontra-se praticamente sobre a reta 1:1 o que pode indicar a presença de halita. Porém, é mais provável que a maior concentração de Cl^- seja resultado de contaminação por cloreto antropogênico, devido a irrigação ou ao despejo de lixo doméstico (SRINIVASAMOORTHY *et al.*, 2008).

O gráfico apresentando a soma dos cátions ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2}$) pela soma total dos cátions mostra que todos os pontos caem debaixo da linha, que mostra a razão 1:1 (Figura 29), sendo esse afastamento da linha ainda mais pronunciado em valores altos de concentração catiônica, refletindo a maior contribuição dos cátions Na^+ e K^+ a medida que aumenta a dissolução dos minerais. Isso evidencia que a maior parte dos minerais dissolvidos no sistema libera K^+ e, principalmente nesse caso, Na^+ . Novamente, isso evidencia o intemperismo de silicatos, como tais como os feldspatos (SINGH *et al.*, 2013; SENTHILKUMAR e ELANGO, 2013).

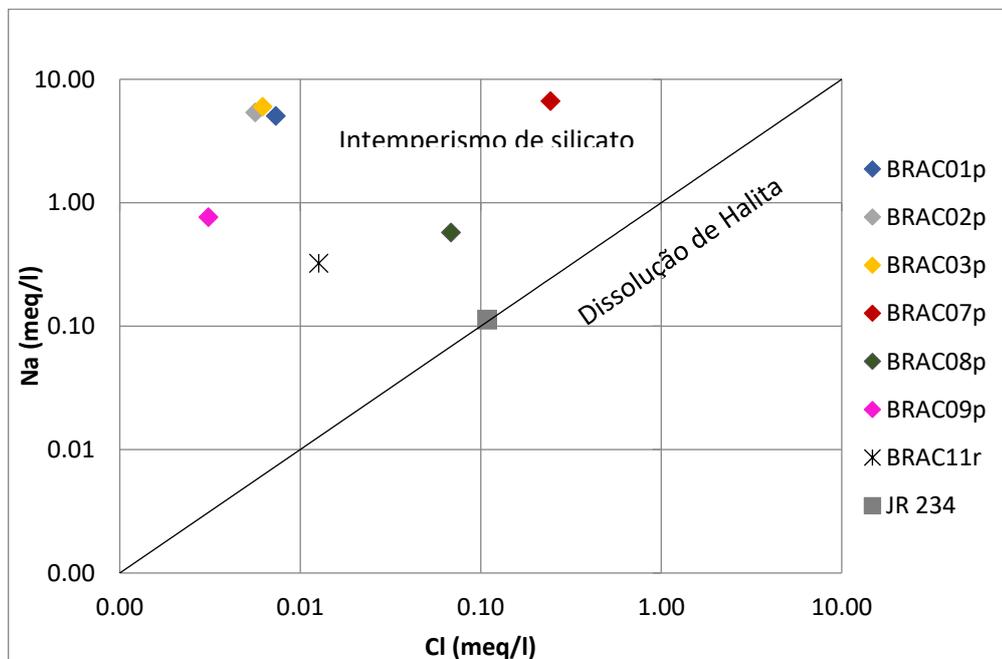


Figura 28: gráfico de teores de $r\text{Na}^+/r\text{Cl}^-$.

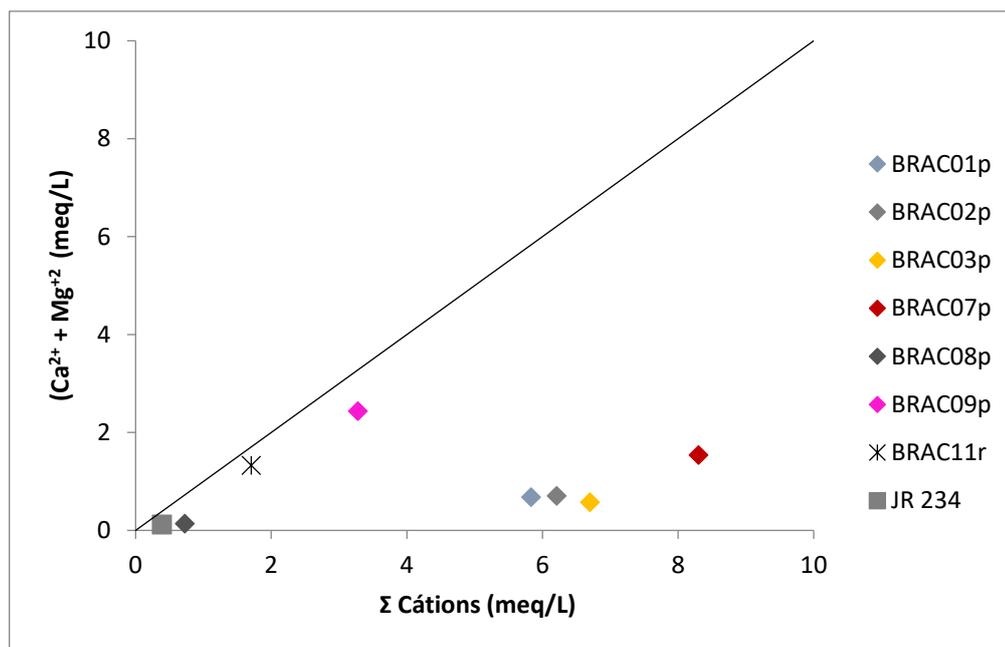
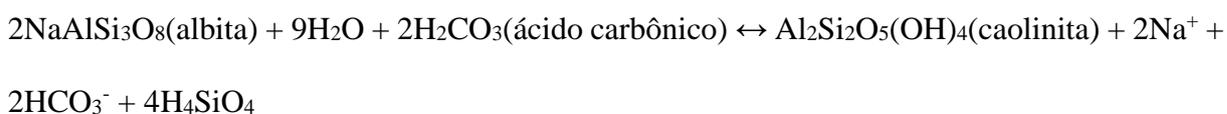


Figura 29: Diagrama de teores de rCa²⁺ + rMg²⁺ pela soma total dos cátions.

A fonte do Na⁺ na água provavelmente é derivada da dissolução de silicatos, pois segundo Fisher e Mullican (1997), águas que derivam primordialmente da dissolução de silicatos têm HCO₃⁻ como o ânion mais abundante, o que é o caso desse estudo. Teoricamente, o processo de intemperismo do plagioclásio sódico (albita), que libera sódio e bicarbonato no sistema é dado pela seguinte reação (SINGH *et al.*, 2013):



O ácido carbônico provém da decomposição da matéria orgânica no solo, que libera CO₂ no sistema ao longo da zona de recarga do aquífero, ou da própria água da chuva ao assimilar o CO₂ da atmosfera. A reação do gás carbônico com a água gera o ácido carbônico como mostra a seguinte equação:



Parte do ácido carbônico que não entra no processo de intemperismo da albita pode naturalmente transformar-se no íon bicarbonato (CPRM, 2008).

5. CONCLUSÕES

A análise da seção geológica permitiu observar a existência de pelo menos três possíveis aquíferos, um superior livre, um semiconfinado intermediário, e um confinado inferior de maior profundidade. O confinado inferior provavelmente possui águas mais antigas, logo mais ricas em sais dissolvidos.

O mapa de nível piezométrico mostra que há uma forte correlação entre a cota dos poços e a cota do nível piezométrico, o que sugere uma forte influência do aquífero superior livre na medição do nível estático dos poços, que ao final pode ser uma mescla do NE dos diferentes aquíferos que os poços atravessam. Além disso, observa-se um fluxo da parte central da cidade, área topograficamente mais elevada, em direção aos rios.

As análises químicas mostraram que os processos dominantes que ocorrem no Sistema Aquífero Içá-Solimões liberam majoritariamente os íons HCO_3^- e Na^+ através da dissolução de feldspatos sódicos, e que a concentração desses íons é superior na camada aquífera mais profunda em comparação à camada que abriga o aquífero livre devido ao tempo de residência da água. Além disso, nota-se uma possível diferenciação química na direção leste do aquífero, uma possível contaminação antropogênica do aquífero livre por cloreto registrado nos poços rasos.

Vale ressaltar que apesar das análises gráficas não indicarem a dissolução de carbonatos é necessário considerar a possibilidade da influência das camadas de argilitos calcíferos e também a de carbonatos conforme relata a bibliografia. Tal influência pode ocorrer principalmente na interface entre essas camadas e as camadas aquíferas.

Para melhor compreender as diferenças químicas entre os aquíferos seria ideal promover novos estudos, onde fosse possível ampliar a base de amostragem das águas superficiais, assim

como coletar amostras de águas somente do aquífero confinado mais profundo, para que não houvesse mistura de águas com os aquíferos superiores.

Para expandir os limites da área de estudo e ampliar o conhecimento sobre a abrangência do Sistema Aquífero Içá-Solimões seria ideal prolongar a seção geológica para observar se há alguma ruptura ou conexão das camadas aquíferas. Além disso, novas análises químicas ao redor de Cruzeiro do Sul poderiam indicar se de fato há uma variação espacial na hidroquímica do Sistema Aquífero Içá-Solimões.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas. **Atlas – Abastecimento Urbano de Águas**. 2010, Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/atlas/forms/analise/Geral.aspx?est=25#> . Acessado em: 06 de dezembro, 2017.

AJA GABAGLIA, G. P.; FIGUEIREDO, A. M. F. **Evolução dos conceitos acerca das classificações de bacias sedimentares**. In: RAJA GABAGLIA, G. P.; MILANI, E. J. (Ed.). *Origem e evolução de bacias sedimentares*. Rio de Janeiro: Petrobras. SEREC.CEN-SUD, 1991. p. 31-45

BBC. **The cause and impacts of the Intertropical Convergence Zone**. Disponível na internet em <<https://www.bbc.co.uk/education/guides/z9yssbk/revision/2>>. Acessado em: 09 Jan. 2018.

CAVALCANTE, M. L. **Geomorfologia Do Estado do Acre**. In: SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE (SEMA). *Recursos Naturais: Geologia, Geomorfologia e Solos do Acre. Zoneamento Ecológico Econômico Fase II – Escala 1:250.000 Rio Branco*, p 36-43, 2010.

FISHER, R. S.; MULLICAN, W. F. Hydrochemical evolution of sodium sulphate and sodium chloride groundwater beneath the Northern Chihuahuan desert, Trans-Pecos, Texas,. In: SINGH, A. K., TIWARI, A. K., RAJ, B., MAHATO, M. K. **Evaluation of hydrogeochemical processes and groundwater quality in the Jhansi district of Bundelkhand region, India**. *Environmental Earth Sciences*. Outubro de 2013.

CORDANI, U. G.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A.; PORTO, R.; THOMAS FILHO, A.; CHUNHA, F.M.B.; CARRASCO, B.N. **Estudo preliminar da integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras**. *Boletim da Petrobras, Cenpes, Sintep III, série ciência-técnica-Petróleo*. Rio de Janeiro, nº 15, p. 27-38, 1984.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geodiversidade do Brasil - escala 1:2.500.000: Sistema de Informações Geográficas**. Brasília, 2006. Disponível em <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/13676> Acessado em 16 de Jan. 2018.

CPRM. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações**. 2 ed. Fortaleza: LABHID-UFPE, 391p, 2000.

CPRM. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações**. 3 ed. Fortaleza: LABHID-UFPE, 811p, 2008.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Geodiversidade do Estado do Acre**. Porto Velho, 2015. 321 p.

CUNHA, P.R.C. Bacia do Acre. **Boletim de. Geociências Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, p. 207-215, 2007.

CUSTODIO, E., LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterranea**. 2ed, Barcelona: Ed Omega, 1983.

DALMAYRAC, B. **Géologie de la cordillère orientale de la région de Huanuco: sa place dans un transect transversal des Andes du Pérou central: (9°S à 10°30'S)**. Paris: Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer, 1978. 161 p.

FARREL B. F. **Equable Climate Dynamics**. Journal of the Atmospheric Sciences. Massachusetts, v 47, n 24, p 2986-2995, 26 Jun. 1990

FEIJÓ, F. J., SOUZA, R. G. Boletim de Geociências da Petrobras. *In*: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Geodiversidade do Estado do Acre**. Porto Velho, 2015. 321 p

FISHER R. S., MULLICAN W. F. Hydrochemical evolution of sodium sulphate and sodium chloride groundwater beneath the Northern Chihuahuan desert, Trans-Pecos, Texas. *In*: SENTHILKUMAR, M., ELANGO, L., **Geochemical processes controlling the groundwater quality in lower Palar river basin, southern India**. Journal of Earth System Science. India, v 122, n 2, p 419-432. Abril de 2013.

GIBBS, J. R. **Mechanisms Controlling World Water Chemistry**. American Association for the Advancement of Science. v 170, n 3962, p 1088-1090, dezembro de 1970.

HASUI, Y. et al. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012, 900p.

IBGE. **IBGE Cidades**. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ac/cruzeiro-do-sul/panorama> Acessado em 09 de Jan. 2018.

INMET. **Normas climatológicas do Brasil, 1961-1990**. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>> Acessado em 09 Jan. 2018

JEWIT, D.; YOUNG, E. D. **Oceanos que vêm do céu**. Scientific American Brasil. Portugal, Segmento, ed. 155, p. 34-41, 2015.

KATZ, B. G., GOPALAN, T. B., BULLEN, T. D., DAVIS, J. H. Use of chemical and isotopic tracers to characterise the interaction between groundwater and surface water in mantled karst. *In*: RAMESH, K., GOWRI, V. S. **Silicate or calcite weathering in wet-dry climate in lower Varahanadi basin, Tamilnadu, India: A determinant in global warming**. International Journal of Environmental Sciences, v 2, n 4, p 2155-2166, maio de 2012.

MAYBACK, M. Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads. *In*: ZAIDI, F. K., NAZZAL, Y., JAFRI, M. K., NAEEM, M., AHMED, I. **Reverse ion exchange as major process controlling the groundwater chemistry in an arid environment: a case study from northwestern Saudi Arabia**. Environmental Monitoring and Assessment. p 0-18, Agosto de 2015.

NOAA. **The Jetstream**. Disponível em <<https://forecast.weather.gov/jetstream/global/jet.htm>>. Acessado em 09 Jan. 2018.

PEEL M. C., FINLAYSON B. L., MCMAHON T. A. **Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification**. Hydrology and Earth System Sciences Studies, European Geosciences Union, v 16, Outubro, 2007

OLIVEIRA, C.M.M. **Estilos estruturais e evolução tectônica da Bacia do Acre**. 1994. 206 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 1994.

SANTOS, S. S. **Análise de redes biológicas: estudo comparativo de medidas de dependência e uma ferramenta computacional para discriminar grafos**. 2015, 101 p., Dissertação de Mestrado – Instituto de Matemática e estatística da Universidade de São Paulo. São Paulo, 5 de abril de 2015.

SENTHILKUMAR, M., ELANGO, L., **Geochemical processes controlling the groundwater quality in lower Palar river basin, southern India**. Journal of Earth System Science. India, v 122, n 2, 9 419-432. Abril de 2013.

SINGH, A. K., TIWARI, A. K., RAJ, B., MAHATO, M. K. **Evaluation of hydrogeochemical processes and groundwater quality in the Jhansi district of Bundelkhand region, India**. Environmental Earth Sciences. Outubro de 2013. SOUZA, E. L., GALVÃO, P. H. F., PINHEIRO, C. S. S., BAESSA, M. P. M. DEMÉTRIO, J. G. E., BRITO, W. R. R. **Síntese da hidrogeologia nas bacias sedimentares do Amazonas e do Solimões: Sistemas Aquíferos Içá-Solimões e Alter do Chão**. Revista do Instituto de Geociências-USP, São Paulo, v. 13, n, 1. p. 107-117, Março de 2013.

SRINIVASAMOORTHY, K., CHIDAMBARAM, S., PRASANNA, M. V., VASANTHAVIHAR, M., PETER, J., ANANDHAN, P. **Identification of major sources controlling groundwater chemistry from a hard rock terrain – A case study from Mettur taluk, Salem district, Tamil Nadu, India**. Journal of Earth System Science. India, v 117, n 1, p 49-58, fevereiro de 2008.

TASSINARI, C.C.G.; TEXEIRA, W. **Geocronologia da parte Oriental da folha de SC 19, Rio Branco**. Belém, Projeto RADAMBRASIL, Relatório Interno, 1976, 12p

ANEXO A – Tabela geral de poços

POÇOS UTILIZADOS NA SEÇÃO GEOLÓGICA				
ID SIAGAS	UTM E	UTM S	Profundidade (m)	
1100001662	756576	9157264	134	
1100001655	757374	9157229	130	
1100002297	758261	9156701	150	
1100002614	753787	9157371	140	
POÇOS UTILIZADOS NA PIEZOMETRIA				
ID_SIAGAS	UTM_E	UTM_S	Cota NE (m)	Profundi dade (m)
1100001648	756052.5	9155626	191	120
1100001651	755958	9156222	196	150
1100001652	757437	9157413	190,6	148
1100001659	758042	9156088	175	120
1100001662	756576	9157264	199	130
1100002545	756257	9154868	168,5	150
1100002614	753787	9157371	179,18	140
1100002616	755605	9159021	185,8	150
1100002760	752367	9161374	190,48	71
Rio_Jurua_1	757587	9154944	165	0
Rio_Jurua_2	756974	9154684	165	0
Rio_afluente	752615	9154863	177	0
POÇOS UTILIZADOS NAS ANÁLISES QUÍMICAS				
ID PROJETO	UTM E	UTM S	Tipo	Profundi dade (m)
BRAC01p	756052	9155626	Bicarbonatada Sódica	120
BRAC02p	755095	9155892	Bicarbonatada Sódica	200
BRAC03p	756180	9154802	Bicarbonatada Sódica	150
BRAC07p	777147.4	9143565.4	Bicarbonatada Sódica	176
BRAC08p	777075	9143528	Bicarbonatada Sódica	6
BRAC09p	787264	9140030	Cicarbonatada Cálcica	150
BRAC11r	759845	9145745	Cicarbonatada Cálcica	0
JR 234	755605	9159021	Bicarbonatada Sódica	150

ANEXO B – Mapa de localização dos poços

