



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**RENATA NAYARA CAMARA MIRANDA SILVEIRA**

**AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO PERÍMETRO IRRIGADO CURU-PENTECOSTE  
(PICP), CEARÁ: GEOMETRIA AQUÍFERA, QUALIDADE E DISPONIBILIDADE  
HÍDRICA À IRRIGAÇÃO**

**FORTALEZA**

**2020**

RENATA NAYARA CÂMARA MIRANDA SILVEIRA

AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO PERÍMETRO IRRIGADO CURU-PENTECOSTE,  
CEARÁ – GEOMETRIA AQUÍFERA, QUALIDADE E DISPONIBILIDADE HÍDRICA À  
IRRIGAÇÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Doutora em Geologia. Área de Concentração: Hidrogeologia e Gestão Hidroambiental.

Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante

Coorientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa

FORTALEZA

2020

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

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

---

- S591á Silveira, Renata Nayara Câmara Miranda.  
As águas subterrâneas do perímetro irrigado Curu-Pentecoste, Ceará – geometria aquífera, qualidade e disponibilidade hídrica à irrigação / Renata Nayara Câmara Miranda Silveira. – 2020.  
111 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Fortaleza, 2020.  
Orientação: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante.  
Coorientação: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa.
1. Hidrogeologia. 2. Poços. 3. Aluvião. 4. Agricultura. I. Título.

CDD 600

---

RENATA NAYARA CÂMARA MIRANDA SILVEIRA

AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO PERÍMETRO IRRIGADO CURU-PENTECOSTE,  
CEARÁ – GEOMETRIA AQUÍFERA, QUALIDADE E DISPONIBILIDADE HÍDRICA À  
IRRIGAÇÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Doutora em Geologia. Área de Concentração: Hidrogeologia e Gestão Hidroambiental

Aprovada em: 13/02/2020

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Filipe da Silva Peixoto  
Universidade do estado do Rio Grande do Norte (UERN)

---

Prof. Dr. Enéias Oliveira Lousada  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e a minha fé Nele, por ter me dado forças e determinação para concluir essa missão que foi me dada, mesmo no meio de tantas provações.

Ao meu filho Noah Silveira Gomes, que nasceu no período que era para eu ter finalizado essa pesquisa, mas meu coração e minha mente estavam preenchidos demais com a novidade no meu ventre, então ele me deu forças com seu sorriso e amor diário para agora ter finalizado. E agora a esse novo serzinho que meu ventre foi presenteado a gerar, Lohan Silveira Gomes.

Ao meu esposo Otávio pelo companheirismo, amor e apoio que sempre tem me dado.

A minha irmã Nayane, minha mãe Fátima e meu irmão Renato Jr, que muitas vezes me socorreram, cuidado do Noah quando eu já não tinha de onde tirar forças.

Ao meu pai Renato Câmara, pelo simples fato de existir, pelo amor do jeito dele e também por acreditar em mim. rs

Ao meu orientador Professor Dr. Itabaraci Cavalcante e ao Professor Dr. Raimundo Nonato, pela solicitude, paciência e conversas, essenciais para conclusão dessa pesquisa.

Aos amigos Maria da Conceição R. Gomes e Filipe Peixoto da Silva pela contribuição científica e pelo apoio emocional.

Aos colegas do Laboratório de Hidrogeologia – LABHI/UFC pela ótima companhia e boas conversas.

Ao Programa de Pós-graduação em Geologia (PRPPG), em especial à coordenadora Cynthia Romariz Duarte pelo apoio.

Aos funcionários da Fazenda Experimental Vale do Curu – Pentecoste que durante as mais de 30 visitas realizadas ao campo, me deram abrigo e apoio em tudo que necessitei.

“A fê na vitória tem que ser inabalável”.

Marcos Omena (Dexter)

## RESUMO

O Ceará, e a maior parte dos estados nordestino, passou por seis anos consecutivos de estiagem (2012-2017), classificada como a pior dos últimos 50 anos, o que ocasionou grandes prejuízos no setor agropecuário nordestino, tanto na agricultura de sequeiro como na irrigada, já que as águas armazenadas nos açudes não são suficientes para tal fim. O Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, área dessa pesquisa, é componente da Bacia Hidrográfica do Rio Curu situa-se no Ceará, na microrregião de Uruburetama (Vale do Rio Curu), área considerada de influência econômica, localizadas a 90 km de Fortaleza. A área delimitada para essa pesquisa (18 km<sup>2</sup>) está localizada na parte central do perímetro e corresponde a 36% da área do perímetro (50 km<sup>2</sup>), representando os núcleos de irrigação C, D e F. A pesquisa busca caracterizar quanti-qualitativamente as águas subterrâneas do PICP no que diz respeito ao Domínio Hidrogeológico Aluvionar para fins do uso dessas águas para irrigação, e com isso, propor uma metodologia para tal fim. Para isso, fez-se um levantamento bibliográfico do efeito da seca sobre a produção agrícola do Perímetro, cadastro dos poços e mapeamento do Aquífero Aluvionar do PICP, selecionando-se os presentes nos lotes agrícolas dos núcleos C, D e F. Realizou-se o monitoramento das variações de níveis estático, medidas de parâmetros físico-químicos da água e levantamento geofísico por eletrorresistividade. Na interpretação dos dados, utilizaram-se os softwares estatísticos SPSS *Statistics*, diagramas de Piper e USSL. Também foi utilizada a técnica na análise fatorial, associada à análise de agrupamento multivariada, objetivando dar suporte a gestão qualitativa. Concluiu-se que os perímetros irrigados do Ceará se mostram vulneráveis quanto aos efeitos da seca, haja vista que sofreram forte queda na produção desde os primeiros anos de seca, aonde os menores perímetros, chegaram a um total colapso em 2014. As águas aluvionares do PICP possuem qualidade adequada para uso na irrigação da maioria das culturas já implantadas. O aquífero aluvionar da região tem uma espessura média saturada de 7 m e largura de 600 m, apresentando uma reserva hídrica suficiente para manutenção das culturas agrícolas durante o período de estiagem. Seguindo os passos metodológicos apresentados, é possível avaliar o potencial hídrico para irrigação do Aquífero Aluvionar analisado.

**Palavras-chave:** Hidrogeologia. Poços. Aluvião. Agricultura.

## ABSTRACT

Ceará, and most of the northeastern states, went through six consecutive years of drought (2012-2017), classified as the worst of the last 50 years, which caused great losses in the northeastern agricultural sector, both in rainfed agriculture and in irrigated, since the water stored in the dams is not sufficient for this purpose. The Curu-Pentecoste Irrigated Perimeter, area of this research, is part of the Curu River Basin is located in Ceará, in the Uruburetama microregion (Vale do Rio Curu), an area considered to be of economic influence, located 90 km from Fortaleza. The area delimited for this research (18 km<sup>2</sup>) is located in the central part of the perimeter and corresponds to 36% of the perimeter area (50 km<sup>2</sup>), representing the irrigation nuclei C, D and F. The research seeks to characterize the quanti-qualitatively the groundwater of the PICP with respect to the Allogenic Hydrogeological Domain for the purpose of using these waters for irrigation, and with that, propose a methodology for that purpose. For this, a bibliographic survey of the effect of drought on the agricultural production of the Perimeter was made, registration of the wells and mapping of the PICP Alluvial Aquifer, selecting those present in the agricultural plots of the C, D and F nuclei. monitoring of variations in static levels, measurements of physical-chemical parameters of the water and geophysical survey by electroresistance. In the interpretation of the data, SPSS Statistics, Piper and USSL diagrams were used. The technique was also used in factor analysis, associated with multivariate cluster analysis, aiming to support qualitative management. It was concluded that the irrigated perimeters of Ceará are vulnerable to the effects of drought, given that they suffered a sharp drop in production since the first years of drought, where the smallest perimeters reached a total collapse in 2014. The alluvial waters of the PICP have adequate quality for use in the irrigation of most of the crops already implanted. The alluvial aquifer in the region has an average saturated thickness of 7 m and a width of 600 m, presenting a sufficient water reserve to maintain agricultural crops during the dry season. Following the presented methodological steps, it is possible to evaluate the water potential for irrigation of the analyzed Alluvial Aquifer.

**Keywords:** Hydrogeology. Wells. Alluvium. Agriculture.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Localização do Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste - Ceará .....	18
Figura 2	– Unidades litológicas existentes na área de estudo.....	20
Figura 3	– Médias pluviométricas anuais do período de 1970 a 2018 do PICP - CE .....	22
Figura 4	– Médias pluviométricas mensais do período de 1970 a 2018 do PICP - CE....	23
Figura 5	– Planta invasora ( <i>Cryptostegia grandiflora</i> ) observada no PICP no núcleo F..	24
Figura 6	– Trecho do Rio Curu no período chuvoso (abril de 2017), núcleo F, PICP – Ceará.....	25
Figura 7	– Delimitação da área em estudo, abastecidas pelo canal P1 (A) e P2 (B), margeados pelo Rio Curu (C), no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste.....	26
Figura 8	– Canal secundário (A e C) e canal terciário com adução de água através de sifões (B) no Perímetro Irrigado Curu – Pentecoste.....	27
Figura 9	– Evolução do volume armazenado do açude General Sampaio - Ceará.....	28
Figura 10	– Evolução do volume armazenado do açude Pereira de Miranda - Ceará.....	28
Figura 11	– Escavação no leito do Rio Curu, Núcleo F, PICP – Ceará.....	29
Figura 12	– Medição do nível estático, poço raso, PICP, Ceará.....	38
Figura 13	– Obtenção de coordenadas UTM dos poços com GPS geodésico no PICP – CE.....	39
Figura 14	– Locais de coleta de água, PICP - Ceará.....	40
Figura 15	– Amostras de água dos poços rasos do PICP-Ceará e medições dos parâmetros físico-químicos.....	41
Figura 16	– Terceira coleta de água dos poços rasos no PICP - Ceará.....	42
Figura 17	– Organização do conhecimento/Representação da informação, Organização da informação/Representação da informação .....	44
Figura 18	– Localização dos pontos de SEV no PICP, Ceará.....	48

Figura 19 – Ilustração do arranjo Schlumberger na Eletroresistividade.....	49
Figura 20 – Levantamento geofísico - SEV no PICP - Ceará.....	50
Figura 21 – Mapa mostrando a nova configuração do aluvião após o estudo realizado e localização dos pontos.....	58
Figura 22 – SEV C4 localizado na margem da calha do rio e Interpretação da SEV C4 com base na correlação entre resistividade e litologia.....	59
Figura 23 – SEV C5 localizado margem na calha do rio e Interpretação da SEV C5 base na correlação entre resistividade e litologia.....	59
Figura 24 – SEV C6 localizado na margem da calha do rio e Interpretação da SEV C6 base na correlação entre resistividade e litologia.....	60
Figura 25 – Perfil 01 mostrando a estratigrafia da aluvião – representado pelas SEV C4, C5 e C6.....	61
Figura 26 – SEV F4 localizado na margem da calha do rio e interpretação da SEV F4 base na correlação entre resistividade e litologia.....	62
Figura 27 – SEV F5 localizado calha do rio - Interpretação da SEV F5 base na correlação entre resistividade e litologia.....	62
Figura 28 – SEV F6 localizado na margem da calha do rio Interpretação da SEV F6 base na correlação entre resistividade e litologia.....	63
Figura 29 – Perfil 02 mostrando a estratigrafia da aluvião – representado pelas SEV F4, F5 e F6.....	64
Figura 30 – Relação precipitação x nível estático dos poços rasos.....	67
Figura 31 – Localização dos pontos de amostragem no PICP.....	71
Figura 32 – Valores médios dos parâmetros físico-químicos dos poços analisados no PICP-CE.....	75
Figura 33 – Dendrograma de análise Cluster Fator 1 (CE, Cl, Na, STD).....	78
Figura 34 – Dendrograma de análise Cluster Fator 2 (pH, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , CaCO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	79

Figura 35 – Classificação iônica das águas segundo o Diagrama de Piper (Período chuvoso).....	80
Figura 36 – Classificação iônica das águas segundo o Diagrama de Piper (Período seco).....	81
Figura 37 – Concentração de CE, STD e sódio no período seco, Pentecoste - CE.....	84
Figura 38 – Concentração da condutividade elétrica das águas analisadas no PICP-CE...	85
Figura 39 – Concentração de sódio das águas analisadas no PICP - CE.....	85
Figura 40 – Concentração de sólidos totais dissolvidos nas águas analisadas no PICP – CE.....	86
Figura 41 – Concentração de cloreto nas águas analisadas no PICP – CE.....	87
Figura 42 – Concentração de ferro nas águas analisadas no PICP – CE.....	88
Figura 43 – Árvore manchada por água férrica do poço F8, PICP-CE.....	89
Figura 44 – Diagrama de classificação da água subterrânea do Aquífero Aluvionar do PICP com a classificação de Richards (1953), durante período chuvoso.....	91
Figura 45 – Diagrama de classificação da água subterrânea do Aquífero Aluvionar do PICP com a classificação de Richards (1953), durante período seco.....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coordenadas dos vértices envolventes da área no PICP – Ceará.....	19
Tabela 2 – Pontos de exploração de água subterrânea no PICP - Ceará.....	37
Tabela 3 – Métodos analíticos aplicados de acordo com APHA (2012).....	41
Tabela 4 – Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação.....	45
Tabela 5 – Fatores utilizados na conversão dos valores mg/l para meq/l.....	46
Tabela 6 – Valos de resistividade de alguns tipos litológicos.....	51
Tabela 7 – Produção do Perímetros Irrigado do Ceará.....	56
Tabela 8 – Valores para o balanço hídrico, no período de 1970 a 2017.....	58
Tabela 9 – Características físico e químicas das águas subterrâneas do PICP – Ceará. Período chuvoso de 2017.....	72
Tabela 10 – Características físico e química das águas subterrâneas do PICP - Ceará. Período seco de 2017.....	73
Tabela 11 – Estatística descritiva das concentrações dos atributos físico-químicos analisados para 20 amostras.....	74
Tabela 12 – Carga fatorial dos atributos analisados.....	76
Tabela 13 – Estatística descritivas dos parâmetros relacionados à salinidade da água.....	82
Tabela 14 – Concentração de ferro total e classificação das águas aluvionares do PICP- Ceará.....	88
Tabela 15 – Classificação da água subterrânea para irrigação de acordo com a classificação de Richards (1954). Período seco e chuvoso de 2017.....	90
Tabela 16 – Valores de salinidade limiar para algumas culturas comuns em regiões áridas e semiáridas.....	93

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Localização e acesso.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Geologia.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>Solos.....</b>	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>Clima.....</b>	<b>21</b>
<b>2.5</b>	<b>Vegetação.....</b>	<b>23</b>
<b>2.6</b>	<b>Fonte Hídrica.....</b>	<b>25</b>
<b>2.6.1</b>	<i>Água superficial.....</i>	<i>25</i>
<b>2.6.2</b>	<i>Água Subterrânea.....</i>	<i>28</i>
<b>3</b>	<b>LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1</b>	<b>Estudos realizados na área.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2</b>	<b>Exploração de Aquífero Aluvionar no Nordeste do Brasil.....</b>	<b>32</b>
<b>3.3</b>	<b>Proposição metodológica de caracterização hidrológica de Aquíferos Aluvionares em Perímetros Irrigados.....</b>	<b>34</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1</b>	<b>Levantamento de dados e bibliográfico.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1.2</b>	<i>Evolução da produção agrícola do PICP.....</i>	<i>36</i>
<b>4.2</b>	<b>Campo e pós-campo.....</b>	<b>36</b>
<b>4.2.1</b>	<i>Cadastro dos poços.....</i>	<i>37</i>
<b>4.2.2</b>	<i>Monitoramento do nível estático dos poços rasos.....</i>	<i>37</i>
<b>4.2.3</b>	<i>Determinação dos dados planialtimétricos.....</i>	<i>38</i>
<b>4.2.4</b>	<i>Hidroquímica.....</i>	<i>39</i>
<b>4.2.5.1</b>	<i>Balanço iônico.....</i>	<i>45</i>
<b>4.3</b>	<b>Sondagem Elétrica Vertical – SEV.....</b>	<b>47</b>
<b>4.3.1</b>	<i>Equações básicas para SEV.....</i>	<i>50</i>
<b>4.3.2</b>	<i>Interpretação dos dados.....</i>	<i>51</i>
<b>4.4</b>	<b>Reservas hídricas subterrâneas.....</b>	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>55</b>
<b>5.1</b>	<b>Diagnóstico da Produção Agrícola.....</b>	<b>56</b>
<b>5.2</b>	<b>Sondagem Geofísica.....</b>	<b>57</b>

5.3	<b>Reservas hídricas subterrâneas.....</b>	65
5.3.1	<i>Reservas hídricas renováveis.....</i>	68
5.3.2	<i>Reservas hídricas permanentes.....</i>	69
5.3.3	<i>Reservas Hídricas Explotáveis.....</i>	69
5.4	<b>Aspectos qualitativos das águas.....</b>	69
5.4.1	<i>Estatística multivariada dos parâmetros físico-químicos da água.....</i>	75
5.4.2	<i>Classificação iônica das águas.....</i>	79
5.4.3	<i>Qualidade da água para irrigação.....</i>	81
5.4.3.1	<i>Salinidade: Condutividade elétrica, concentração de sódio e sólidos totais dissolvidos.....</i>	82
5.4.3.2	<i>Cloreto.....</i>	86
5.4.3.3	<i>Ferro total.....</i>	87
5.5	<b>Classificação da água para irrigação.....</b>	89
6	<b>PROPOSTA METODOLOGICA AO USO DO AQUIFERO ALUVIONAR PARA FINS DE IRRIGAÇÃO.....</b>	94
7	<b>CONCLUSÃO.....</b>	97
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	99
	<b>APÊNDICE A – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS CADASTRADOS NO PERÍMETRO IRRIGADO CURU-PENTECOSTE E REGIÃO.....</b>	105
	<b>APÊNDICE B – ARTIGOS PUBLICADOS E SUBMETIDOS REFERENTES À TESE.....</b>	107
	<b>APÊNDICE C – MONITORAMENTO DOS NIVEIS ESTÁTICOS.....</b>	110

## 1 INTRODUÇÃO

No semiárido brasileiro a maior parte dos rios é intermitente, o que dificulta o estabelecimento de empreendimentos que exijam uma maior demanda de água para possibilitar o desenvolvimento socioeconômico. Nesse sentido, desde o final do século XIX iniciou-se o investimento na política de açudagem, com o intuito de captar água no período chuvoso e liberar durante todo o ano (CAMPOS, 2014). No entanto, é comum nessa região a ocorrência de longos períodos de estiagem, o que faz com que a água armazenada nos reservatórios não seja suficiente para atender todos os usos e demandas crescentes.

O Ceará e a maior parte dos estados nordestinos, passaram por seis anos consecutivos de seca (2012-2017), classificada como a pior dos últimos 50 anos, o que está ocasionando grandes prejuízos no setor agropecuário nordestino, tanto na agricultura de sequeiro como na irrigada, já que as águas armazenadas nos açudes não são suficientes para tais fins.

A ocorrência de secas na região semiárida é um fenômeno cíclico e conhecido porém, após as secas de 1997/1998, a região conviveu com certa regularidade de chuvas, fato que parece ter levado os produtores, desconsiderarem, os riscos das atividades agropecuárias (REIS FILHO, 2013), principalmente no investimento em áreas cultivadas com culturas perenes que demandam um volume alto de água, como é o caso de coqueiros e bananeiras, que são as culturas predominantes no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste (PICP) sem o manejo correto da irrigação, onde a irrigação por sulco representa mais de 80% da área.

A construção de poços tubulares profundos é a medida emergencial mais adotada pela sociedade civil, poder público e usuários de água em geral. No entanto, os resultados da construção dessas obras no meio cristalino, geralmente não atendem a critérios técnicos, sendo assim pouco satisfatórios, e com pouca garantia de que o poço terá uma boa vazão ou que a qualidade da água seja adequada para o uso almejado. Contudo, os aquíferos sedimentares possuem metodologias melhores desenvolvidas e mais adequadas para dimensionar a oferta do reservatório, proporcionando uma maior segurança na aviação da disponibilidade para o planejamento integrado dos recursos hídricos.

No Ceará, 75% de sua área são representados por rochas cristalinas que, do ponto de vista hidrogeológico, apresentam limitações quanto ao armazenamento e exploração, apresentando vazões médias de  $2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , além de apresentarem águas com qualidade restrita à diversos usos, com salinidade expressiva. Os outros 25% são representados pelos aquíferos

sedimentares, oficialmente divididos em quatro regiões que acumulam grande volume de água subterrânea: Chapada do Araripe, Chapada do Apodi, Formação Barreiras e Dunas. Mas, ao longo das drenagens desses ambientes, existem também, os depósitos de materiais predominantemente arenosos, denominados de aluviões, que se constituem, normalmente, em aquíferos de importância estratégica na região e, por consequência, com forte potencial hídrico, onde o comportamento hidrogeológico desses sedimentos, variam em função da composição mineralógica e das espessuras dos depósitos (CEARÁ, 2007a).

A matriz hídrica do estado prioriza a construção de reservatórios superficiais, devido, sobretudo, ao relativo fácil dimensionamento e gerenciamento. Enquanto o gerenciamento da água subterrânea necessita de um controle no dimensionamento da reserva, construção e monitoramento de poços de captação e investigação, além do controle do bombeamento difuso. No entanto, em regiões semiáridas há uma alta taxa de evaporação e nos períodos longos de estiagem os reservatórios superficiais apresentam alta susceptibilidade por esse tipo de perda hídrica, enquanto as águas subterrâneas possuem menor vulnerabilidade às perdas por evapotranspiração.

Geralmente as aluviões possuem captação da água por meio de poços rasos (poços com menos de 20 m de profundidade) nas margens de rios, de modo que o bombeamento induza uma recarga proveniente das águas do rio, sobretudo em períodos de cheia, podendo assim, acarretar uma melhoria da qualidade dessa água por meio de processos físicos e biogeoquímicos ao passar pelos poros (PAIVA *et al.*, 2010).

A expansão da modernização no campo, chega ao Nordeste brasileiro, adaptando estrategicamente a produção ao ambiente semiárido. Entre 1968 e 1992 foram implantados os Perímetros Irrigados, através do critério de disponibilidade de água e solo favoráveis ao desenvolvimento da irrigação conforme a potencialidade para a açudagem (REBOUÇAS, 1997). Sobre gerenciamento dos Perímetros Irrigados, o Dnocs realizou a inserção de 38 PI no chamado polígono das secas como medida de expansão e modernização da agricultura brasileira no Nordeste semiárido (RIGOTO *et al.*, 2016).

O estado do Ceará possui 13 perímetros irrigados dispostos no interior do estado, o que confere o estado com maior número de perímetros do Nordeste (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Esse número acontece, tanto pela sua condição semiárida em praticamente todo o estado, como pela avançada política de açudagem tida como modelo desde a implementação do planejamento e gestão dos recursos hídricos em nível estadual.



O governo do estado vem aumentando a política de construção de poços, em 2017 foi autorizada a construção de mais de três mil poços em todo o Ceará. Essa ação foi definida no Plano de Convivência com a Seca, apresentado pelo governo atual à Assembleia Legislativa, o que está garantindo que as cidades não entrem em colapso (CEARÁ, 2017).

O Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, objeto desse estudo, está sem abastecimento de água em seus canais desde 2014, sendo que em anos anteriores (2012-2013) já estava limitado a dois dias por semana, o que já vinha causando perdas de produtividade das culturas em áreas onde os irrigantes dependiam exclusivamente da água dos açudes liberadas nos canais do perímetro.

A alternativa para o abastecimento veio a partir da captação da água subterrânea pelos poços tubulares, e escavações no leito do rio, estas últimas não atendem a padrões técnicos, e expõe a água subterrânea a maiores perdas quantitativas e qualitativas. Desta forma, aflora a necessidade de geração de dados, informações e conhecimentos sobre o comportamento hidrogeológico e suas alterações com os demais componentes da região, permitindo uma maior eficácia no aproveitamento e gestão dessas águas subterrâneas.

As águas subterrâneas representam fontes estratégicas, com forte alcance social para fixação e sobrevivência do homem no período de estiagem. O conhecimento das reservas hídricas traz benefícios à população, favorecendo atividades econômicas e de subsistência, fornecendo dados para a gestão dos recursos hídricos e levando ao uso racional da água (conservação). Portanto, faz-se necessário conhecer detalhadamente as condições hidrogeológicas e hidroquímicas e entender o funcionamento dos aquíferos (MOURA, 2013).

A gestão das águas subterrâneas deve levar em conta as particularidades de cada região/aquífero explorado. Carecendo assim, em aquíferos regionais ou locais que estão circunscritos a uma determinada bacia hidrográfica, de estudos hidrogeológicos mais detalhados (BRASIL, 2006). No entanto, falta corpo técnico, dados e informações para tais estudos, assim fica clara a grande importância desta pesquisa para o suporte da gestão do aquífero aluvionar do PICP e para dar suporte aos demais aquíferos semelhantes.

Seguindo assim com o objetivo de caracterizar quantitativamente as águas subterrâneas do PICP, no que diz respeito ao domínio hidrogeológico da Formação Cenozóica (Aquífero Aluvionar), proporcionando com isso, o uso sustentável desses recursos e a proposição de uma metodologia de caracterização hidrogeológica visando subsidiar a gestão das águas nessa formação litológica.

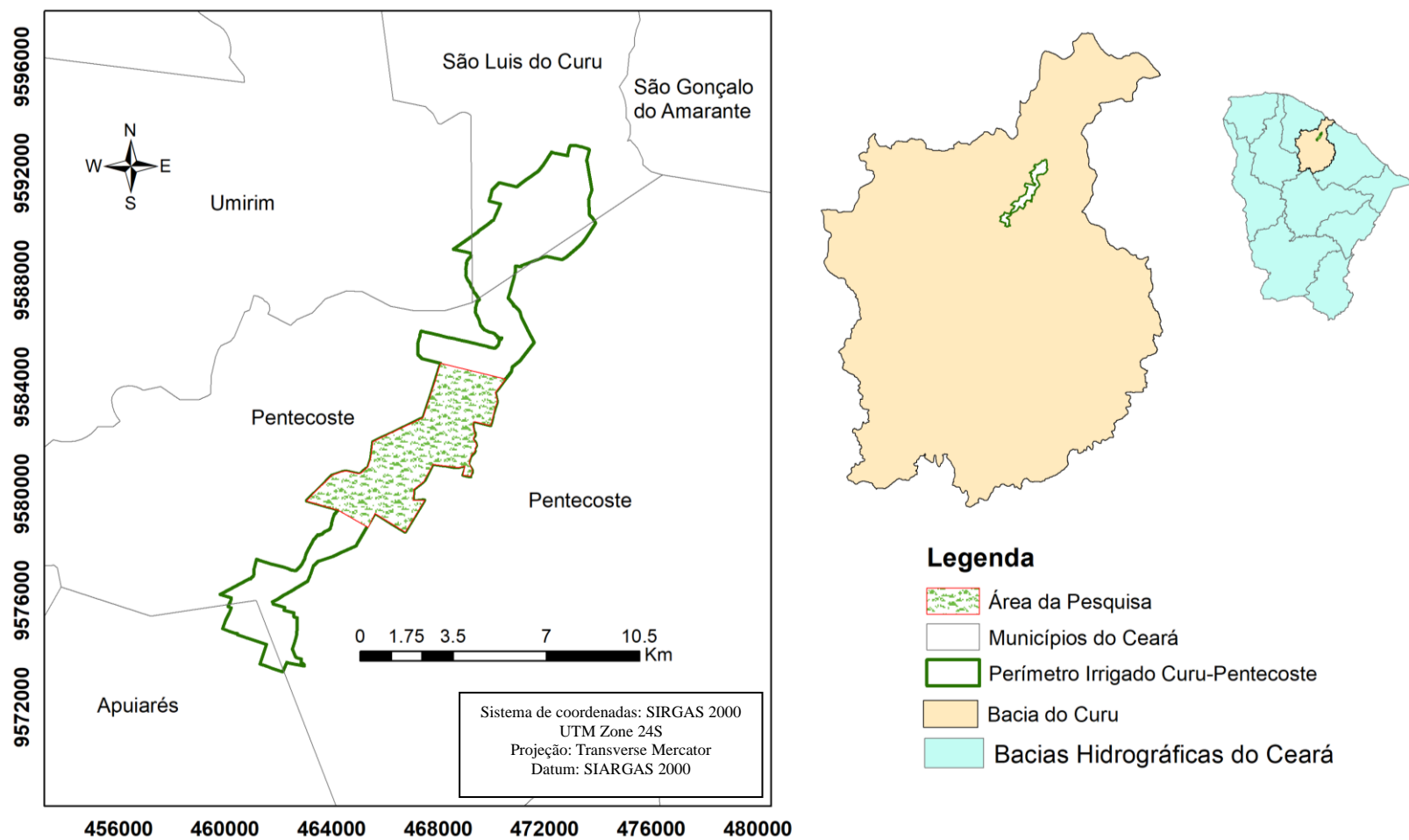
## **2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A pesquisa foi realizada na parte que abrange o aluvião do PICP, construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – Dnocs, cuja implantação foi iniciada no ano de 1974, com conclusão em 1979. O conhecimento das características físico-naturais da área de estudo é um importante aspecto para a compreensão da pesquisa realizada, estas foram descritas conforme a sua localização geográfica, geologia, clima, solos, características climáticas, vegetação e hidrografia.

### **2.1 Localização e acesso**

O PICP, componente da Bacia Hidrográfica do Rio Curu, situa-se no Estado do Ceará, na microrregião de Uruburetama (Vale do Rio Curu) abrangendo parte dos municípios de Pentecoste, São Luís do Curu e Apuiarés, áreas consideradas de influência econômica do perímetro. Está delimitado pelas coordenadas UTM, N: 9573006 a 9593222 no hemisfério sul, e coordenadas E: 473955 a 459824, fuso 24M. Está à 90 km de Fortaleza, capital do Ceará. O acesso ao perímetro irrigado é feito pela Rodovia Federal BR-222, e, em seguida pela Rodovia CE-135, ambas pavimentadas. A área delimitada para essa pesquisa (18 km<sup>2</sup>), localizada na parte central do perímetro, corresponde à 36% da área do perímetro (50 km<sup>2</sup>), representa os núcleos de irrigação C, D e F (Figura 1). O Datum utilizado para o enquadramento da área foi o SIRGAS 2000, assim como as coordenadas que se encontram no decorrer do estudo.

Figura 1 - Localização do Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste - Ceará



Fonte: Elaborado pela autora.

A área desapropriada para instalação do perímetro foi de aproximadamente 50km<sup>2</sup>, mais precisamente, 4569,37 ha, onde 1180 ha seriam para cultivo irrigado, 2494 ha para cultivo de sequeiro, 546,41 ha de reserva legal e 348,33ha de infraestrutura (canais, drenos e estradas). Os usuários são agricultores familiares, com áreas de até 5,06 ha.

A Tabela 01 mostra as coordenadas dos vértices, específicos da área de estudo, área que abrange a porção central do perímetro irrigado, onde estão localizados todos os poços em estudo.

Tabela 1 - Coordenadas dos vértices envolvente da área no PICP – Ceará

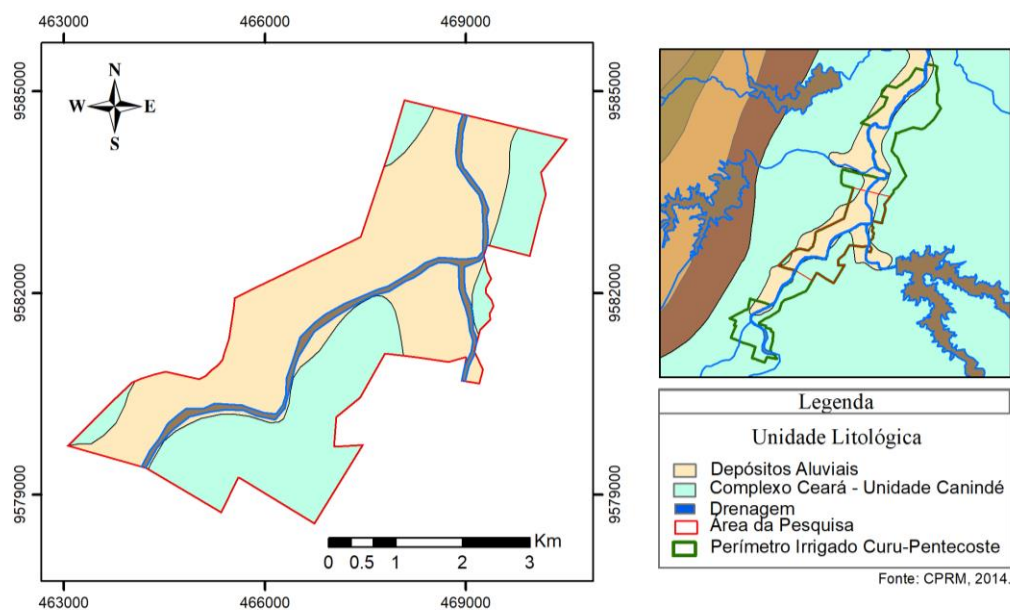
COORDENADAS UTM		
VÉRTICE	LATITUDE (SUL)	LONGITUDE (OESTE)
01	9579725	463049
02	9578557	466748
03	9584323	470531
04	9584884	468080

Fonte: elaborada pelo autor.

## 2.2 Geologia

De acordo com o mapeamento do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, o PICP encontra-se assentado, quase que na sua totalidade, sobre depósitos aluviais (localmente coluviais) pertencentes ao Rio Curu (Figura 2) e seus afluentes, provenientes de depósitos fluviais, geralmente em camadas não consolidadas de areia, argila, argila-siltosa, quartzosas, cascalho e depósitos orgânicos. De acordo com o mapeamento da CPRM a área que corresponde a aluvião é de aproximadamente 10 km<sup>2</sup>, dentro da área de estudo.

Figura 2 - Unidades litológicas existentes na área de estudo



Fonte: elaborada pela autora.

### 2.3 Solos

Os solos formados apresentam sedimentos de natureza variada, originado de sedimentos aluvionais ou colúvio-aluviais, formando camadas estratificadas, sem relação genética entre si e sobreposto sem disposição preferencial de estratos. São solos aluviais, atualmente denominados de Neossolos Flúvicos, encontram-se disseminados ao longo dos Rios Curu, Canindé e Caxitoré. A textura desses solos, é mais leve próxima ao leito dos rios (não sendo apropriados para irrigação por sulco), tornando-se mais pesada à medida que se aproxima do cristalino.

Os Neossolos Flúvico ocorrem em toda região das caatingas ao longo da maior parte dos rios. As áreas de dominância destes solos perfazem um total de 15.937 km<sup>2</sup> e constituem 2,0% da região semiárida (JARBAS, *et al.*, 2017).

De acordo com o Dnocs (1993), 98,8% da área do PICP são de Neossolos Flúvicos, seguido por uma faixa pequena de Argissolos. De um modo geral os solos aluviais apresentam uma boa fertilidade natural, porém segundo estudos feitos pelo Instituto Interamericano para Cooperação Agrícola - IICA (1990), mais de 20% da área já apresentava problemas com salinidade. Em estudo recente conduzido por Albuquerque (2015), constatou-se que 67% dos solos do PICP estão salinizados.

As aluviões do PICP são compostas por areias finas a grossas, cascalhos e argilas com matéria orgânica em decomposição, formando as planícies e os terraços fluviais de espessura variável (4,5 até 12 metros) (SILVEIRA, 2014). Em alguns locais, onde o material existe em pouca quantidade, o embasamento cristalino chega a ficar exposto.

O relevo da área do perímetro na sua totalidade é plano, com declividade variando entre 0 e 3%, porém próximo às margens dos riachos, há presença de micro relevo, cujas depressões e elevações apresentam variações de 0,20 a 1,50 m (Dnocs,1993).

## **2.4 Clima**

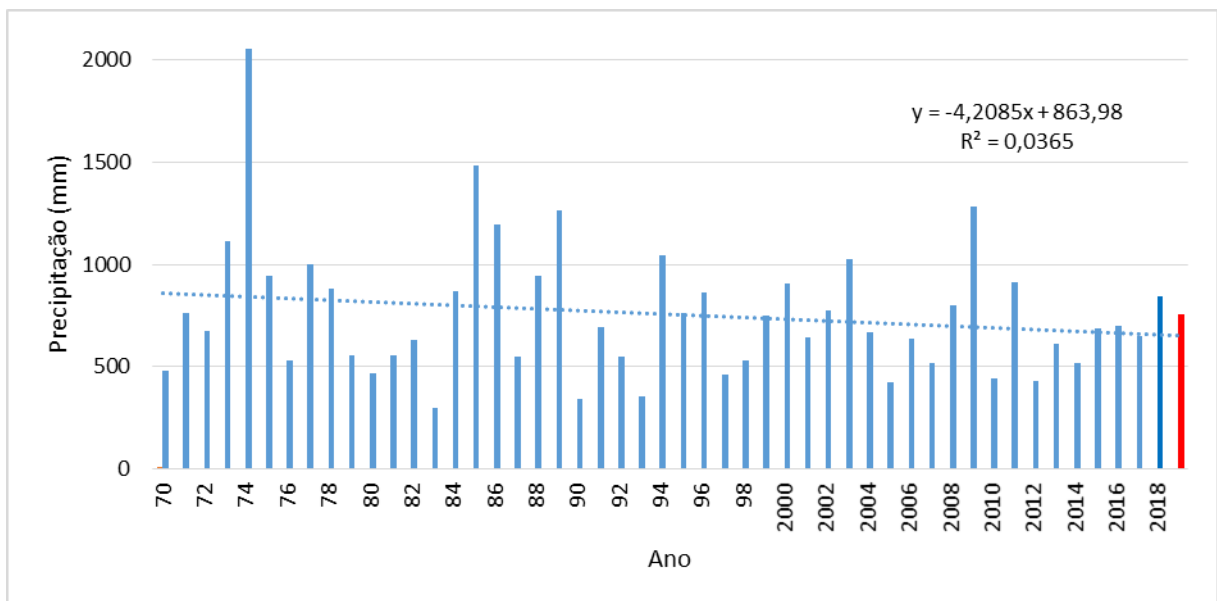
O Clima Tropical Quente Semiárido Brando predomina na região (CEARÁ, 2007b), com sete a oito meses secos e variação da temperatura média não expressiva.

O regime térmico do PICP é caracterizado, basicamente, por temperaturas elevadas e amplitudes reduzidas. A temperatura média anual (1970-2018) é de 27,1°C, com variações médias que não ultrapassam aos 2°C. Quanto as temperaturas máximas média, nos meses de setembro a dezembro são constatados os maiores valores, chegando à 37°C, enquanto 21,4°C é a temperatura mínima média do mês de julho, sendo este o mês mais frio. A umidade relativa média anual (1970-2018) é da ordem de 73%, característico do semiárido nordestino. No trimestre mais úmido (fevereiro/abril), os valores de umidade relativa ultrapassam 80%, enquanto que no período de estiagem as taxas decrescem, podendo atingir mínimos de 50% nos meses mais secos.

De acordo com dados históricos pluviométricos (1970-2018) da Estação Agrometeorológica da Fazenda Experimental Vale do Curu, localizada em área contígua ao Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, a precipitação média anual é de 765,5 mm, característica do semiárido Nordeste, podendo constatar desvios acentuados em torno desta média, em decorrência da distribuição irregular das chuvas.

Nos seis anos analisados (2012 – 2017) a precipitação ficou abaixo da média histórica, 43, 19, 31, 16, 11 e 19%, respectivamente. Na Figura 3 é possível perceber, através da linha de tendência, a diminuição dos volumes precipitados ao longo dos 47 anos observados (1970-2018). Apesar de que em 2018 houve aporte maior de chuva, 840 mm, mas não o suficiente para dar aporte aos açudes.

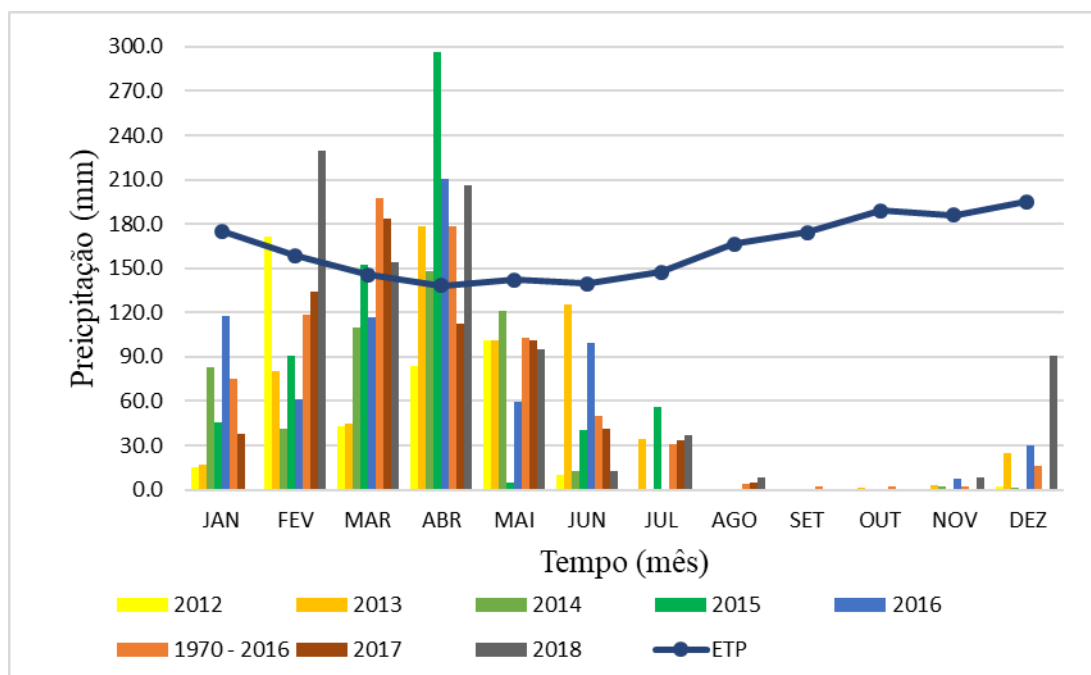
Figura 3 - Médias pluviométricas anuais do período de 1970 a 2018 do PICP - CE



Fonte: Estação Agrometeorológica da FEVC/UFC, CE.

O trimestre mais chuvoso é o de fevereiro a abril, que responde por 62% do total anual, sendo que o primeiro semestre apresenta historicamente 91% do total anual de chuvas. No segundo semestre, no entanto, conforme relatado anteriormente só ocorrem chuvas extemporâneas, conforme se visualizam nos dados ilustrados na Figura 4.

Figura 4 - Médias pluviométricas mensais do período de 1970 a 2018 do PICP - CE



Fonte: Estação Agrometeorológica da FEVC/UFC, CE.

A insolação média anual (1970-2003) é de 2.687,4 horas, o que equivale a uma incidência média diária de 7,5 h dia<sup>-1</sup>. Já a velocidade dos ventos varia entre 3,1 m s<sup>-1</sup> (em maio) e 6,6 m s<sup>-1</sup> (em outubro), tendo uma média diária de 4,9 m s<sup>-1</sup>.

A evaporação média anual em tanque classe A é da ordem de 2439 mm. Quanto à evapotranspiração que envolve a perda de água pelas plantas e do solo, a média referente à uma série histórica de 44 anos (1970-2003) é na ordem de 1988 mm por ano.

## 2.5 Vegetação

A maior parcela dos solos do PICP é estabelecida com cultivos irrigados, quase que exclusivamente com os cultivos de coqueiro e bananeira. Assim, a vegetação nativa é quase que inexistente nesses locais, o que resulta na alteração da paisagem natural. A formação vegetal de caatinga arbustiva/arbórea é a que ocupa a maior parte das áreas não cultivadas do perímetro, ocorrendo tanto em forma agrupada como isoladamente, em associações com o estrato herbáceo (DNOCS, 1993).

São presentes nessa região as seguintes espécies nativas: Jurema branca (*Phitaecolobium dumosum*), jucá (*Ziziphus joazeiro*), turco (*Parkinsonia aculaeta*),



marmeleiro (*Croton hemiargynens*), Chumbinho (*Cardiospermum grandiflorum*), mofumbo (*Cobretum leprosum*), Ciúme (*Calotropis gigantea*), entre outras (Dnocs, 1993). É possível observar grandes áreas com a viúva-alegre (*Cryptostegia grandiflora*), sendo esta uma trepadeira extremamente resistente, que se propaga facilmente cobrindo grandes árvores nativas, privando-as completamente do acesso à luz (Figura 5).

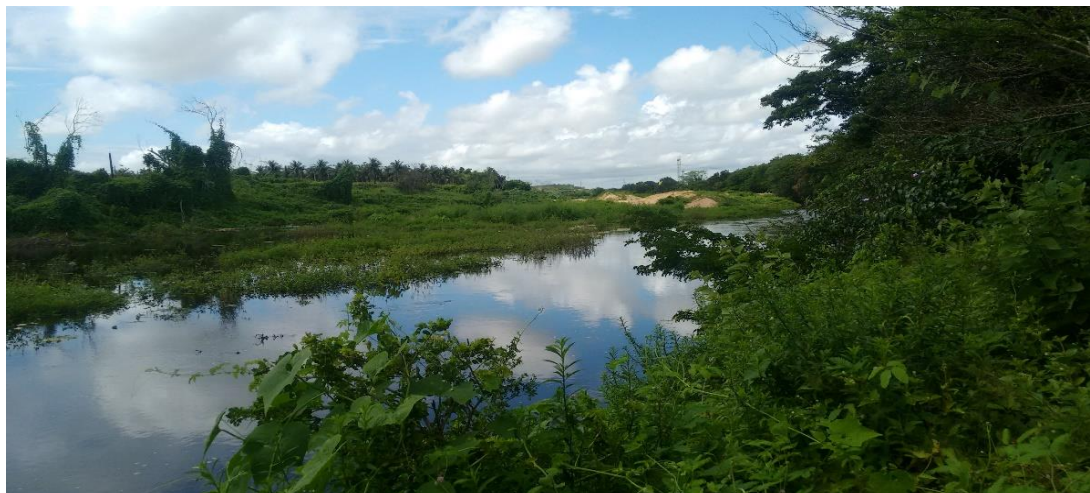
Figura 5 - Planta invasora (*Cryptostegia grandiflora*) observada no PICP no núcleo F



Fonte: elaborado pela autora.

Nas áreas que margeiam o Rio Curu não existe mata ciliar, estando bastante degradadas e substituídas, em sua maioria, por capoeiras e culturas diversas (Figura 5). Essas áreas fazem parte dos lotes agrícolas, assim, os irrigantes as usam para o plantio de culturas de seus interesses ou apenas deixando a área livre de vegetação para facilitar a captação da água do rio. Apesar da necessidade legal de preservar as matas ciliares de acordo com o código florestal, Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

Figura 6 - Trecho do Rio Curu no período chuvoso (abril de 2017), núcleo F, PICP – Ceará



Fonte: elaborado pela autora.

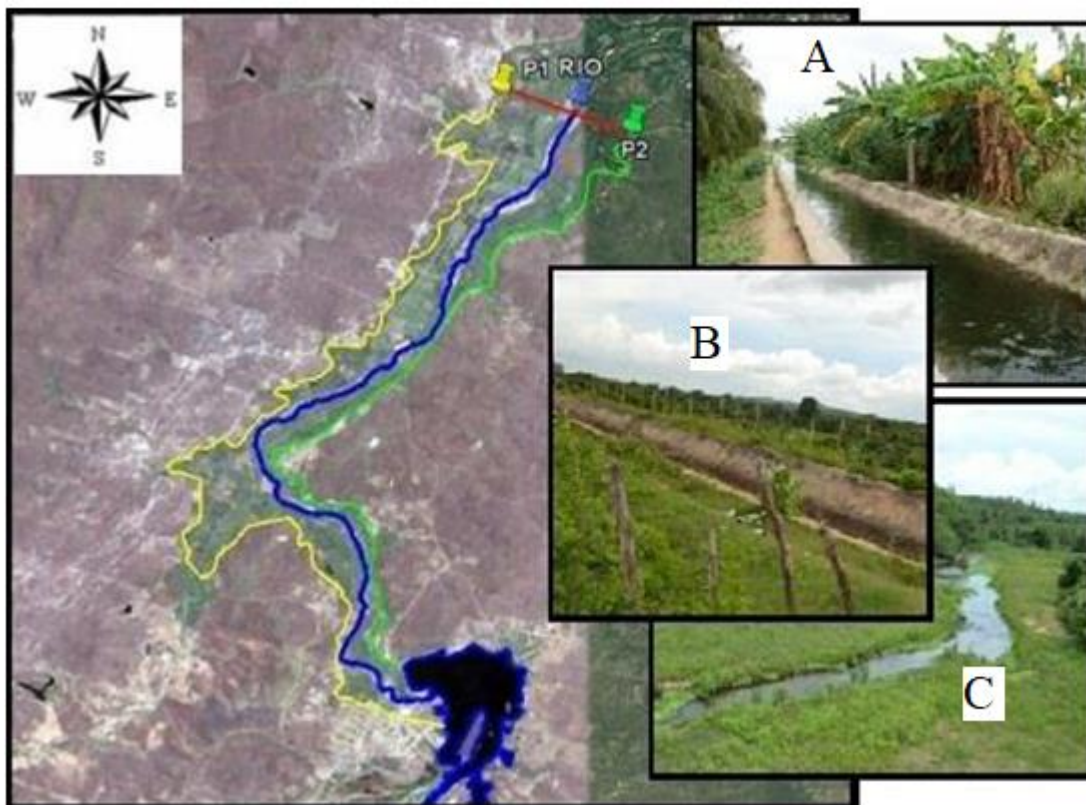
## 2.6 Fontes Hídricas

O PICP dispõe de duas fontes hídricas, água superficial proveniente dos açudes General Sampaio e Pereira de Miranda, e água subterrânea, explorada através de poços tubulares rasos e profundos, poços amazonas e por escavações no leito do rio.

### 2.6.1 *Água superficial*

A fonte de abastecimento hídrico do Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste são os açudes públicos federais General Sampaio e Pereira de Miranda. O Sistema General Sampaio abastece do núcleo A ao F, através dos canais P1 e P2 e o Sistema Pereira de Miranda abastece os núcleos G, H e parte do setor F, através do canal PM (Figura 7). No presente estudo foram avaliadas apenas áreas que são abastecidas pelo açude público General Sampaio.

Figura 7 - Delimitação da área em estudo, abastecidas pelo canal P1 (A) e P2 (B), margeados pelo Rio Curu (C), no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste.

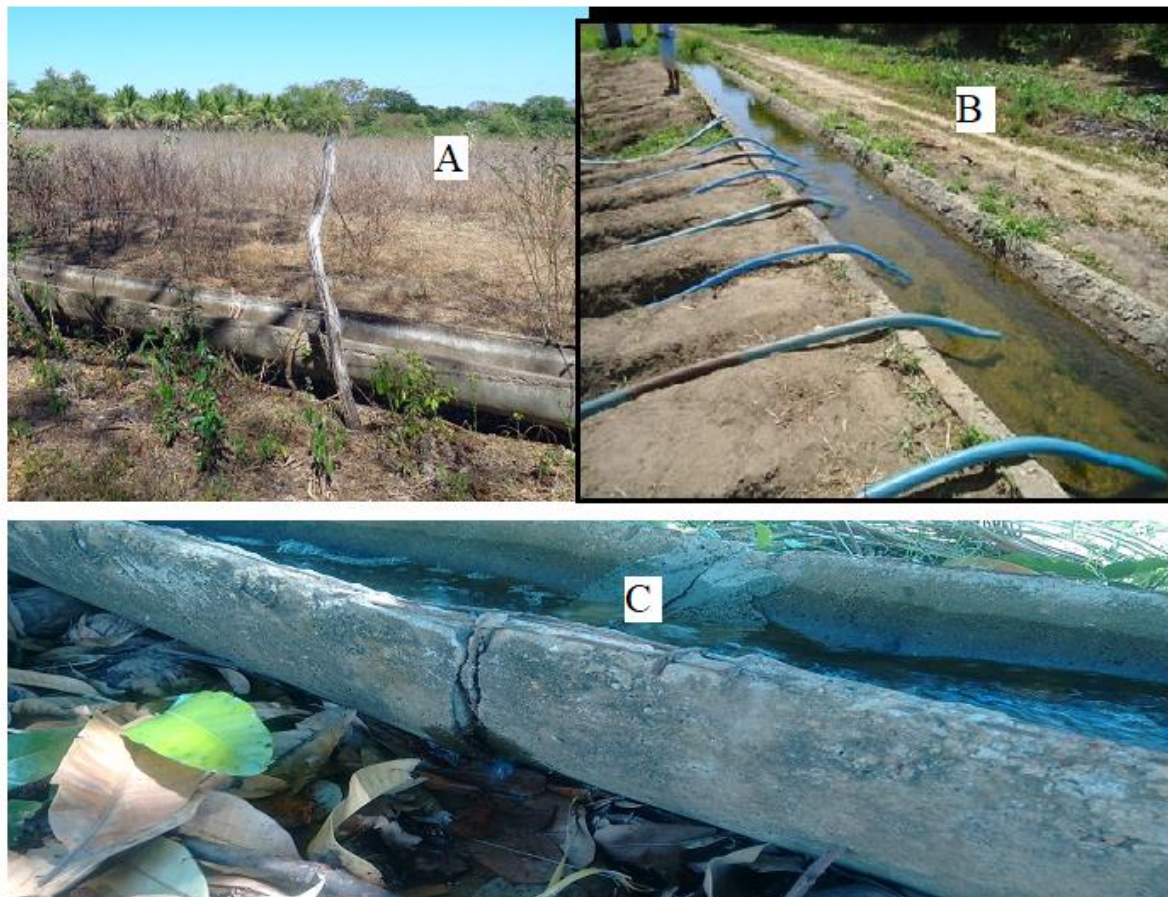


Fonte: Macedo, 2016.

Predomina o sistema de irrigação por gravidade, com água conduzida em canais e distribuída nas parcelas irrigadas através de sulcos.

Quando o sistema de irrigação do perímetro estava ativo, as águas eram captadas dos açudes e conduzidas pelos canais principais (P1 e P2) aos canais secundários, e destes às parcelas irrigadas através de canais terciários (Figura 8). Visivelmente, percebia que haviam perdas por infiltração nesse trajeto pelo fato dos canais terciários, geralmente, não serem revestidos. Estimava-se essas perdas em torno de 30 a 40% no âmbito do perímetro irrigado. Tais perdas já dificultavam a irrigação das parcelas irrigadas (MACEDO, 2015).

Figura 8 - Canal secundário (A e C) e canal terciário com adução de água através de sifões (B) no Perímetro Irrigado Curu – Pentecoste



Fonte: elaborado pela autora.

O açude General Sampaio foi projetado e construído em 1935, pela Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas – IFOCS, hoje Dnocs, onde uma das finalidades era a regularização do Rio Curu, onde se destacam os projetos de irrigação Curu Pentecoste (980 ha) e Curu Paraipaba (7.600 ha). Tem uma capacidade de armazenamento na ordem de 322,2 hm<sup>3</sup>, no entanto, devido ao longo período de estiagem, ao uso e à elevada taxa de evaporação, atualmente (dezembro de 2019), está com apenas 14,92 % de sua capacidade (53,7 hm<sup>3</sup>) (CEARÁ, 2019).

Nas Figuras 9 e 10 podemos observar a evolução dos volumes armazenados nos açudes General Sampaio e Pereira de Miranda, respectivamente. Onde é possível perceber a diminuição do volume após 2012.

Figura 9 - Evolução do volume armazenado do açude General Sampaio - Ceará

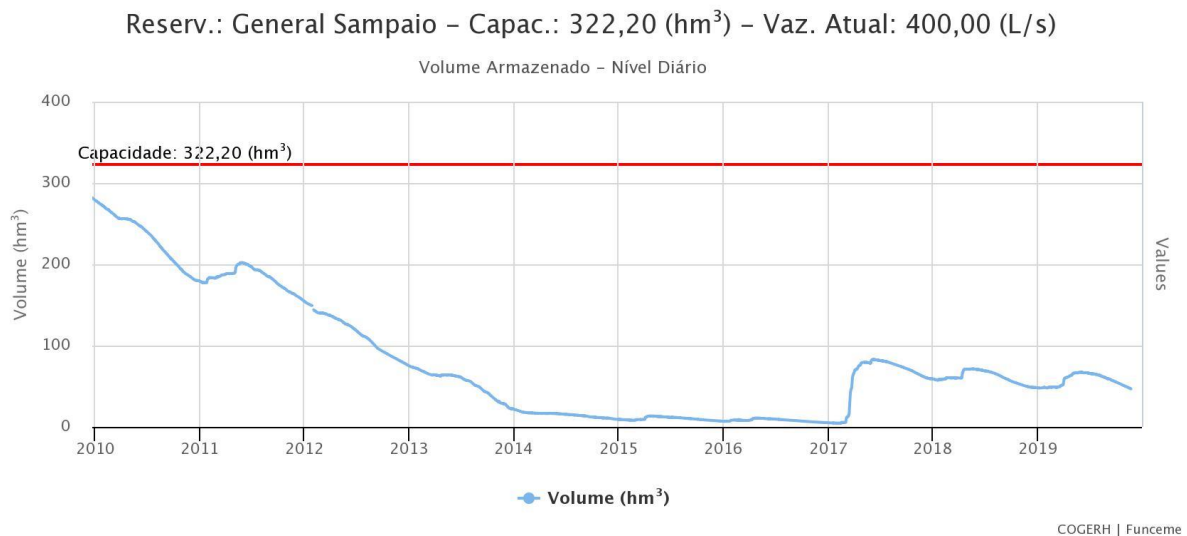
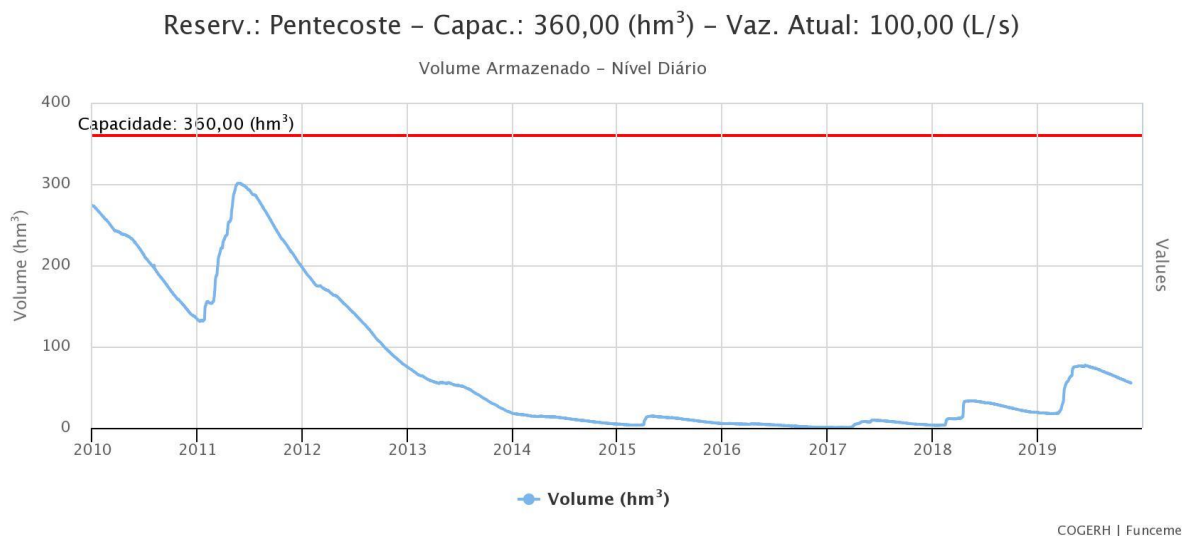


Figura 10 - Evolução do volume armazenado do açude Pereira de Miranda - Ceará



### 2.6.2 Água subterrânea

A exploração de água subterrânea pelos agricultores irrigantes no PICP aumentou consideravelmente após a suspensão da água para os canais de irrigação desde 2014. Suspensão executada devido ao longo período de estiagem que fez com que os açudes da região ficassem com um volume de armazenamento apenas para os usos prioritários, abastecimento humano e dessedentação de animais.

Uma das formas mais vistas para captação da água subterrânea, a pesar da irregularidade, é através de escavações realizadas no leito do rio, são águas do aquífero

aluvionar utilizadas para irrigação (Figura 11). Essa medida fez com que alguns irrigantes não perdessem suas culturas implantadas.

Figura 11 - Escavação no leito do Rio Curu, Núcleo F, PICP – Ceará



Fonte: elaborado pela autora.

Outras formas de captação dessas águas, são através de poços tubulares rasos e profundos.

Em 2002 foram construídos em torno de 25 poços rasos no aluvião do Rio Curu através de um projeto do Governo do Estado do Ceará, chamado “Caminhos de Israel- Poços no Sertão”; no entanto, como a maioria dos irrigantes não dispõe de energia elétrica em suas propriedades, muitos desses poços acabaram ficando em desuso. Na área de estudo foram cadastrados 16 poços desse projeto.

Os valores de vazão máxima para exploração desses poços, variaram entre 3,5 e 111,9 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. A elevada variabilidade nos dados de vazão dos poços rasos é inerente às características de anisotropia desse meio aluvial. A vazão média relativa aos poços avaliados é de 35,2 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, suficientes para dá suporte à demanda dos lotes agrícolas de 4,0 ha, com culturas de coqueiro e bananeira, considerando uma jornada diária de trabalho de 12 horas (SILVEIRA, 2014).

Os depósitos aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região, e apresentam, em geral, uma boa

alternativa como manancial, tendo uma importância relativa alta do ponto de vista hidrogeológico, principalmente em regiões semiáridas com predomínio de rochas cristalinas. Normalmente, a alta permeabilidade dos termos arenosos compensa as pequenas espessuras, produzindo vazões significativas (CPRM, 1998).

### 3 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Este capítulo refere-se às revisões bibliográficas sobre os temas de relevância para que esta pesquisa fosse realizada.

#### 3.1 Estudos realizados na área

Studart & Campos (1998) fizeram uma análise da gestão dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Curu antes e após a promulgação da Lei Nacional dos Recursos Hídricos, onde analisaram os obstáculos para essa nova forma de gestão, em que a água deve ser reconhecida como um bem econômico e deve dar ao usuário uma indicação do seu real valor (Brasil, 1997) e concluíram que os maiores problemas de água na Bacia do Curu são decorrentes da relativa escassez hídrica e do acentuado aumento de demanda.

Perdigão *et al.* (2010), no experimento com cajueiro anão na área de um agricultor familiar no núcleo D do PICP, utilizaram água proveniente de um poço raso (poço com até 20 m de profundidade), classificada como C<sub>3</sub>S<sub>1</sub>, ou seja, possui alto risco de salinidade (C<sub>3</sub>), pois apresenta uma CE de 1,23 dS.m<sup>-1</sup> e não oferece risco de sodificação (S<sub>1</sub>), uma vez que a RAS foi de 3,23, e considerando o solo arenoso bem drenado. Também não foi identificado riscos de toxicidade para as folhas da planta, uma vez que o sistema de irrigação utilizado era o localizado. Quanto aos principais cátions e ânions presentes na água, pôde-se inferir que os mesmos encontram-se dentro dos valores normais para irrigação.

Araújo *et al.* (2012) quantificaram os indicadores técnicos e econômicos do cultivo do maracujazeiro amarelo com fracionamento da irrigação, considerando fonte de água subterrânea para geração de informação para tomada de decisão dos agricultores familiares. Concluíram que a aplicação fracionada da lâmina de água requerida pela cultura com 50% às 7:00h e 50% às 21:30h foi a mais viável economicamente.

Macêdo *et al.* (2018) utilizaram água de um poço raso de um agricultor familiar no núcleo D do Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste para irrigação e avaliação da viabilidade econômica no cultivo do cajueiro anão precoce. Observaram um incremento na produtividade do cajueiro em torno de 90% após a irrigação, mostrando assim, que o cultivo do cajueiro anão precoce irrigado se apresentou como uma alternativa viável economicamente.



Oliveira e Souza Filho (2014) propuseram uma metodologia para alocação de água no Vale do Curu em período de escassez hídrica. A estratégia consistiu em juntar os mecanismos de formação de consenso entre usuários e mecanismos econômicos. Para isso foi considerado que o uso da água no Vale do Curu era predominantemente para irrigação. Dessa forma foi composta pela definição de um sistema de prioridades de uso da água intra-setorial para irrigação com base no pagamento da cobrança pelo uso da água. Os recursos seriam utilizados para pagamento de seguro e compensação financeira aos usuários, em anos secos. Constatou-se um resultado satisfatório quanto aos critérios de eficiência econômica, capacidade de adaptação, legitimidade e sustentabilidade política e equidade.

Albuquerque (2015) fez um levantamento da salinidade dos solos agrícolas de toda a extensão do Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste. O pesquisador utilizou um sensor de indução eletromagnética para medir a condutividade elétrica no solo. Foi estimado o total de sais solúveis em sua solução, e constatado que 67,27% dos solos do perímetro encontra-se degradados por sais, principalmente, em consequência da falta do manejo adequado da irrigação e das condições climáticas e ambientais da região.

Macedo (2016) propôs a substituição do cultivo tradicional da bananeira irrigada por sulco, por novos planos de cultivo com as culturas da abóbora e do mamoeiro. Foi constatado que os dados de produtividade da água revelam que os planos de cultivo analisados, associados às alternativas de fontes hídricas provenientes de poço raso tubular e de reuso do excesso da irrigação por superfície em sistemas localizados, se mostram bem mais atrativos do ponto de vista ambiental e econômico que o cultivo tradicional da bananeira irrigada por sulcos. A autora afirma que a qualidade das águas no perímetro irrigado apresenta, de modo geral, grau moderado de restrição ao uso, apresentando qualidade de água inferior no período seco.

### **3.2 Exploração de Aquífero Aluvionar no Nordeste do Brasil**

Em 2004, a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, percebendo a importância de conhecer o potencial dos sistemas aluvionares da região semiárida, em parceria com o CT-Hidro iniciou um projeto de mapeamento desses sistemas na Folha SB.24-X-A-IV/Itapiúna – Ceará, estudando as respostas espectrais das aluviões, além de estimar o potencial hidrogeológico desses aquíferos. Foi ressaltado que o

potencial hidrogeológico de um aquífero não traduz apenas o quanto de água está disponível pela unidade aquífera, mas a sua importância dentro do contexto de uso e preservação dos recursos hídricos de uma região.

Burte e Marlet (2011) investigaram a origem e os principais processos que governam a dinâmica da salinidade das águas de um pequeno aquífero aluvial e a disponibilidade de águas para irrigação no Perímetro irrigado de Forquilha. Afirmam que as irrigações conduzem os sais da zona saturada para a zona não saturada do aquífero e que a gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas na Bacia Hidrográfica de Forquilha podem ajudar controlar a qualidade da água de irrigação, sobretudo se a água é reavida de poços rasos perto do leito do rio, racionalizando assim o uso de água do reservatório e minimizando perdas de evaporação.

Moura (2014) vendo a importância de usuários e gestores dos recursos hídricos da Bacia do Banabuiú conhecerem os aspectos qualitativos e quantitativos das águas utilizadas, e a interação das águas superficiais com o aquífero aluvial, analisou as reservas hídricas da aluvião, a qualidade e a hidrodinâmica dessas águas. Constatou que as águas superficiais e da aluvião são adequadas para uso na irrigação, além disso, os rios recarregam o aquífero aluvionar e as águas dos poços do Aquífero Aluvionar sofreram evaporação durante a recarga.

Santos *et al.* (2007), a fim de gerarem parâmetros para auxiliar na gestão dos recursos hídricos subterrâneos do Ceará, analisaram a qualidade das águas da aluvião do rio Banabuiú, onde constataram que 52% das amostras das águas coletadas no final do período chuvoso, são doces, 37% salobras e 11% salgadas. Afirmaram que a ocorrência das águas Cloretadas está relacionada às águas pluviais e à evaporação, que favorece a concentração desses sais nas águas subterrânea e superficiais.

Demétrio *et al.* (2013), para auxílio na avaliação do método da filtração em margem como forma de obter um tratamento da água eficiente e econômico, avaliaram os parâmetros hidrodinâmicos e potenciométrico das aluviões do Rio Beberibe, Recife-PE, em que foi observado que o fluxo natural da água subterrânea segue o mesmo sentido do fluxo do rio, indicando que o rio Beberibe é efluente. Foi notado que os cones de rebaixamentos são elípticos com eixo maior paralelo ao curso do rio. Os parâmetros hidrodinâmicos medidos foram: Transmissividade  $2,3 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , condutividade hidráulica  $2,03 \times 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$  e coeficiente de armazenamento  $1,02 \times 10^{-3}$ .

Albuquerque *et al.* (2015) utilizaram duas metodologias para estimar a recarga

hídrica de um Aquífero Aluvionar na Zona Rural do Município de Pesqueira (PE): a do balanço hídrico de Thornthwaite & Mather (1955), e a da variação do nível de água, onde verificaram que todos os anos do período em estudo apresentaram déficit de umidade no solo, no período seco final. Observou-se a similaridade nos resultados dos métodos apresentados, sendo ambos apropriados na estimativa da recarga na região.

Andrade *et al.* (2014) estudaram a recarga no aquífero aluvial formado pelo riacho intermitente do Mimoso, na região semiárida de Pernambuco. Foi utilizado o método da flutuação do nível da água. Perceberam que as recargas estão diretamente proporcionais às precipitações pluviométricas.

### **3.3 Proposição metodológica de caracterização hidrológica de Aquíferos Aluvionares em Perímetros Irrigados**

O monitoramento quali-quantitativo das águas subterrâneas é um dos instrumentos mais importantes para dar suporte às estratégias, ações preventivas e políticas de uso, proteção e conservação do recurso hídrico subterrâneo (BRASIL, 2006).

O Plano Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), reflexo dos princípios da Agenda 21, está subdividido em 3 programas, um deles é o Programa Nacional de águas subterrâneas, o qual prevê a ampliação do conhecimento hidrogeológico através de estudos e projetos para aquíferos e abrangência transfronteira e interestadual e monitoramento quali-quantitativo das águas subterrâneas, estudos e projetos em escala local desenvolvimento dos aspectos legais e institucionais e a capacitação, comunicação e mobilização social (BRASIL, 2006). Apesar das grandes discussões e pretensões de melhorias no que rege ao gerenciamento das águas subterrâneas, pouco já se foi executado.

Para Custódio (1994) o planejamento hidrogeológico é um conjunto de guias em um marco legal-administrativo, com diretrizes econômicas, regras de correção e orientação do conhecimento para definir as grandes linhas de atuação futura, orientar gestão em horizontes futuros e efetuar correções de imediato. Para que esse planejamento seja eficaz é necessária a participação dos usuários e de especialistas antes mesmo da atuação dos órgãos superiores (FEITOSA *et al.*, 2008, p.733).

## 4 METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa foi dividida em três etapas: *Levantamento de dados e bibliográfico*, relativo à obtenção de cadastro e seleção dos pontos de amostragem para a pesquisa e levantamento da bibliografia correlata; *Etapa de campo*, referente à atualização do cadastro dos pontos de amostragem, monitoramento dos níveis estáticos da água subterrânea, coleta de amostras de água dos poços e escavações, georreferenciamento dos pontos, levantamento de dados do uso e ocupação do solo agrícola e; *Etapa pós-campo*, correspondente ao tratamento e integração dos dados climatológicos, uso e ocupação do solo, hidrogeologia e qualidade da água, análise estatística de correlação entre as variáveis.

### 4.1 Levantamento de dados e bibliográfico

Como a pesquisa surgiu pela problemática que os Perímetros Irrigados no Nordeste vêm passando, inicialmente fez-se uma pesquisa e análise da situação da produção agrícola nos 13 perímetros cearenses, buscando-se aferir o impacto da seca extensiva de 2010-2015 nos mesmos, identificando as culturas e os perímetros que mais foram atingidos. Para isso, foram sistematizados os dados das sínteses executivas dos perímetros irrigados divulgadas pelo Dnocs, constando a produção agrícola dos cinco anos investigados. Além de dados meteorológicos de pluviometria de fonte da Funceme e de volumes de armazenamento de água nos principais reservatórios do Estado, baseados nos dados da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado – Cogerh.

Acreditando que a água subterrânea é a melhor alternativa para suprimento da irrigação nesses perímetros, escolheu-se uma área no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste como área piloto para investigação das águas subterrâneas em aluvião. Para isso, inicialmente, buscaram-se informações sobre os poços cadastrados em todo o Perímetro, no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – Siagas, no entanto nenhum cadastro foi encontrado. Então, buscou-se os órgãos gestores e de operação da região. A Secretaria de Agricultura Irrigada do Estado do Ceará (Seagri) disponibilizou os cadastros de 25 poços rasos, construídos com verbas do Governo do Estado do Ceará.

#### ***4.1.2 Evolução da produção agrícola do PICP***

Para conhecer os impactos na produção agrícola do PICP devido ao longo período de estiagem (2012 – 2016), foram analisados documentos relatoriais do Dnocs, baseados em arquivo onde consta o levantamento da produção dos anos agrícolas de 2010 até 2015, disponibilizados pela Síntese Executiva da Produção conforme Guazzelli *et al.* (2011; 2012; 2013; 2014 2015 e 2016). Os anos foram escolhidos conforme sua representatividade no contexto da seca, e da crise hídrica que o Estado vem sofrendo. No final de 2016 haviam 135 açudes com volumes inferiores a 30%. As bacias hidrográficas mais atingidas foram Acaraú, Baixo Jaguaribe, Banabuiú, Curu, Médio Jaguaribe, Salgado e Sertão do Crateús, todas com menos de 9% da capacidade máxima armazenável (CEARÁ, 2016).

O arquivo de dados foi composto conforme a produção anual da cultura do coco verde, por representar a maior representatividade quanto à área plantada, e a evolução da área irrigada plantada ao longo dos anos analisados (2011 – 2015).

Para a análise da precipitação nos mesmos anos, a título de comparação, foi utilizado dados da Funceme e da Cogerh. Realizou-se análise comparativa em termos de produtividade dos cultivos, de maneira a identificar a resiliência dos cultivos irrigados nos perímetros quanto a esse fenômeno.

Assim, a produtividade de coco e a evolução da área irrigada do PICP, foi comparada com os volumes percentuais de água superficial armazenados nas bacias, entre os anos de 2010 e 2015, as quais, possuem fontes para seu abastecimento. Complementarmente, foram levantadas outras variáveis como estrutura e porte dos agricultores irrigantes, além dos respectivos padrões de área irrigável e tipos de infraestrutura de irrigação de cada perímetro irrigado.

Um artigo referente a esse tópico intitulado “Efeitos da Seca em Perímetros Irrigados no Semiárido Brasileiro” foi publicado no Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ (Apêndice A).

#### **4.2 Campo e pós-campo**

As atividades no PICP iniciaram-se com o cadastro dos poços e seleção, posteriormente deram início aos monitoramentos mensais dos níveis estáticos dos poços

rasos, georreferenciamento dos poços, confecção dos mapas de rede de fluxo, coleta e análise de água, realização de sondagens eletro-vertical e cálculo das reservas hídricas subterrâneas.

#### **4.2.1 Cadastro dos poços**

Foram cadastradas todas as fontes de água subterrânea com potencial de uso para irrigação na área de estudo, assim como as fontes hídricas já utilizadas para tal finalidade. Dentre as fontes estão as escavações no leito do Rio Curu, poços tubulares rasos na aluvião e poços tubulares profundos (Tabela 2). A localização de cada ponto está no APÊNDICE B.

Tabela 2 - Pontos de exploração de água subterrânea no PICP - Ceará

<i>Ponto</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Unidade Hidrogeológica</i>
Poços tubulares rasos	16	Aluvião
Escavações	09	Aluvião
Poço tubular profundo	17	Cristalino
Total	42	

\*O poço capta água dos dois domínios hidrogeológicos (poço misto).

Fonte: elaborado pelo autor.

Para estudo mais detalhado nessa pesquisa, foram selecionados os poços tubulares rasos localizados na aluvião do rio Curu, já que o Aquífero Aluvionar é o que está sendo mais explorado nesses últimos cinco anos de estiagem na região estudada.

#### **4.2.2 Monitoramento do nível estático dos poços rasos**

O nível estático corresponde ao nível d'água que permanece em equilíbrio no poço quando não está sendo bombeada, representando a distância vertical entre a superfície e este nível da água no poço. Foram monitorados 15 poços rasos de 2014 – 2017, totalizando 30 campanhas de leituras através de um medidor elétrico de nível d'água com sinal sonoro (Figura 12). Na leitura tomou-se como referência a boca do poço, porém subtraindo-a após a leitura do nível d'água.

Figura 12 - Medição do nível estático, poço raso, PICP, Ceará



Fonte: elaborado pela autora.

#### 4.2.3 Determinação dos dados planialtimétricos

Para obtenção das coordenadas planialtimétricas dos poços foram utilizados receptores GPS (*Global Positioning System*) geodésico (Figura 13), frequência (L1, L2), com precisão de um erro máximo de 5 mm. No pós-processamento de dados do GPS foi adotado o método do “PPP” (Posicionamento de Ponto Preciso) do IBGE, cujo serviço é “on-line” e gratuito. Ele permite aos usuários de GPS a obtenção de coordenadas com boa precisão no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000) e no International Terrestrial Reference Frame (ITRF).

Figura 13 - Obtenção de coordenadas UTM dos poços com GPS geodésico no PICP - CE.



Fonte: elaborado pela autora.

Para obtenção de uma maior precisão, o tempo de rastreamento do GPS deve ser de acordo com a distância da base do IBGE. Assim, de acordo com a recomendação do IBGE seria necessária a permanência de duas horas em cada ponto, porém comparando a precisão entre a captação de dados em uma e em duas horas, percebeu-se que em uma hora seria o suficiente para os estudos. Após a coleta de dados através do GPS, os mesmos foram transformados em um arquivo RINEX através da utilização do software GNSS Solutions. Posteriormente, as informações de campo e o arquivo gerado foram processados “on-line” no IBGE-PPP.

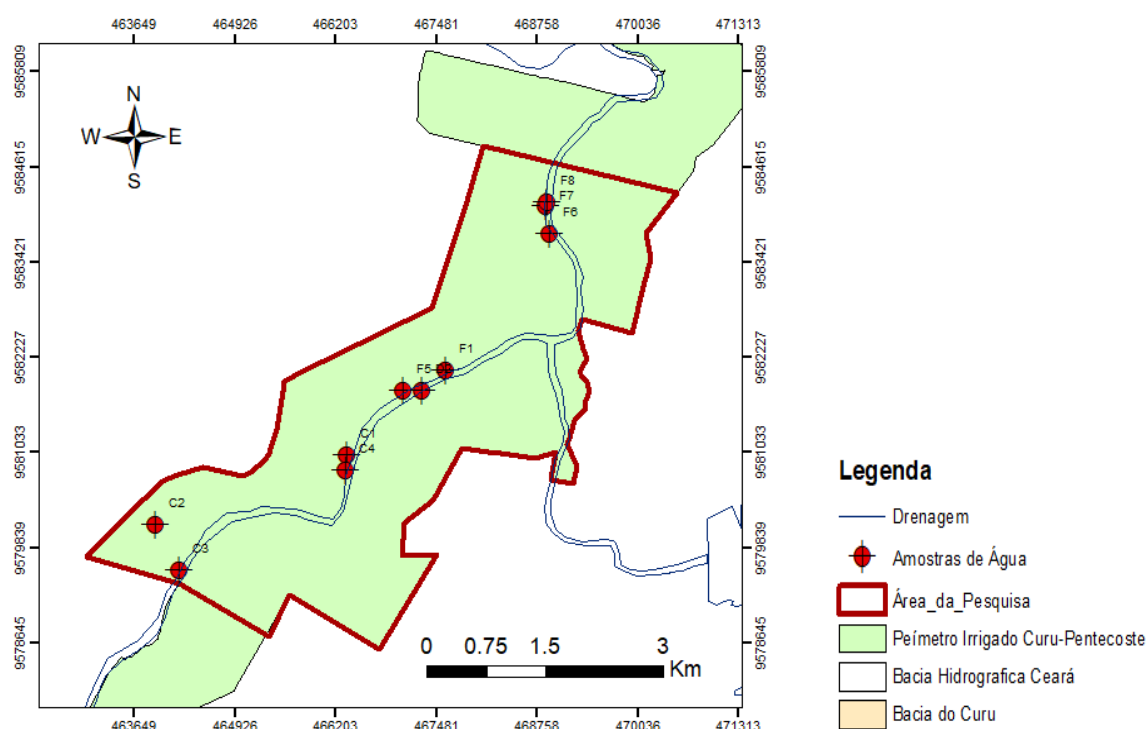
#### ***4.2.4 Hidroquímica***

Foram selecionados 10 pontos de amostragem de água dentro da área de estudo. A seleção foi realizada de acordo com os seguintes critérios: Poços com a coluna d'água maior que 1,5m, para realizar um bombeamento seguro; poços ativos; poços mais acessíveis.

Na Figura 14 é demonstrado os locais das coletas, ficando espaços vazios devido a inexistência de poços rasos no local.



Figura 14 - Locais de coleta de água, PICP - Ceará



Fonte: elaborada pela autora.

Foram realizadas quatro campanhas de coletas de água, duas para uma pré-análise, realizada em novembro de 2016 e outra em abril de 2017, onde foram analisados pH, CE e STD em 8 e 12 pontos de amostragem, respectivamente. A terceira e quarta coleta foram realizadas em Julho de 2017 e em Novembro de 2017 em 10 poços tubulares rasos, representando o final do período chuvoso e final do período seco. Nessa última foram determinados em cada uma delas 19 atributos físico-químicos: pH, condutividade elétrica (CE), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), ferro total (Fe), alumínio (Al), fluoreto ( $\text{F}^-$ ), alcalinidade ( $\text{CaCO}_3$ ), dureza ( $\text{CaCO}_3$ ), nitrito ( $\text{N-NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), turbidez e sólidos totais dissolvidos (STD).

As análises físico-químicas das amostras de águas subterrânea foram realizadas no Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada, setor Geoquímica Ambiental, do Departamento de Geologia da UFC. A Tabela 3 apresenta os métodos empregados, os quais seguiram os procedimentos analíticos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Tabela 3- Métodos analíticos aplicados de acordo com APHA (2012)

<b>Parâmetros físico-químicos</b>	<b>Método aplicado</b>	<b>Código</b>
Alcalinidade Total	Titulométrico	2320B
Bicarbonato	Titulométrico	2320B
Cálcio	Titulométrico com EDTA	3500B
Cloreto	Argentométrico	4500B
Condutividade	Medidor multiparâmetros	2510 A
Dureza Total	Titulométrico com EDTA	2340C
Ferro Total	Fenantrolina	3500B
Fluoreto	Eletrodo de Íon Seletivo	4500C
Magnésio	Titulométrico com EDTA	2340C
Nitrato	Coluna redutora de cádmio	4500E
Nitrito	Espectrofotométrico	4500B
pH	Eletrométrico	4500H
Potássio	Fotométrico	3500B
Sódio	Fotométrico	3500B
Sólidos Totais Dissolvidos	Medidor multiparâmetros	2540C
Sulfato	Turbidimétrico	4500E
Turbidez	Nefelométrico	2130 B

Fonte: APHA (2012)

O pH, a condutividade elétrica e a salinidade da água foram medidos usando um medidor multiparâmetros, marca Thermo Scientific Orion e modelo Star A329 Portable.

Nitrogênio Total e Fósforo Total foram determinados pelo método da Coluna Redutora de Cádmio e do Ácido Ascórbico, respectivamente, após digestão com persulfato.

Para a pré-análise das águas, em novembro de 2016 e abril de 2017, foram coletadas amostras em garrafas de 50 mL e os parâmetros foram medidos com um condutivímetro portátil de marca Extech, o qual faz medições de CE, STD, pH, salinidade e temperatura (Figura 15).

Figura 15 – Amostras de água dos poços rasos do PICP-Ceará e medições dos parâmetros físico-químicos



Fonte: elaborado pela autora.

No período da terceira coleta, em julho de 2017, 90% dos poços estavam inativos, sendo necessário levar uma motobomba para cada poço, onde foi realizado um bombeamento de aproximadamente 5 a 10 minutos antes da coleta das amostras. A motobomba utilizada foi uma autoescorvante à gasolina de 6,5 cv, com vazão máxima de  $35 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . Antes do bombeamento, foi medido o nível estático e a profundidade do poço para obtenção da coluna d'água disponível no poço.

As amostras foram coletadas em garrafas de plástico de 0,5 L, esterilizadas, e para análise da amônia, foi coletada 20mL de água em um vidro escuro (âmbar) contendo reagentes estabilizantes (fenol e citrato), logo em seguida as amostras eram postas sob refrigeração e sob abrigo da luz em um isopor com gelo até a chegada no laboratório (Figura 16).

Figura 16 – Terceira coleta de água dos poços rasos no PICP - Ceará





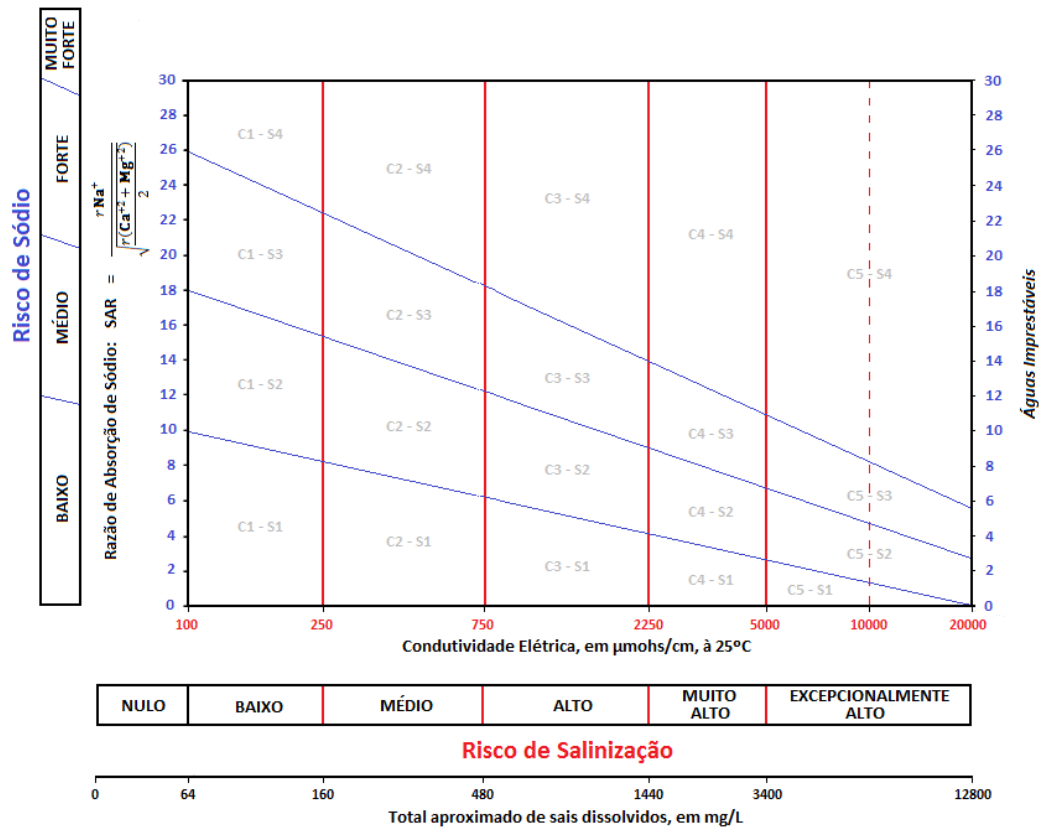
Fonte: elaborado pela autora.

Foi realizada a classificação das águas para fins de irrigação através da metodologia adotada pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos, proposto por Richards (1954), a qual apresenta um diagrama de classificação combinando a Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e a concentração total de sais, o que possibilita formar 16 classes de água, variando de C<sub>1</sub> a C<sub>4</sub> e S<sub>1</sub> a S<sub>4</sub> em todas as combinações possíveis (Figura 17), sendo que uma água C<sub>1</sub> apresenta baixa salinidade, condutividade elétrica (CE) variando de 0 a 250  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (0 a 0,25  $\text{dS m}^{-1}$ ) e C<sub>4</sub> representa água de muito alta salinidade, condutividade elétrica variando entre 2250 e 5000  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  (2,25  $\text{dS m}^{-1}$ ). Quanto à classificação de S<sub>1</sub> a S<sub>4</sub> está relacionada ao risco de sodicidade, que assim como o risco da salinidade, pode ser baixo, médio, alto ou muito alto, sendo expresso pelo índice RAS (Equação 01) baseada essencialmente no efeito do sódio nas condições físicas do solo, causando problemas de infiltração pela redução da permeabilidade (SILVA *et al.*, 2011 e CORDEIRO, 2001).

$$RAS = \frac{rNa^+}{\sqrt{\frac{rCa^{++} + rMg^{++}}{2}}} \quad (\text{Eq. 01})$$

Em que, “r” significa *reating value* (miliequivalente por litro de solução).

Figura 17 - Diagrama para classificação de águas para irrigação



Fonte: RICHARDS (1954)

O uso da RAS, como proposto originalmente pelo Laboratório de Salinidade do Solo dos Estados Unidos (Richards, 1954) tem sido frequentemente criticado por subestimar o risco de sodicidade e por não levar em consideração outros íons (ânions como  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_3^{2-}$ ) sugerindo-se métodos de cálculos alternativos, como os da RAS ajustada (RASaj) e da RAS corrigida (RAScor). Os valores de RAScor colocam-se intermediários entre RAS e RASaj, o que sugere cautela na hora de se tomar decisões quanto à classificação da água para fins de irrigação (OLIVEIRA e MAIA, 1998).

A Tabela 4 apresenta uma aproximação de problemas potenciais, mas não deve ser utilizado para fornecer critérios firmes, deve-se levar em consideração as características da região e as condições financeiras do irrigante para fazer a correção dessas águas.

Tabela 4- Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação

<i>Problema potencial</i>	<i>Grau de Restrição</i>		
	<b>Nenhum</b>	<b>Leve a moderado</b>	<b>Severo</b>
<b>SALINIDADE</b>			
CE (dS/m)	< 0,7	0,7 a 3,0	>3,0
STD (mg/L)	< 450	450 a 2000	>2000
<b>ENTUPIMENTO*</b>			
pH	<7,0	7,0 – 8,0	>8,0
STD	<500	500 -2000	>2000
<b>TOXIDEZ</b>			
Ferro (mg L <sup>-1</sup> )	<0,1	0,1-1,5	>1,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	<91,5	91,5-518,6	>518,6
Cloreto (mg L <sup>-1</sup> )	<142	142-354,5	>354,5

Fonte: Adaptado Nakayama (1982) e Ayers e Westcot (1994).

Legenda: CE= Condutividade elétrica; STD = Sólidos Totais Dissolvidos

\*Limitações do uso da água quanto aos riscos de entupimento.

A classificação de água para fins de irrigação é um recurso que fornece uma base para predizer com razoável confiança o efeito geral da sua utilização sobre o solo e a planta e sob o sistema de irrigação.

A análise hidrogeoquímica será baseada na composição química das águas subterrâneas (uso e ocupação do solo e litologia) classificação iônica e, por último, as relações iônicas dessas águas. Os dados físico-químicos serão relacionados aos parâmetros climáticos (precipitação pluviométrica e temperatura), devido os mesmos terem influências na hidroquímica através de processos de diluição, concentração ou aumento da solubilidade

#### 4.2.5.1 Balanço iônico

O balanço iônico consiste na comparação da soma das cargas positivas com a soma das cargas negativas dos íons, portanto é utilizado para avaliar a qualidade das análises químicas realizadas em laboratório, a partir daí selecionam-se as melhores. Entretanto, além dos erros cometidos no laboratório, existe a possibilidade também de ocorrer precipitações de minerais no recipiente da amostra coletada, causando um desequilíbrio iônico. E de acordo com o método de Logan (1965), que considerou o erro teórico igual ao erro prático máximo

permitido, a Equação 02 e o Quadro 01 abaixo são usados para calcular o erro prático da análise. Este cálculo do erro para cada amostra foi processado pelo programa Qualigraf. Além de já ter sido calculado no laboratório onde as amostras foram analisadas. Foi admitido um erro máximo de 10 %, amostras com erros maiores foram descartadas.

$$\text{Erro (\%)} = \frac{\sum\left(\text{Cátions}, \frac{\text{meq}}{\text{L}}\right) - \sum\left(\text{Ânions}, \frac{\text{meq}}{\text{L}}\right)}{\sum\left(\text{Cátions}, \frac{\text{meq}}{\text{L}}\right) + \sum\left(\text{Ânions}, \frac{\text{meq}}{\text{L}}\right)} \times 100 \quad (\text{Eq. 02})$$

Quadro 01 - Erro admissível nas análises dos íons maiores.

$\Sigma$ cátions ou $\Sigma$ ânions (meq/L)	≤ 01	02	06	10	≥ 30
Erro (%)	10	06	04	03	≤ 02

Fonte: Logan (1965).

Para a determinação das relações iônicas das águas as concentrações são expressas em meq/L, para converter mg/L em meq/L, os valores foram multiplicados pelos fatores de conversão listados na Tabela 5.

Tabela 5 - Fatores utilizados na conversão dos valores mg/l para meq/l.

Cátions	Fator de conversão
Na	0,04350
K	0,02558
Ca	0,04999
Mg	0,08224
Cl	0,02821
CO <sub>3</sub>	0,03333
HCO <sub>3</sub>	0,01639
SO <sub>1</sub>	0,02082

Fonte: MOBUS, 2003

Para a classificação iônica das águas subterrâneas utilizou-se o Diagrama de Piper, frequentemente usado para classificar o tipo químico da água de acordo com o conteúdo iônico dominante. A representação nesse diagrama é feita em três campos onde são plotados os valores percentuais das concentrações dos principais constituintes iônicos para os cátions e os ânions, sendo possível identificar o fácies hidroquímico. O cruzamento do prolongamento dos pontos na área do losango mostra sua posição e classifica a amostra de acordo com o fácies. O *software* utilizado foi o Qualigraf (MOBUS, 2003) que tem uma interface extremamente simples e otimizada para a classificação das águas.

### 4.3 Sondagem Elétrica Vertical – SEV

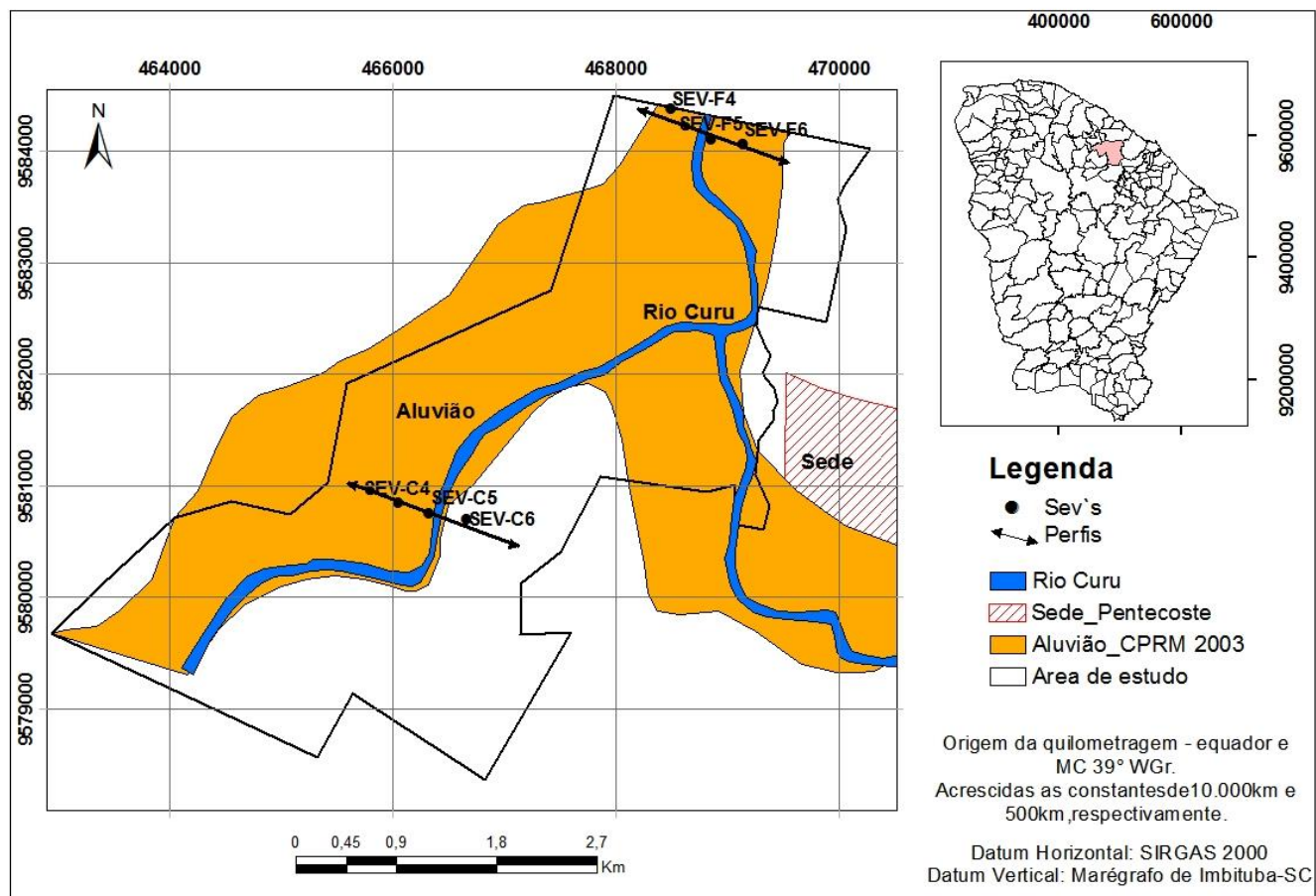
A utilização de técnicas de geofísica integrada aos aspectos hidrogeológicos é essencial para avaliar as potencialidades dos recursos subterrâneo de uma região, visto que através das sondagens geofísicas é possível identificar a espessura das camadas saturadas em água de acordo com a resistividade elétrica apresentada pelo sedimento ou rocha. De acordo com Sacasa *et al.*, (2004), a resistividade elétrica é a resistência que o material oferece à passagem da corrente elétrica. Em meios porosos, como no caso da área de estudo (aluvião) o fluxo de corrente elétrica faz-se essencialmente ao nível do fluído intersticial e na camada limite entre a matriz sólida e o meio líquido; em meio não poroso tipo rochas fraturadas, a corrente elétrica é obrigada a atravessar o material constituinte da rocha antes de atingir as fraturas, sendo, portanto, sujeita a maior resistência.

A sondagem elétrica vertical – SEV é um método de eletrorresistividade que consiste em medidas de impedância, com subsequente interpretação em termos de propriedade elétrica da estruturação geológica em subsuperfície, baseado na resposta de cada material ao fluxo de uma corrente elétrica (WARD, 1990 apud LEAL, 2007).

Para a caracterização da estratigrafia da aluvião do Rio Curu, foram realizadas 6 SEV's, alinhadas com direção perpendicular a calha do rio, divididos em dois perfis com três SEVs cada (Figura 18). O perfil 01 é representado pelas SEV C4, C5 e C6 executadas no núcleo C e o Perfil 02 é compreendida pelas SEV's F4, F5 e F6 executadas no Núcleo F. As aberturas máximas dos eletrodos de corrente, AB/2, foram de 50m, atingindo uma profundidade máxima teórica de 25m, suficiente para definir a espessura do aluvião e profundidade do topo do embasamento cristalino da área de pesquisa, e com auxílio do mapeamento geológico traçar uma nova delimitação da zona aluvionar na área de pesquisa.



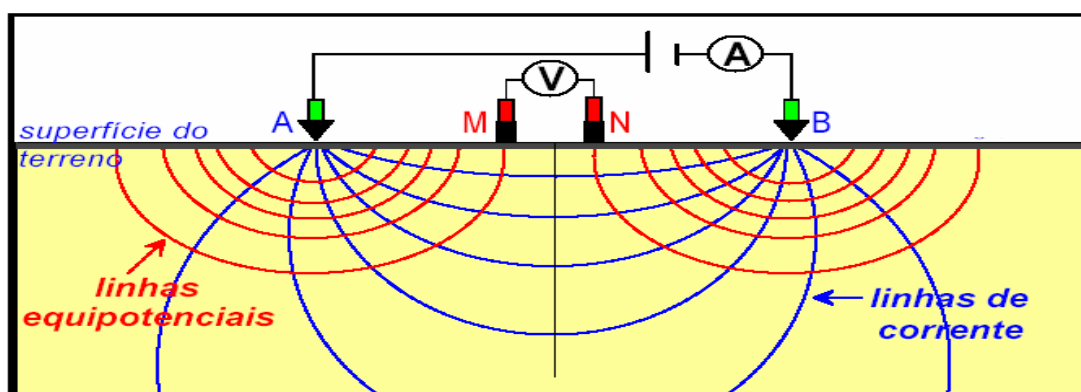
Figura 18 - Localização dos pontos de SEV no PICP, Ceará



Fonte: elaborado pela autora.

Foi realizada na área uma SEV utilizando o arranjo Schlumberger, com AB máximo de 50m, atingindo uma profundidade máxima teórica de 25m. A e B são os eletrodos de injeção de corrente elétrica, M e N são os eletrodos de medida da direção de potencial (Figura 19 e 20). Nesse tipo de arranjo, enquanto os elétrons de corrente A e B apresentam uma separação crescente em relação ao centro do arranjo (V), os elétrons de potencial M e N permanecem fixos durante o desenvolvimento do ensaio.

Figura 19 - Ilustração do arranjo Schlumberger na Elettoresistividade



Fonte: Braga, 2001.

Na SEV, a separação dos eletrodos de emissão de corrente elétrica é variada, e os resultados são interpretados em termos de camadas ou estratos geoeletricos. É usada para camadas horizontalizadas, quando existe a necessidade de se conhecer a variação vertical de resistividade e, assim, inferir a profundidade (espessura) e resistividade aparente das camadas presentes. O procedimento é baseado no fato de que a corrente penetrará continuamente em profundidade à medida que aumenta o espaçamento entre os eletrodos de corrente (LEAL, 2007).

Figura 20- Levantamento geofísico - SEV no PICP - Ceará



#### 4.3.1 Equações básicas para SEV

Analisando o caso para um terreno homogêneo de resistividade  $\rho$ , se introduzir através de um eletrodo pontual **A** uma corrente contínua de intensidade  $i$ , esta fluirá radialmente onde as superfícies equipotenciais seriam semi-esferas concêntricas de raio  $r$ .

Aplicando a lei de Ohm no espaço compreendido entre duas equipotenciais, teremos uma diferença de potencial  $\Delta V$ , dada pelas Equações 12 e 13.:

$$-\Delta V = \rho \Delta r i / 2\pi r^2 \quad (\text{Eq.12})$$

Integrando-se:

$$V = \rho i / 2\pi r \quad (\text{Eq. 13})$$

Na prática, a diferença de potencial é medida através do arranjo de 4 eletrodos, sendo dois de corrente nos extremos (**A** e **B**) e dois de potencial no centro do arranjo (**M** e **N**). Aplicando a fórmula de  $\Delta V$  para um terreno homogêneo e isotrópico tem-se:

$$\Delta V = \frac{1}{2\pi} (1/AM - 1/AN - 1/BM + 1BN) \rho I \quad (\text{Eq.14})$$

Desta forma a equação da resistividade aparente fica simplificada como mostrado abaixo, sendo conhecida como fórmula fundamental da eletrorresistividade (Equação 15):

$$\rho = K \Delta V / I \quad (\text{Eq. 15})$$

Onde **K** é uma constante que depende do arranjo geométrico dos eletrodos, ou seja, está baseado nas distâncias lineares entre os eletrodos de corrente e de potencial (Equação 16).

$$K = \frac{(AM \times AN) \pi}{MN} \quad (\text{Eq.16})$$

#### 4.3.2 Interpretação dos dados

Para interpretação das SEVs se utilizou as curvas de campo, juntamente com os perfis existente dos poços rasos próximos à área da SEV.

Através do conhecimento da geologia local foi possível fazer a interpretação dos dados da eletrorresistividade, usando critérios para associação resistividade/litologia, tais como as variações das margens, geologia local e perfis dos poços próximos.

Na Tabela 6 são apresentadas as faixas de variações mais frequentes, nos valores de resistividade para alguns tipos de sedimentos e rochas.

Tabela 6 - Valos de resistividade de alguns tipos litológicos.

<b>Características gerais/Material</b>	<b>Resistividade (ohm.m)</b>
Zona não saturada	100 a 30.000
Argiloso	≤ 20
Argilo-Arenoso	20 a 40
Areno-Argiloso	40 a 60
Silto Argiloso	10 a 60
Silto Arenoso	10 a 60
Arenoso	> 60
Argilito	10 a 20
Arenito	80 a 200
Granito/Gnaisse	3000 a 5000

Fonte: Adaptado de Braga (2001).

#### 4.4 Reservas hídricas subterrâneas

Um artigo referente a esse capítulo intitulado “ Reservas Hídricas subterrâneas e contribuição à gestão dos recursos hídricos em Aluviões no Semiárido foi publicado no periódico Geociências, da UNESP (São Paulo, UNESP, Geociências, v. 35, n. 4, p.642-651, 2016) (Apêndice B). Sobretudo, o estudo deu continuidade para atualizar o cálculo das reservas, assim como observar o comportamento sazonal ao longo dos anos de estudo (2014-2017).

O conhecimento das reservas hídricas subterrâneas disponíveis para exploração é de fundamental para estudos de gestão e planejamento dessas águas, principalmente em regiões onde o uso das águas subterrâneas é um fator de desenvolvimento regional (EILERS, 2004).

Foi utilizado o método do balanço hídrico, para a estimativa da recarga, segundo a equação proposta por Thornthwaite para o cálculo da Evapotranspiração Real – ETR, com base nos dados obtidos na Estação Agrometeorológica da Fazenda Experimental Vale do Curu, localizada em área contígua ao Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste.

A lâmina precipitada (P), pode ser dividida em três parcelas: o escoamento superficial (ES), a evapotranspiração real (ETR), e a infiltração total (recarga potencial -  $I_T$ ), podendo a expressão geral do balanço hídrico médio ser escrita na equação 5.

$$P = ES + ETR + I_T \quad (\text{Eq.5})$$

A infiltração total ( $I_T$ ) inclui a água retida no solo ( $I_r$ ) e a água que penetra no subsolo denominada infiltração eficaz ( $I_e$ ), que corresponde à parcela da precipitação que alimenta a reserva subterrânea. Esta parcela está diretamente relacionada com as flutuações da superfície potenciométrica, que refletem a variação das reservas de água subterrânea (CASTANY, 1975). No entanto, no caso do balanço hídrico de aquíferos aluvionares, em geral o escoamento superficial (ES) é insignificante por conta da morfologia do solo. Quando é importante, como é o caso da área estudada, uma parte infiltra, outra evapora e o resto volta a ser captado pelo fluxo. Todas estas quantidades já estão contabilizadas no balanço e, portanto, pode-se omitir o escoamento superficial (ES) e escrever a seguinte expressão para a obtenção da infiltração eficaz, Equação 6.

$$I_e = P - ETR \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que,

$I_e$  = infiltração eficaz (mm)

$P$  = Precipitação (mm)

$ETR$  = Evapotranspiração real (mm).

Para a determinação da evapotranspiração real, o método proposto por Thornthwaite é um dos melhores que se adapta para áreas com características climáticas que apresentam alternância de períodos secos e chuvosos bem diferenciados, como é o caso do semiárido nordestino brasileiro (VASCONCELOS, 1999). No caso de aquíferos livres, especialmente em regiões de clima semiárido, constitui-se no principal termo de perda de água.

A equação de Thornthwaite considera a altura pluviométrica e a temperatura, fornecendo a evapotranspiração potencial, por mês, em milímetros, como apresentado na Equação 7.

$$ETP = 16 (10T/I)^a K \quad (\text{Eq.7})$$

Em que,

$T$  = temperatura média mensal em °C

$I$  = índice térmico anual (adimensional)

$K$  = fator de correção (depende da latitude)

$a$  = função do índice térmico (adimensional)

A determinação do Índice térmico é obtida através da Equação 9:

$$I = \sum_{i=1}^{12} I_i \text{ onde, } I_i = (T_i/5)^{1,5} \quad (\text{Eq.9})$$

Em que:

$I$  = índice térmico anual (adimensional)

$I_i$  = índice térmico mensal (adimensional)

O valor do expoente ( $a$ ) é dado pela Equação 10:

$$a = 0,49239 + 1792 \times 10^{-5} I - 771 \times 10^{-7} I^2 + 675 \times 10^{-9} I^3 \quad (\text{Eq.10})$$

O PICP está situado na latitude de 3°S, como na tabela do fator de correção  $K$  do método de Thornthwaite não tem informações dessa latitude, foi considerado os valores da latitude 5°S.

A determinação da quantidade máxima de água retida no solo, capacidade de campo ( $C$ ) é feita definindo-se a máxima quantidade de água que o solo pode reter. Para área

nas aluviões estudadas foi adotado o valor de 52 mm, proposto pela Embrapa para esse tipo de solo. Supondo que o solo esteja com umidade igual à zero no início do ano hidrológico, a capacidade do campo (C) é considerada como zero neste momento.

O cálculo da Evapotranspiração (ETR) é obtido como se segue:

$ETR = PPT$ , se  $PPT - ETP < 0$  e  $ETR = ETP$  em caso contrário.

Em que, ETP = evapotranspiração potencial e PPT = precipitação.

A reserva permanente ( $R_p$ ) corresponde ao volume de água armazenada no aquífero, abaixo da superfície mínima de variação periódica dos níveis de água, ou seja, é a água subterrânea localizada na zona saturada abaixo da posição mínima do nível de oscilação sazonal da superfície piezométrica do aquífero livre (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000). Para estimativa da reserva do aquífero aluvionar são consideradas as suas características dimensionais e hidrodinâmicas. As reservas permanentes foram calculadas utilizando-se a equação 4.

$$R_p = A \times b \times \eta_e \quad (\text{Eq.4})$$

Em que,

A: área de ocorrência do sistema aquífero ( $L^2$ ),

b: espessura média saturada (L), e ;

$\eta_e$ : porosidade efetiva (adimensional).

De acordo com Silveira (2016), a  $\eta_e$  média da aluvião do PICP é de 0,17.

Costa (1998) define potencialidade do aquífero, igual a parte aquífera considerada explorável, como sendo a parcela máxima que pode ser aproveitada anualmente da potencialidade, correspondendo à vazão anual que pode ser extraída do aquífero ou do sistema aquífero, a tendendo a sustentabilidade hídrica do sistema aquífero.

De acordo com Costa (1998), os efeitos indesejáveis podem ser classificados:

- *De ordem econômica:*
  - Exaustão do aquífero (dano ao reservatório para qualquer uso);
  - Rebaixamento que inviabiliza o uso econômico da água.

- *De caráter hidrogeológico:*

- Inviabilização do uso das captações existentes por limite das câmaras de bombeamento;

- Acesso ao aquífero de água de qualidade inaceitável;

- Recalque do terreno, que prejudica estradas, prédios, tubulações, etc..

- *Conflito de uso (social ou legal):*

- Prejuízo aos usuários de poços, as descargas de base dos rios, de fontes e de lagoas;

- Prejuízo ao equilíbrio do meio ambiente que depende das descargas de rios e de fontes, ou de lagoas, ou ao uso econômico da natureza.

Cavalcante (1998, p. 72) ao calcular esses recursos para a Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará, considera que a disponibilidade potencial (recursos exploráveis) é representada pela reserva renovável acrescida de uma parcela da permanente, calculada em função das variáveis de decisão, sendo na prática corresponde a 1/3 das reservas totais (Eq. 11 e 12), metodologia esta adotada para esse estudo.

$$R_T = R_p + R_R \quad (\text{Eq. 11})$$

$$R_E = 1/3 R_T \quad (\text{Eq.12})$$

Em que:  $R_T$  é a reserva total ( $m^3$ ),  $R_p$  = reserva permanente ( $m^3$ ) e  $R_R$  = reserva renovável ( $m^3 \text{ ano}^{-1}$ ) e  $R_E$  = recurso explorável ( $m^3 \text{ ano}^{-1}$ ).

## 5 RESULTADOS

Nesse capítulo serão apresentados os resultados obtidos nessa pesquisa.



## 5.1 Diagnóstico da Produção Agrícola

Este capítulo foi publicado como artigo intitulado “Efeitos da seca em Perímetros Irrigados no Semiárido Brasileiro” para o Anuário de geociências do Rio de Janeiro, ISSN 0101-9759, aprovado em agosto de 2018, Vol. 41 - 2 / 2018 p. 268-275, tendo sido aprovado 03/07/2018 DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2018\\_2\\_268\\_275](http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_268_275) (Apêndice B).

Os perímetros irrigados do Ceará estão situados em diferentes contextos ambientais, embora quase todos associados em parte à área de ocorrência de aluviões, seja pelos melhores atributos químicos do solo, seja pela facilidade de irrigação a partir de obras que facilitem a locação e escoamento da água vinda dos reservatórios superficiais.

De acordo com o Dnocs, o Ceará possui 13 perímetros irrigados que possuem como fontes hídricas principais as águas superficiais reservadas em açudes. Os principais métodos e sistemas de irrigação são: superficial por sulcos, aspersão convencional, microaspersão, pivô central e gotejamento. Os tipos de irrigantes variam entre pequeno produtor, técnicos e engenheiros agrônomos, além de empresa rural.

Para o capítulo dessa Tese abordaremos apenas a área de estudo que é o PICP.

Observa-se na Tabela 7 a evolução da produção agrícola no PICP, que tem sua base de produção na cultura do coco-verde, demonstrando os efeitos da seca a partir do ano 2015, o que denota a priorização da água para esse tipo de cultura no referido perímetro, apesar do consumo elevado de água para produção desse gênero.

Tabela 7 - Produção do Perímetros Irrigado do Ceará

Perímetro	Unidade	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Curu-</b>	<b>Kg*</b>	5.714.220	4.407.920	3.806.880	1.659.010	3.033.875	205.326
<b>Pentecoste</b>	<b>Uni*</b>	4.486.480	4.580.980	4.637.210	9.993.180	10.024.180	2.800.900

Legenda: Kg – quilograma; Uni. – Unidade.

Diante da diminuição considerável da produção agrícola nos perímetros irrigados do Ceará nos últimos anos, decorrente das baixas precipitações pluviométricas, a solução emergencial é o uso de água subterrânea. Assim, os próximos capítulos fazem parte da investigação da água subterrânea no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, um estudo modelo para os outros perímetros irrigados.

## 5.2 Sondagem Geofísica

Através das SEV's em 6 pontos do PICP e do mapeamento da área, foi possível traçar uma nova delimitação da área aluvionar na área de pesquisa, como se observa na Figura 21. Mapeamento realizado através de caminhamento e demarcação das coordenadas do limite da aluvião e o meio cristalino. Após atualização do mapeamento in loco da área, a extensão do aluvião dimensionada pela CPRM em 2003 foi reduzida em 3 km<sup>2</sup>, passando de 10 km<sup>2</sup> para 7,7 km<sup>2</sup>.

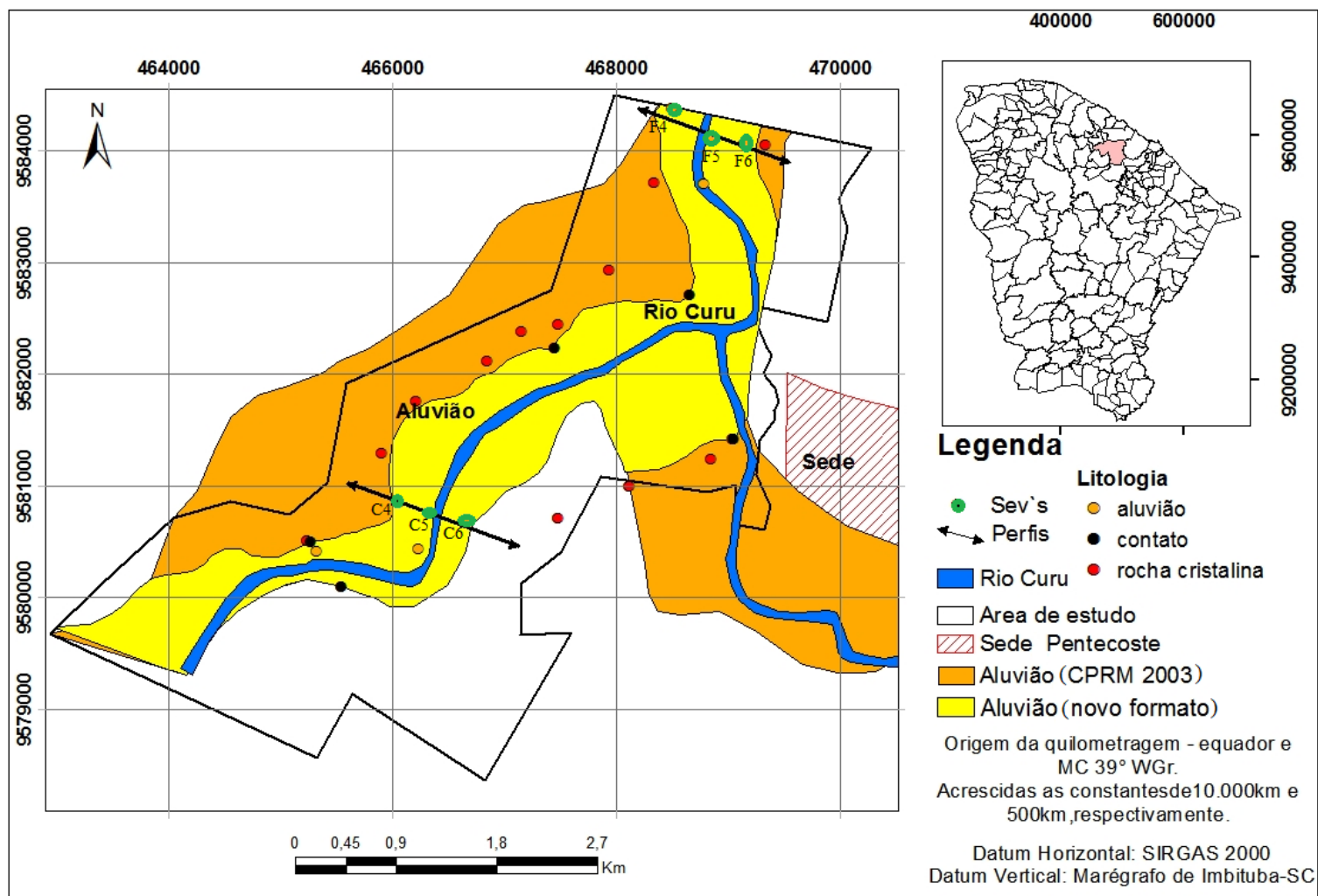
Foram realizadas 6 SEV's, cortando dois trechos do aluvião, onde foram divididas em perfil 01 representadas pelas SEV C4, C5 e C6 executadas no núcleo C e Perfil 02 compreendidas pelas SEV F4, F5 e F6 executadas no Núcleo F.

Com os valores e assinaturas de resistividade dos materiais litológicos (Figuras 22 a 29), podemos afirmar que a espessura média da camada sedimentar (Aluvião) nos pontos analisados é de aproximadamente 20 metros no leito do rio, quando há o contato entre os sedimentos e o embasamento cristalino, e de 17,5 metros de espessura saturada. A profundidade de investigação da sondagem elétrica vertical foi de 25 metros. Moura (2013) encontrou valores de espessuras menores no Aquífero Aluvionar da Bacia Hidrográfica do Rio Banabuiu, este apresenta uma espessura média da ordem de 7,08 m, com mínimo de 3,30 m e máximo de 16,30 m, sendo a resistividade média de 89,12 ohm.m.

Os dados de resistividade, obtidos nas SEV's, foram plotados em curva bilogarítmica, com os valores da resistividade aparente (em Ohm.m) e os valores das distâncias entre os eletrodos de emissão de corrente ( $AB/2$  em metros) nos eixos das ordenadas e das abcissas, respectivamente.

Quanto maior a resistividade, maior a compactação do solo e como o solo mais superficial geralmente é mais seco, maior a compactação e conseqüentemente, maior a resistividade. Como observado na Figura 28, nas primeiras leituras, referente à profundidade de até 1 m, a resistividade encontrada foi de 250 ohm e após essa profundidade a resistividade diminuiu, o que é característico de camadas arenosas saturadas.

Figura 21 - Mapa mostrando a nova configuração do aluvião após o estudo realizado e localização dos pontos.



Os resultados estão apresentados nas Figuras 22 a 29.

Figura 22 - SEV C4 localizado na margem da calha do rio e Interpretação da SEV C4 com base na correlação entre resistividade e litologia.

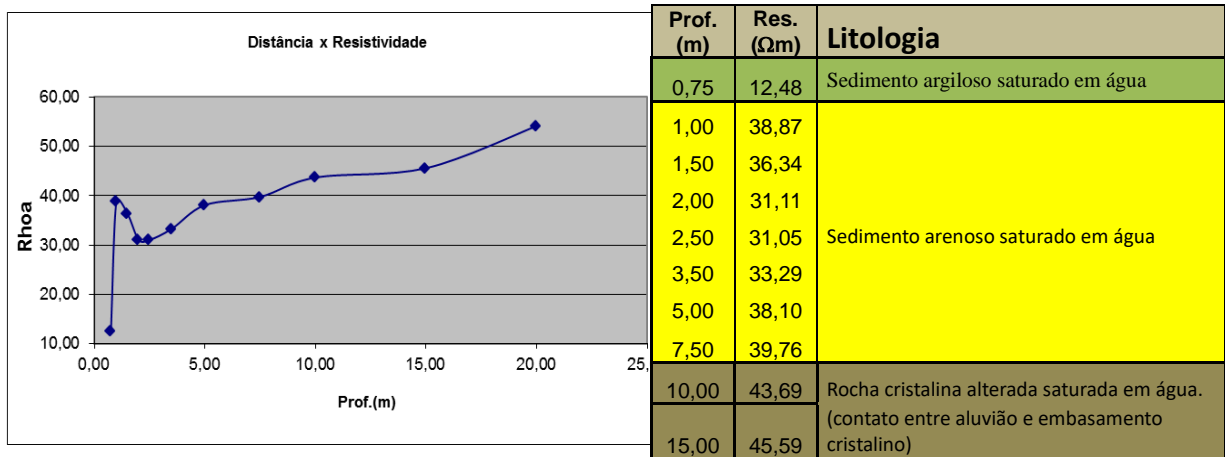


Figura 23 - SEV C5 localizado margem na calha do rio e Interpretação da SEV C5 base na correlação entre resistividade e litologia.

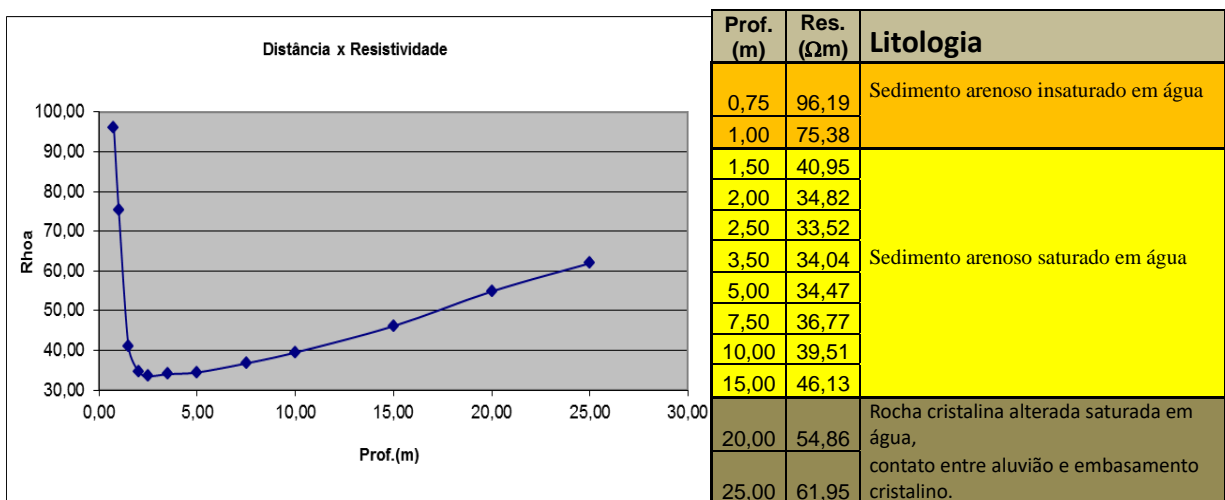


Figura 24 - SEV C6 localizado na margem da calha do rio e Interpretação da SEV C6 base na correlação entre resistividade e litologia.

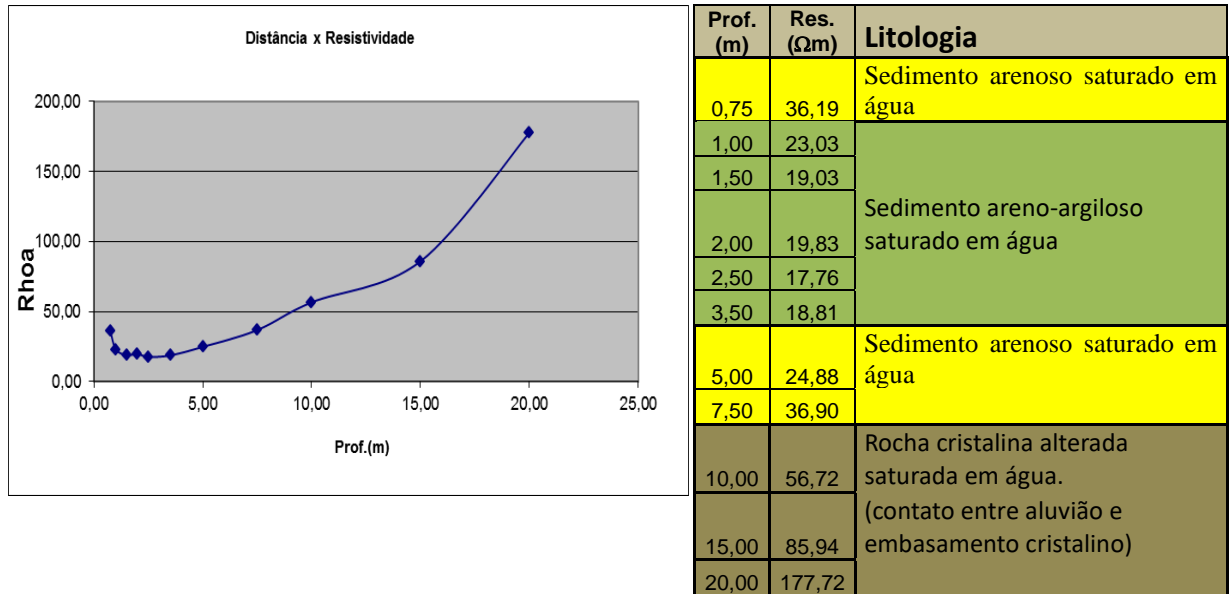


Figura 25 - Perfil 01 mostrando a estratigrafia da aluvião – representado pelas SEV C4, C5 e C6.

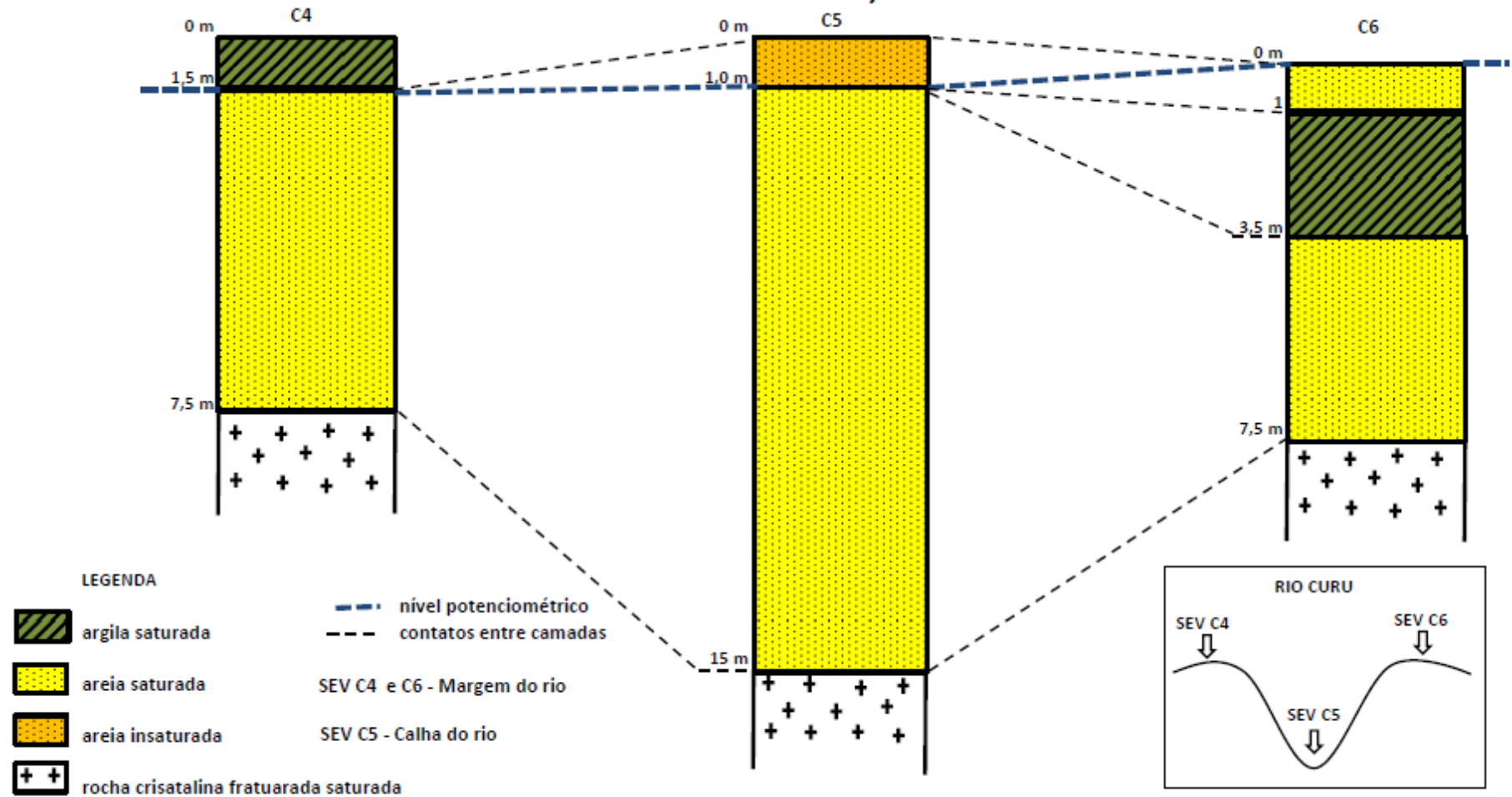
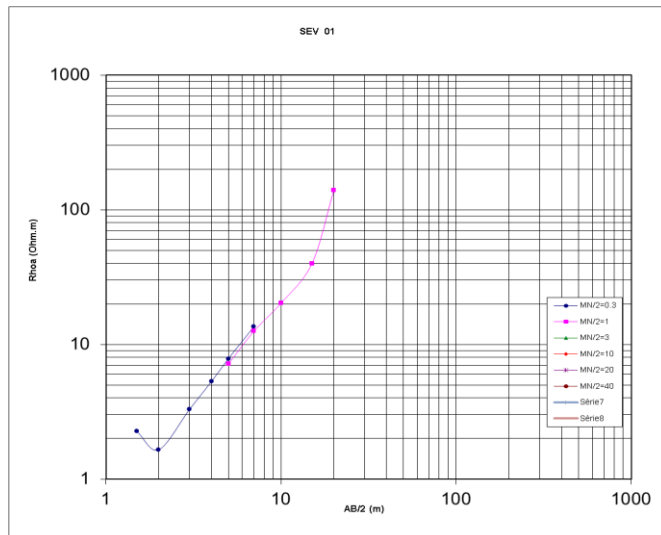
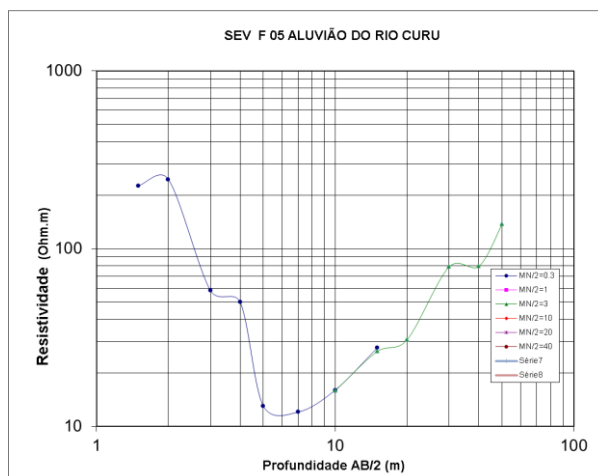


Figura 26 - SEV F4 localizado na margem da calha do rio e interpretação da SEV F4 base na correlação entre resistividade e litologia.



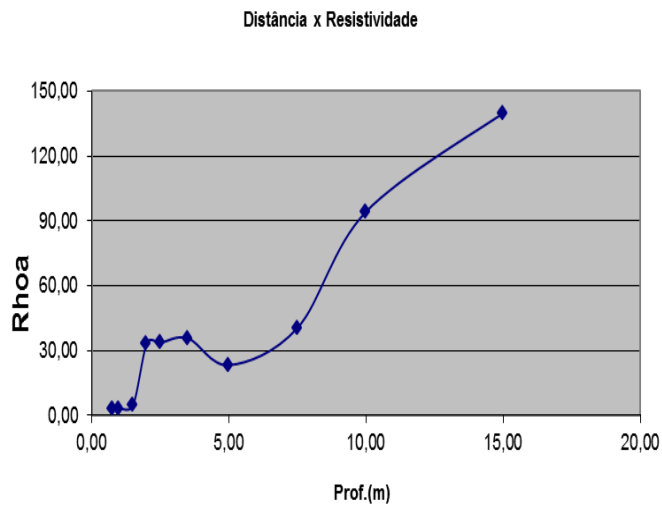
Prof. (m)	Res. ( $\Omega$ m)	Litologia
0,75	2,26	Sedimento areno-argiloso saturado em água
1,00	1,65	
1,50	3,29	
2,00	62,48	Sedimento areno-argiloso saturado em água
2,50	72,96	
3,50	89,25	
5,00	20,28	
7,50	39,46	
10,00	141,90	Rocha cristalina alterada saturada em água. (contato entre aluvião e embasamento cristalino)
15,00	85,94	
20,00	177,72	

Figura 27 - SEV F5 localizado calha do rio - Interpretação da SEV F5 base na correlação entre resistividade e litologia.



Prof. (m)	Res. ( $\Omega$ m)	Litologia
0,75	226,20	Sedimento arenoso insaturado em água
1,00	245,67	
1,50	58,32	Sedimento arenoso saturado em água
2,00	49,98	
2,50	13,12	
3,50	12,49	
5,00	311	
7,50	58,54	Rocha cristalina alterada saturada em água. (contato entre aluvião e embasamento cristalino)
10,00	31,02	
15,00	78,95	
20,00	79,52	

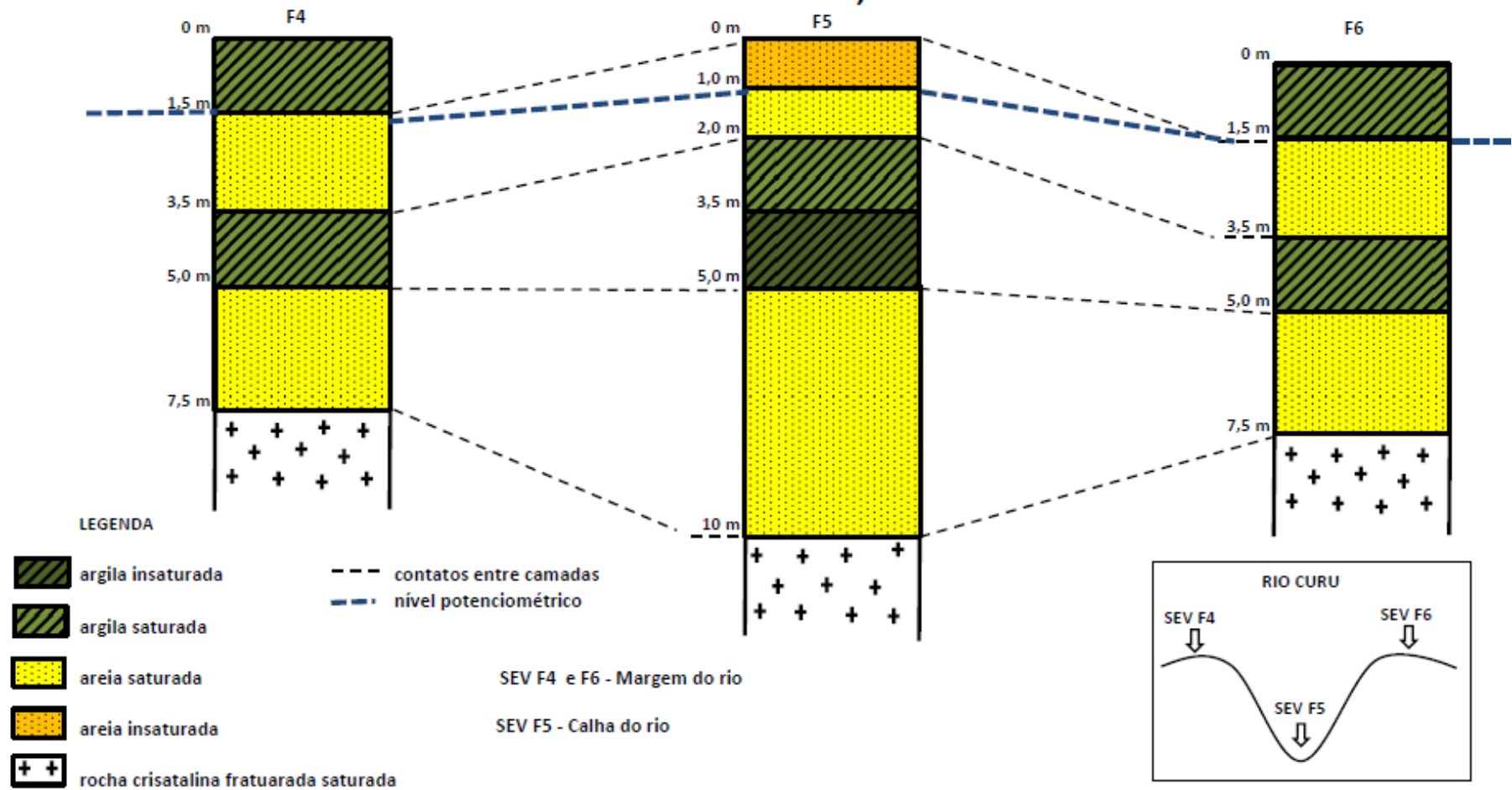
Figura 28 - SEV F6 localizado na margem da calha do rio Interpretação da SEV F6 base na correlação entre resistividade e litologia.



Prof. (m)	Res. (Ωm)	Litologia
0,75	3,14	Sedimento argiloso saturado em água
1,00	3,31	
1,50	4,90	
2,00	33,32	Sedimento areno-argiloso saturado em água
2,50	33,69	
3,50	35,75	
5,00	23,33	Sedimento areno-argiloso saturado em água
7,50	40,63	Sedimento areno-argiloso saturado em água
10,00	94,42	Rocha cristalina alterada saturada em água.
15,00	139,00	(contato entre aluvião e embasamento cristalino)



Figura 29 - Perfil 02 mostrando a estratigrafia da aluvião – representado pelas SEV F4, F5 e F6.



Moura (2013) identificou 03 estratos geométricos predominantes nos aquíferos aluvionares da região de Banabuiú, descritos de cima para baixo como: Camada 01 (solos insaturados; solos e sedimentos inconsolidados secos; areias grossas até cascalhos; superfície de recarga); Camada 02 (sedimentos inconsolidados saturados, compreendendo predominantemente níveis arenosos; aquífero superior livre; aquífero aluvionar); Camada 03 (manto de alteração; rochas cristalinas do pré-cambriano; embasamento impermeável).

### 5.3 Reservas hídricas subterrâneas

O cálculo das reservas hídricas depende, exclusivamente, do meio hidrogeológico. Na área da pesquisa, são encontrados dois domínios hidrogeológicos: o Sedimentar (aluvionar) e o Cristalino. Sendo o aluvionar de maior representatividade e, assim, foram calculadas apenas as reservas do Aquífero Aluvionar.

Através do mapeamento da área e a interpretação das SEVs foi possível fazer uma nova delimitação da área de aluvião (Figura 21), atualizando assim, a delimitação realizada pela CPRM, passando de  $10 \times 10^6 \text{ m}^2$  para  $7,706 \times 10^6 \text{ m}^2$ .

O conhecimento das reservas hídricas traz benefícios à população, favorecendo atividades econômicas e de subsistência, fornecendo dados para a gestão dos recursos hídricos e levando ao uso racional da água (MOURA, 2013).

O monitoramento do nível estático, ou seja, a investigação das flutuações da superfície potenciométrica em um determinado período, permite estudar a variação das reservas e alimentação dos aquíferos, sendo de suma importância para conservação dos recursos hídricos subterrâneos (CASTANY, 1975, P.90).

A utilização das informações potenciométricas, obtidas através de monitoramento dos níveis d'água são indicadores diretos de recarga efetiva, sendo o aumento do nível de água resultado da recarga à zona saturada do aquífero (BARRETO *et al.*, 2009).

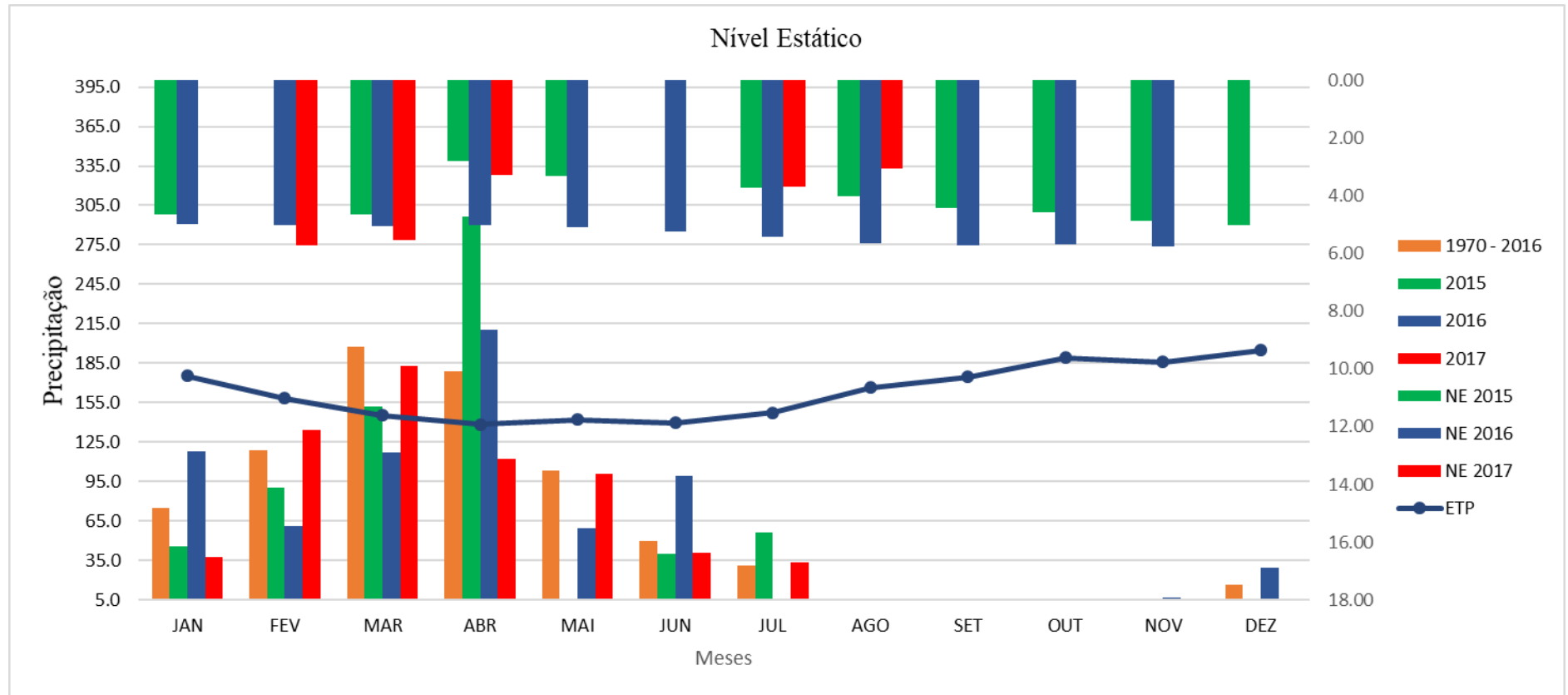
No setor agrícola o conhecimento das variáveis que compõem o balanço hídrico é essencial para seu planejamento e práticas de controle de produção, permitindo ao produtor identificar as fragilidades climáticas e tomar decisões quanto ao manejo da produção e irrigação para suprir a deficiência hídrica no solo (AQUINO & OLIVEIRA, 2013). O método de Thornthwaite & Mather (1955) permite a estimativa da recarga através do cálculo das

entradas (precipitação) e saídas (escoamento superficial e evapotranspiração) da água ao longo do tempo no perfil do solo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2015).

Na Figura 30 se observa a variação das médias mensais dos níveis estáticos e a relação que estes têm com os valores mensais de precipitação e evapotranspiração ao longo dos 3 anos de investigação. É possível perceber que em 2015 as recargas se davam em função de repostas mensais da precipitação, onde os valores menores de nível estático (NE) se deu no período chuvoso (abril a julho), enquanto que em 2016 os NE mantiveram-se estacionados, isso pode ter ocorrido devido ao ano anterior ter apresentado precipitações abaixo da média, além do ano em questão, estando o solo muito seco, impossibilitando a rápida percolação para recarga do aquífero livre. Após as chuvas ocorridas em fevereiro e março de 2017, percebeu-se uma recarga eficiente do aquífero aluvionar, expressado na média do NE no mês consecutivo (abril).

No Apêndice C é possível consultar os valores de todas as leituras de monitoramento dos níveis estáticos ao longo dos anos de pesquisa.

Figura 30 - Relação precipitação x nível estático dos poços rasos



Legenda: ETP – Evapotranspiração potencial; NE – Nível estático

### 5.3.1 Reservas hídricas renováveis

As reservas hídricas renováveis correspondem ao volume hídrico que participa efetivamente do ciclo hidrológico em uma escala de tempo anual ou sazonal. Quanto estas não são explotadas, são reintegradas ao ciclo hidrológico através da evapotranspiração ou constituindo o fluxo de base dos rios (CAVALCANTE, 1998)

A infiltração eficaz ( $I_e$ ) calculada na Tabela 8 é a forma mais rápida para uma primeira estimativa de recarga. É obtida quando se retira da infiltração total a parcela que fica retida na zona não saturada durante o processo de infiltração. Esta parcela, que é a capacidade de saturação do solo ( $C$ ), é uma constante que depende das características do meio não saturado, especialmente das características granulométricas, e do tipo de cobertura vegetal. Para a área de estudo, onde há predominância dos neossolos flúvicos foi adotado um  $C$  de 52mm, proposto pela Embrapa para esse tipo de solo (EMBRAPA, 2010).

Tabela 8 - Valores para o balanço hídrico, no período de 1970 a 2017.

Meses 1970 à 2017	PPT (mm)	ETP (mm)	PPT - ETP (mm)	C (mm)	ETR (mm)	$I_e$ (mm)
JAN	74.9	161.1	-86.2	0.0	74.9	0.0
FEV	118.8	131.7	-12.8	0.0	118.8	0.0
MAR	197.7	138.1	59.5	52.0	138.1	7.5
ABR	178.7	129.1	49.7	52.0	129.1	49.7
MAI	103.0	133.5	-30.6	21.4	133.5	0.0
JUN	50.1	125.9	-75.8	0.0	50.1	0.0
JUL	30.9	135.5	-104.6	0.0	30.9	0.0
AGO	3.9	151.0	-147.1	0.0	3.9	0.0
SET	2.6	154.9	-152.4	0.0	2.6	0.0
OUT	2.4	169.4	-167.1	0.0	2.3	0.0
NOV	2.0	168.5	-166.4	0.0	2.0	0.0
DEZ	16.5	178.1	-161.7	0.0	16.5	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>781.3</b>	<b>1776.8</b>			<b>702.69</b>	<b>57.2</b>

Assim, de acordo com os cálculos do balanço hídrico e a capacidade de saturação do solo adotada, tem-se uma recarga potencial anual de 57,2 mm, o que corresponde a um volume de  $572 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Considerando a área mapeada do aluvião ( $7.706.000 \text{ m}^2$ ) as reservas renováveis são de  $4,41 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ .

### ***5.3.2 Reservas hídricas permanentes***

Considerando apenas a área aluvionar de 7.706.000 m<sup>2</sup> e média da espessura saturada baseada nas SEVs de aproximadamente 7,00 m e a porosidade efetiva calculada por Silveira (2014) de 17,43%, as reservas permanentes são de 9,17 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Esse valor representa em fevereiro de 2020, 18,4% do volume armazenado de água do maior açude da Bacia do Curu (Pereira de Miranda) que está em 4,9 x 10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>.

### ***5.3.3 Reservas Hídricas Explotáveis***

As reservas explotáveis, que representam 1/3 da reserva total, é de 4,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Volume hídrico significativo considerando a necessidade hídrica da região.

Fazendo uma simulação para irrigação do coqueiro-anão, que é a cultura agrícola de maior área plantada no PICP, as reservas explotáveis anuais dariam para irrigar, aproximadamente 786 ha, durante o período seco (julho a dezembro). Considerando 160 coqueiros plantados por hectare e cada coqueiro demandando 200 L de água/dia. Assim, iria conseguir suprir a demanda de uma área maior que a estudada, que é de 770 ha. O que significa que é viável a irrigação com as águas aluvionares até mesmo para cultura já implantada que é o coqueiro.

O volume de água a ser aplicado no coqueiro varia principalmente com a região de plantio, com a época do ano e com a idade da planta. Para plantas adultas, esse volume normalmente varia, na época mais seca do ano, de 120 a 200 litros por planta adulta (HOLLEMBERG, 2006).

## **5.4 Aspectos qualitativos das águas**

A avaliação da qualidade da água para irrigação se dá em relação aos prejuízos que possa acarretar ao solo, à planta e ao sistema de irrigação, em que os aspectos salinidade e sodicidade são os principais avaliados (AYRES & WESTCOT, 1991). O conteúdo de sais na água tem uma grande variabilidade, dependendo do manancial em que é coletada, da formação geológica, do manejo e ocupação do solo, entre outros fatores ambientais.

No Nordeste brasileiro é comum a ocorrência de solos e águas salinas, devido a má distribuição de chuvas que ocorre nessa região, associado a seu elevado potencial para

evapotranspiração, à baixa atividade bioclimática, menor grau de intemperismo e drenagem deficiente, fazendo com que o processo de precipitação de sais no solo e na água sejam acelerados (HOLANDA *et al.*, 2007; ARAÚJO *et al.*, 2011; PEDROTTI *et al.*, 2015). O excesso de sais solúveis reduz o potencial osmótico da solução do solo, causando dificuldades no processo de absorção de água pela planta e desbalanço nutricional, afetando o desenvolvimento das culturas (GHEYI *et al.*, 2010; DUTRA *et al.*, 2015)

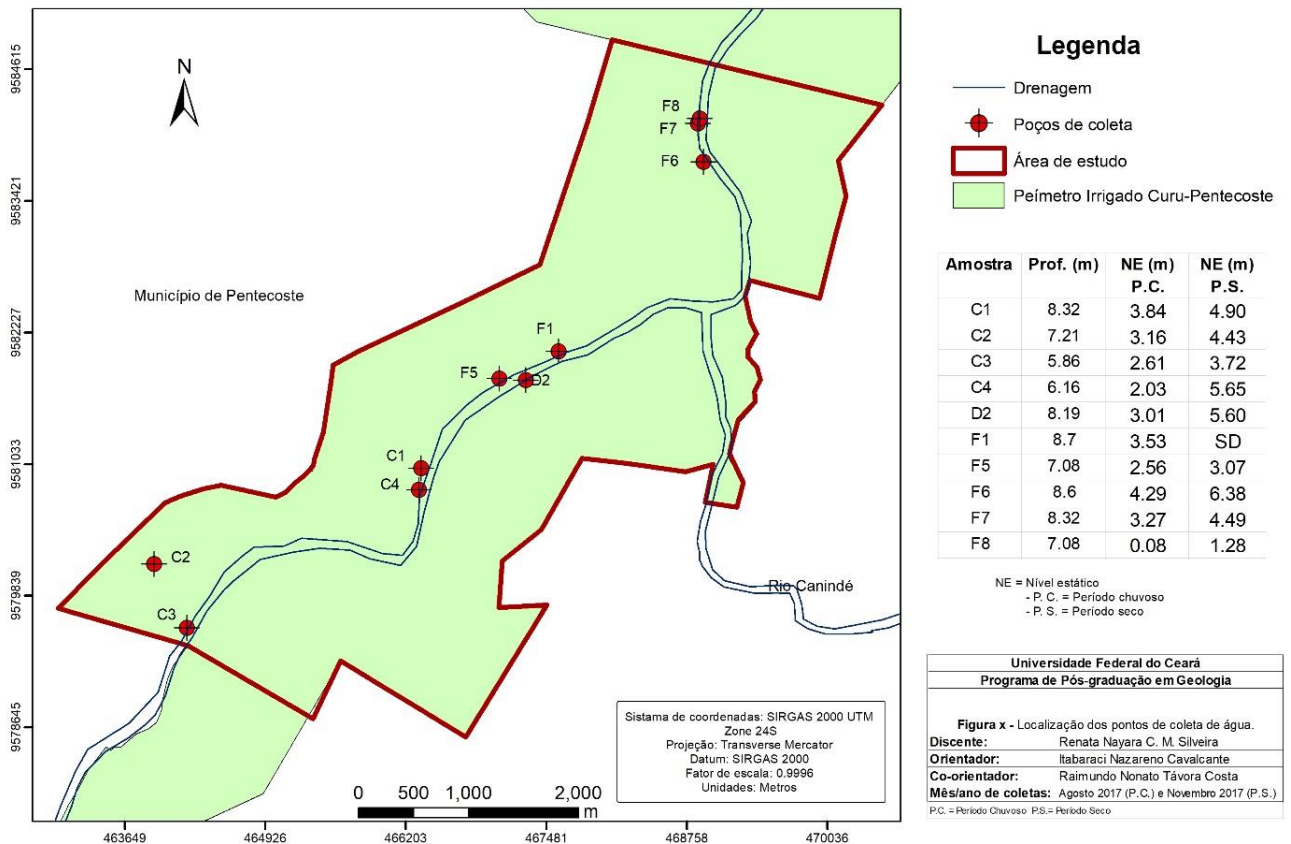
Desde 2014 as águas disponíveis para irrigação no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste (PICP), área dessa pesquisa, são oriundas quase que na sua totalidade, do aquífero aluvial, que por sua vez, recebe recarga artificial (dos açudes a montante) e pluviométrica, o fluxo subterrâneo é semelhante ao do Rio Curu (SO para o NE), direcionado para sua foz (oceano). Na margem do Rio Curu encontram-se os poços rasos analisados nessa pesquisa, poços esses com profundidade máxima de 9 m e níveis estáticos variando de acordo com a recarga e exploração do momento.

Em regiões sedimentares, os recursos hídricos subterrâneos representam uma excelente reserva hídrica, principalmente quando se trata de regiões com escassez hídrica superficial, no entanto, como para o uso da água para qualquer fim também é necessário ter um padrão de qualidade (GOMES *et al.*, 2017).

A avaliação da qualidade das águas é realizada através de análises físico-químicas, as quais produzem resultados de diversas variáveis com variação espacial e temporal, apresentando característica multivariada, necessitando assim, do tratamento multivariado dos dados para assim auxiliar na definição das variáveis mais relevantes para a gestão qualitativa das águas a partir de critérios mais objetivos (GOMES *et al.*, op. Cit.).

A Figura 31 ilustra os pontos definidos para coleta das águas submetidas a análises físicas e químicas com suas profundidades e nível estático durante o período de estiagem e chuvoso.

Figura 31 - Localização dos pontos de amostragem no PICP.



Fonte: elaborado pela autora.

Os resultados dos parâmetros físico-químicos analisados, referente ao período chuvoso de 2017, estão apresentados na Tabela 9, e do período seco na Tabela 10, onde 18 parâmetros foram analisados em 20 amostras de água de poços rasos, 10 no final do período seco e 10 no final do período chuvoso.

A CE do poço C3 (sudoeste da área) e o valor do nitrato mais altos que nos outros poços, pode estar relacionada ao uso e ocupação do solo, pois o poço encontra-se no meio de um cultivo de milho onde foi realizado um preparo e adubação do solo. É comum a concentração elevada de nitrogênio na água subterrânea em áreas agrícolas devido a aplicação de fertilizantes inorgânicos e orgânicos (estrupe), pois o nitrogênio é facilmente perdido por volatilização ou lixiviação, contaminando a água subterrânea da região (HAMILTON; HELSEL, 1995; SANGOI *et al.*, 2003). E por se tratar de uma área aberta (sem vegetação arbórea) a taxa de evaporação da água freática tende a ser mais elevada, fazendo com que os sais da água fiquem mais concentrados e, conseqüentemente, eleve o valor da CE (MOURA, 2014)



Percebe-se também o valor alto da CE, maior que 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  nos poços F6 e F7, estes encontram-se a jusante da área de estudo, ou seja, em área mais baixas, localizados quase no leito do Rio Curu, também é uma área onde a irrigação é intensiva, onde não sessou a irrigação nem no período mais crítico de escassez, pois continuaram irrigando através do bombeamento de água do aluvião. De acordo com Fernandes *et al.* (2010), a irrigação incipiente por parte dos agricultores nos solos Neossolos Flúvicos (Aluvião) podem contribuir com o aumento do sódio nesses solos tornando-os vulneráveis e passíveis de sua contribuição as águas subterrâneas.

Moura (2014), encontrou valores de CE mais altos em poços inseridos num baixio, explicando que, hipoteticamente, esses valores estejam relacionados aos sais lixiviados e transportados para seu entorno.

Tabela 9 - Características físico e químicas das águas subterrâneas do PICP – Ceará. Período chuvoso de 2017.

Parâmetro	Amostras									
	C1	C2	C3	C4	D2	F1	F5	F6	F7	F8
pH	7,30	6,77	4,04	7,28	6,92	7,20	7,47	7,23	6,49	7,14
Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	868	814	1.195	553	484	522	992	1.084	1.016	868
Bicarbonato (mg $\text{HCO}_3^-/\text{L}$ )	184,8	135,5	4,9	125,7	118,3	118,3	313,0	177,4	140,5	248,9
Alcalinidade Total (mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	151,5	111,1	4,0	103,0	97,0	97,0	256,5	145,4	115,1	204,0
Cloreto (mg $\text{Cl}^-/\text{L}$ )	111,0	199,1	105,3	97,6	88,1	82,3	191,4	220,1	204,8	134,0
Cálcio (mg $\text{Ca}^{2+}/\text{L}$ )	63,2	30,4	44,0	33,6	39,2	37,6	24,0	31,2	28,8	67,2
Magnésio (mg $\text{Mg}^{2+}/\text{L}$ )	48,0	28,8	28,8	26,4	20,2	24,5	19,7	21,6	19,7	38,9
Dureza Total (mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	358,0	196,0	230,0	194,0	182,0	196,0	142,0	168,0	154,0	330,0
Sulfato (mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$ )	180,2	23,9	375,2	59,6	29,0	73,5	11,4	87,4	132,0	85,3
Sódio	75,7	89,5	96,4	54,9	37,6	51,5	196,6	124,4	131,1	106,9
Potássio (mg $\text{K}^+/\text{L}$ )	2,3	2,3	11,3	11,3	2,3	11,3	16,9	11,3	20,3	20,3
Nitrato (mg $\text{N-NO}_3^-/\text{L}$ )	1,4	1,4	15,3	1,7	0,6	1,1	0,3	0,3	0,3	0,3
Nitrito (mg $\text{N-NO}_2^-/\text{L}$ )	0,032	0,015	0,006	0,010	0,005	0,022	0,008	0,011	0,005	0,007
Nitrogênio (mg $\text{N-NH}_3,4/\text{L}$ )	<LD	0,07	0,12	<LD	<LD	<LD	<LD	0,28	0,04	<LD
Ferro (mg $\text{Fe}/\text{L}$ )	2,2	4,2	1,3	3,2	0,5	0,6	2,8	1,9	3,3	4,5
Fluoreto (mg $\text{F}/\text{L}$ )	0,4	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	1,0	0,3	0,3	0,2
Turbidez (UNT)	47	250	198	45	15	18	643	57	18	96
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	665	510	666	409	335	399	773	673	677	702

Legenda: C – Poços do núcleo C; D – Poços do núcleo D; F – Poços do núcleo F

Metodologia: Foram seguidas as diretrizes gerais do Standard Methods (APHA, 2012)

<LD – Inferior ao limite de detecção

Tabela 10 - Características físico e química das águas subterrâneas do PICP - Ceará. Período seco de 2017.

Parâmetros	Amostras									
	C1	C2	C3	C4	D2	F1	F5	F6	F7	F8
pH	7,03	6,58	4,72	6,92	7,00	6,94	6,89	7,23	6,57	6,89
CE(µS/cm)	868,70	883,70	736,70	689,10	603,50	973,70	873,30	1590	668,20	826,5
Alcalinidade Total(mg CaCO <sub>3</sub> /L)	219,30	142,90	7,40	207,00	147,90	239,00	221,80	342,60	261,20	189,80
(mg CaCO <sub>3</sub> /L)	179,80	117,20	6,10	169,70	121,20	195,90	181,80	280,80	214,10	155,50
Cloreto (mg Cl <sup>-</sup> /L)	107,20	227,80	96,00	107,20	116,80	179,90	128,30	317,80	95,70	168,50
Cálcio (mg Ca <sup>2+</sup> /L)	56,00	36,80	49,60	20,00	21,60	22,40	58,40	52,80	11,20	46,40
Magnésio (mg Mg <sup>2+</sup> /L)	47,50	32,60	32,20	45,10	32,60	50,40	44,60	62,40	56,20	40,30
Dureza Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	338,00	228,00	258,00	238,00	190,00	266,00	332,00	392,00	262,00	284,00
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L)	171,00	31,10	213,00	62,40	39,90	67,30	92,40	117,90	21,60	193,30
Sódio (mg Na <sup>+</sup> /L)	84,20	116,00	84,20	84,20	68,20	131,90	68,20	263,90	68,20	200,20
Potássio (mg K <sup>+</sup> /L)	5,00	5,60	4,10	4,00	5,60	6,00	5,00	4,00	6,00	7,00
Nitrato (mg N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	0,20	0,20	1,00	0,20	<LD	<LD	6,00	<LD	<LD	<LD
Nitrito (mg N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
Nitrogênio (mg NH <sub>3</sub> /L)	0,90	<LD	0,31	0,24	<LD	<LD	2,50	0,34	<LD	0,19
Ferro (mg Fe/L)	3,10	3,70	3,60	4,60	0,80	2,20	4,10	3,10	1,70	3,50
Fluoreto (mg F <sup>-</sup> /L)	0,80	0,60	0,70	0,50	0,60	0,80	0,50	0,80	0,50	0,60
Turbidez (UNT)	93,00	128,00	96,00	290,00	33,00	43,00	189,00	79,00	177,00	247,00
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	690,00	593,00	489,00	530,00	433,00	697,00	619,00	1161,00	520,00	846,00

Metodologia: Foram seguidas as diretrizes gerais do Standard Methods (APHA, 2012)

<LD – Inferior ao limite de detecção

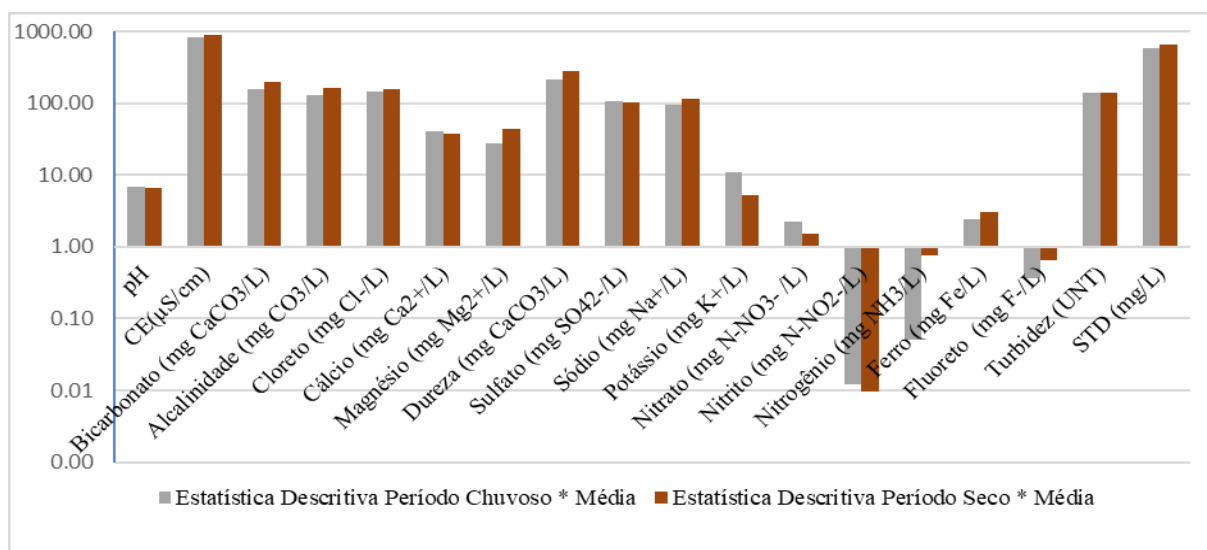
A estatística descritiva dos teores e medidas dos 18 atributos físico-químicos analisados no período seco e chuvoso pode ser conferida na Tabela 11.

Tabela 11 - Estatística descritiva das concentrações dos atributos físico-químicos analisados para 20 amostras.

Parâmetros	Estatística Descritiva Período Chuvoso					Estatística Descritiva Período Seco				
	Mínimo	Máximo	Médio	Desv. Pad.	C.V.	Mínimo	Máximo	Médio	Desv. Pad.	C.V.
pH	4.04	7.47	6.78	1.01	0.15	4.72	7.23	6.68	0.72	0.11
CE( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	484.00	1195.00	839.60	247.68	0.29	603.50	1585.00	905.09	290.88	0.32
Bicarbonato (mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	4.90	313.00	156.73	82.87	0.53	7.40	342.60	197.89	87.96	0.44
Alcalinidade Total (mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	4.00	256.50	128.46	67.92	0.53	6.10	280.80	162.21	72.08	0.44
Cloreto (mg $\text{Cl}^-/\text{L}$ )	82.30	220.10	143.37	54.30	0.38	95.70	317.80	154.52	71.76	0.46
Cálcio (mg $\text{Ca}^{2+}/\text{L}$ )	24.00	67.20	39.92	14.50	0.36	11.20	58.40	37.52	17.38	0.46
Magnésio (mg $\text{Mg}^{2+}/\text{L}$ )	19.70	48.00	27.66	9.27	0.34	32.20	62.40	44.39	10.29	0.23
Dureza Total (mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	142.00	358.00	215.00	72.58	0.34	190.00	392.00	278.80	59.80	0.21
Sulfato (mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$ )	11.40	375.20	105.75	107.63	1.02	21.60	213.00	100.99	69.82	0.69
Sódio (mg $\text{Na}^+/\text{L}$ )	37.60	196.60	96.46	46.92	0.49	68.20	263.90	116.92	65.91	0.56
Potássio (mg $\text{K}^+/\text{L}$ )	2.30	20.30	10.96	6.95	0.63	4.00	7.00	5.23	1.00	0.19
Nitrato (mg $\text{N-NO}_3^-/\text{L}$ )	0.30	15.30	2.27	4.61	2.03	0.20	6.00	1.52	2.53	1.66
Nitrito (mg $\text{N-NO}_2^-/\text{L}$ )	0.01	0.03	0.01	0.01	0.72	0.00	0.04	0.01	0.01	1.34
Nitrogênio (mg $\text{NH}_3/\text{L}$ )	0.00	0.28	0.05	0.09	1.77	0.19	2.50	0.75	0.90	1.20
Ferro (mg $\text{Fe}/\text{L}$ )	0.50	4.50	2.45	1.40	0.57	0.80	4.60	3.04	1.16	0.38
Fluoreto (mg $\text{F}/\text{L}$ )	0.20	1.00	0.36	0.24	0.66	0.50	0.80	0.64	0.13	0.20
Turbidez (UNT)	15.00	643.00	138.70	194.46	1.40	33.00	290.00	137.50	85.97	0.63
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	335.00	773.00	580.90	153.38	0.26	433.00	1161.00	657.80	213.76	0.32

Observa-se na Figura 32 que durante o período seco as concentrações dos elementos físico e químicos analisados apresentam valores maiores no período seco que no período chuvoso onde há uma diluição desses íons, com exceção apenas do nitrogênio em que apresentou valores mais expressivos no período chuvoso, podendo ser explicado pelo uso de adubos nitrogenados no solo lixiviados durante o período chuvoso. A lixiviação de nitrato é considerada a principal perda do N disponível às plantas, o excesso de N no solo pode ser facilmente lixiviado até as águas subterrâneas (ERREBHI *et al.*, 1998). Sangoi *et al.* (2003) afirmaram que fatores como sistema de preparo do solo, tipo de solo e forma de aplicação dos fertilizantes nitrogenados, podem influenciar tanto o fluxo de água quanto a concentração de nitrato na solução do solo.

Figura 32 valores médios dos parâmetros físico-químicos dos poços analisados no PICP-CE.



#### 5.4.1 Estatística multivariada dos parâmetros físico-químicos da água

Para a determinação da qualidade das águas são requeridas medidas de diversas variáveis (físico-químicas, bacteriológicas, etc.) apresentando características multivariadas. Logo a análise multivariada permite efetuar uma visão global do fenômeno, utilizando simultaneamente todos as variáveis na interpretação do conjunto de dados obtidos. Os resultados destas análises serão importantes como suporte ao monitoramento e a gestão qualitativa das águas. No entanto, a sua utilização adequada depende do conhecimento das técnicas e suas limitações (GOMES *et al.*, 2017).

Com intuito de avaliar as tendências temporais e espaciais, foi realizada a análise multivariada de agrupamento com os dados físico-químicos das águas analisadas. O procedimento de agrupamento gerou dois fatores com 3 e 4 grupos distintos, respectivamente, com características semelhantes em relação as concentrações dos elementos.

Em uma avaliação prévia realizou-se uma análise fatorial considerando os 18 atributos físico-químicos dos dois períodos de coleta, chuvoso e seco. Nesta análise se verificou que o teste estatístico de esfericidade de Bartlett, não se mostrou significativo a  $p < 0,01$ . Segundo Gomes *et al.* (2017), esses resultados indicam que os fatores encontrados na análise fatorial não descreveram adequadamente a variação dos dados originais. Nesse contexto, dois dos 18 atributos analisados apresentaram baixa comunalidade ( $< 0,600$ ), logo os 16 atributos restantes foram utilizados numa segunda e 13 numa terceira análise, nas quais o

índice *KMO* continuou baixo e o teste estatístico de esfericidade de Bartlett permaneceu sem significância e três deles continuaram apresentando baixa comunalidade. Na quarta análise, com 9 atributos, se verificou que o índice *KMO* obtido para o conjunto de atributos analisados foi de 0,592, resultado favorável, também com o teste de esfericidade de Bartlett significativo, onde a análise fatorial permitiu agrupar as variáveis em dois fatores principais que explicam 52,2% e 33,6% da variância total acumulada das amostras analisadas (Tabela 12).

Tabela 12 - Carga fatorial dos atributos analisados

Atributo	Carga Fatorial	
	Fator 1	Fator 2
pH	0,076	<b>0,917</b>
CE	<b>0,961</b>	-0,251
HCO <sub>3</sub>	0,574	<b>0,733</b>
Alcalinidade.CaCO <sub>3</sub>	0,574	<b>0,733</b>
Cl	<b>0,832</b>	0,201
SO <sub>4</sub>	0,180	<b>-0,899</b>
Na	<b>0,945</b>	0,125
NO <sub>3</sub>	0,036	<b>-0,840</b>
STD	<b>0,982</b>	0,014
Variância explicada pelo fator (%)	52,2	33,6
Variância Acumulada (%)	85,76	

Legenda: CE – Condutividade elétrica; STD – Sólidos totais dissolvidos

No Quadro 1 encontra-se a matriz de correlação dos atributos físico-químicos analisados, onde é possível observar a forte correlação da CE com os íons Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e com STD. Pode-se afirmar a forte relação que a CE tem com como indicador de salinidade da água (CABRAL *et al.*, 2004). Já em relação ao pH, a CE teve uma correlação negativa, assim como com os íons SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, o que para esse estudo mostra que quanto maior a salinidade, menor o valor de pH e vice e versa, na relação envolvendo HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e CaCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, que são íons diretamente proporcionais, o pH mostrou-se uma correlação positiva. Resultados semelhantes foram encontrados por Sousa (2017) ao estudar as águas superficiais e subterrâneas da Sub-Bacia do baixo Curu- Ceará, por Andrade *et al.* (2007), ao estudar a qualidade das águas superficiais na bacia do alto Acaraú, e por Palácio (2004), ao estudar a variação temporal da composição das águas do aquífero aluvial do rio Trussu, na parte alta da bacia do Jaguaribe, Ceará.

A extração da matriz de correlação possibilitou a identificação da associação entre as variáveis, as quais podem mostrar a tendência geral dos dados, bem como as variáveis de maior significância para a proposta deste estudo.

Quadro 1 - Matriz de correlação dos atributos físico-químicos da água subterrânea do Aquífero Aluvionar do PICP – Ceará.

Atributos	pH	CE	HCO <sup>3-</sup>	CaCO <sub>3</sub>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>2+</sup>	NO <sup>3</sup>	STD
<b>pH</b>	1,000								
<b>CE</b>	-0,136	1,000							
<b>HCO<sup>3-</sup></b>	<b>0,711</b>	0,356	1,000						
<b>CaCO<sup>3</sup></b>	<b>0,711</b>	0,356	1,000	1,000					
<b>Cl<sup>-</sup></b>	0,233	<b>0,774</b>	0,459	0,459	1,000				
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>-0,747</b>	0,398	-0,495	-0,495	-0,177	1,000			
<b>Na<sup>+</sup></b>	0,138	<b>0,856</b>	<b>0,576</b>	<b>0,576</b>	<b>0,859</b>	0,007	1,000		
<b>NO<sup>3</sup></b>	<b>-0,693</b>	0,245	-0,477	-0,477	-0,227	<b>0,726</b>	-0,139	1,000	
<b>STD</b>	0,107	<b>0,936</b>	<b>0,611</b>	<b>0,611</b>	<b>0,747</b>	0,232	<b>0,903</b>	0,014	1,000

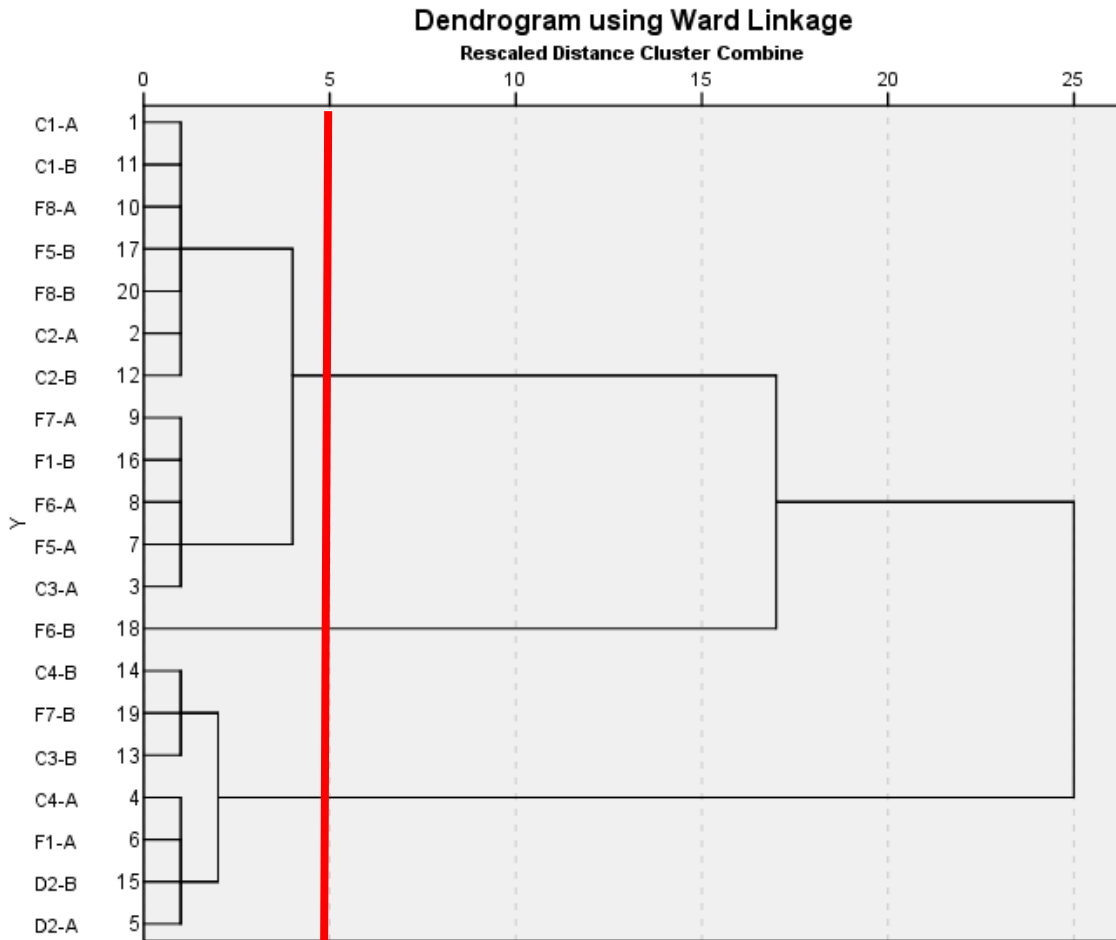
... Atributos correlacionados Legenda: CE – Condutividade elétrica; STD – Sólidos totais dissolvidos

Em relação à similaridade físico-química das águas entre as amostras, de acordo com a técnica de análise de agrupamento hierárquico (Clusters analysis), considerando o corte 5 (maior precisão), três grupos foram formados no Fator 1 e quatro grupos no Fator 2 (Figuras 33 e 34).

Os parâmetros que medem a salinidade da água (CE, STD e os íons Cl e Na ) foram separados estatisticamente no Fator 1, divididos pelo Grupo 1 (C1A e C1B; C2A e C2B; F8A e F8B; F5A e F5B; F7A; F1B ; F6A; C3A), Grupo 2 apenas o poço F6 B (o qual possui o maior valor de CE 1585  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Grupo 3 (C4A e C4B; F7B; C3B, F4 A; D2 A e D2B) com menores valores de CE (Figura 33).

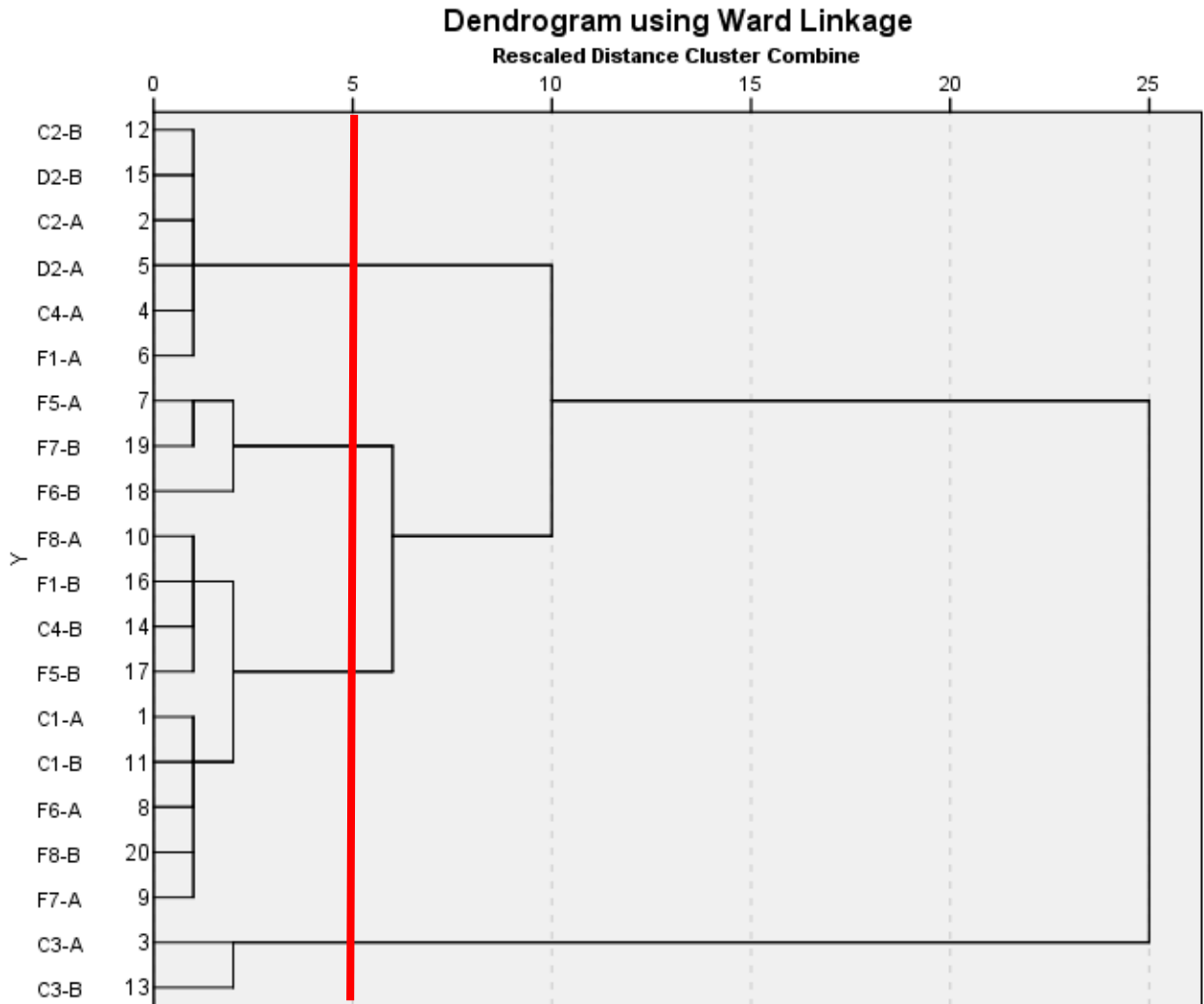
A salinidade e sodicidade é um dos aspectos mais analisados quando se trata de água para irrigação, pois o excesso causa sérios danos ao solo e a planta (AYERS e WESTCOT, 1994).

Figura 33 - Dendrograma de análise Cluster Fator 1 (CE, Cl, Na, STD)



Os atributos dos grupos definidos pelo Fator 2 ( $\text{pH}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) estão relacionados ao pH das amostras, explicados pela alcalinidade ( $\text{CaCO}_3$ ) e pela concentração de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), onde foi separado estatisticamente por 4 grupos, em que o grupo 1 está representado com amostras que apresentaram maiores concentrações dos atributos relacionados e o grupo 4 os menores valores. O grupo 1 representa 30% das amostras (poços C2A e C2B; D2A e D2B; C4A; F1A), grupo 2 representa 15% das amostras (poços F5A, F7B e F6B), grupo 3, 45% das amostras (Poços F8A e F8B, C4B, F5B, C1A e C1B, F6A e F6B e F7A), e o grupo 4 representado por apenas duas amostras ou 10% das amostras (poço C3A e C3B), explicado pelo baixo valor de concentração dos parâmetros analisados nesse fator.

Figura 34 - Dendrograma de análise Cluster Fator 2 (pH,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ )



Como observado no dendrograma e comprovado pela matriz de correlação, o sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) tem uma forte correlação com o pH, 0,747 e 0,693, respectivamente o que mostra a similaridade entre eles. Souza (2017), analisando as águas superficiais e subterrâneas da Sub-bacia do Baixo Curu- Ceará, também encontrou similaridade entre o pH e o  $\text{SO}_4^{2-}$ .

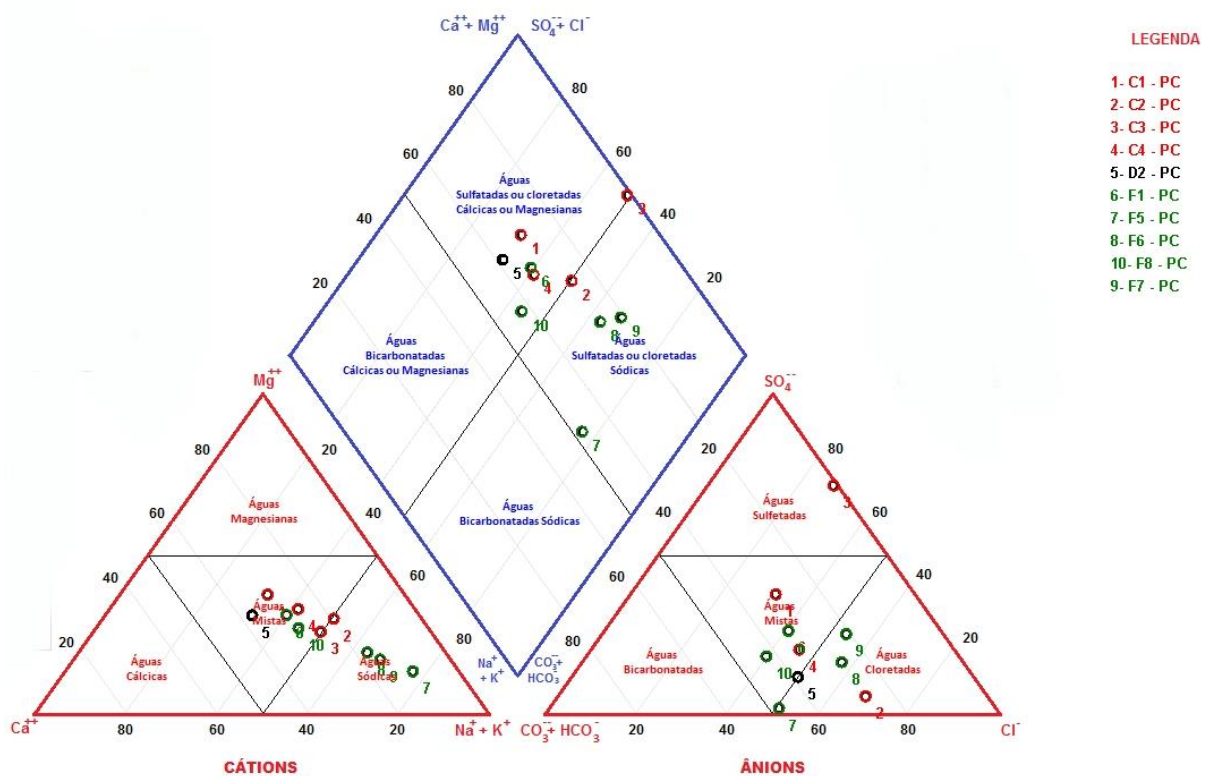
#### 5.4.2 Classificação iônica das águas

De acordo com Diagrama de Piper (Figura 3), tanto no período chuvoso como no seco, as amostras tiveram uma boa variação quanto a sua classificação iônica, onde no



período chuvoso (Figura 3), quanto aos íons 50% foram classificadas como Mistas, 40% Cloretadas e 10% Sulfatadas e quanto à abundância de cátions 60% foram classificadas como Mistas e 40% Sódicas. Das 10 amostras analisadas nesse período 50% foram classificadas como Mistas, 40% Cloretadas Sódicas, 10% Sulfatadas Mistas. Essa variação pode ser atribuída ao uso desses poços e ao uso e ocupação da terra, onde alguns passam mais tempo inativo que outros, alguns localizados dentro da área cultivada e outros mais próximo do rio.

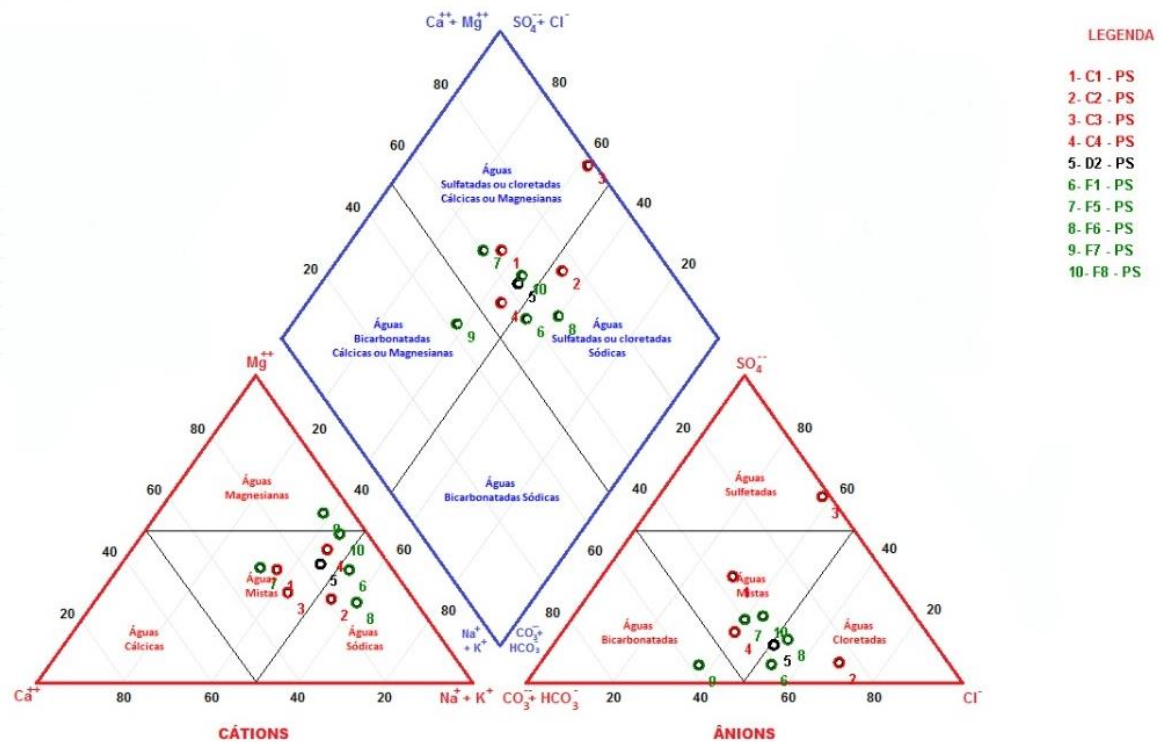
Figura 35 - Classificação iônica das águas segundo o Diagrama de Piper (Período chuvoso)



Moura (2014) encontrou resultados semelhantes nas amostras de água coletadas na aluvião do Rio Quixeramobim e afirma que a ocorrência de maiores concentrações de águas cloretadas está relacionada ao meio geológico, à escassez das chuvas e a evaporação.

Quanto a classificação iônica das águas no período seco, de acordo com o Diagrama de Piper (Figura 4), quanto a abundância de íons, 40% das amostras foram classificadas como Cloretadas, 40% Mistas, 10% Bicarbonatadas e 10% Sulfatadas e quanto aos cátions 60% Mistas, 30% Sódicas e 10% Magnesianas. Das 10 amostras analisadas nesse período 40% foram classificadas como Mistas, 30% Cloretadas Sódicas, 10% Sulfatadas Mistas e 10% Bicarbonatadas Magnesianas.

Figura 36- Classificação iônica das águas segundo o Diagrama de Piper (Período seco)



Como podemos observar, não houve muitas mudanças sazonais nas classificações iônicas das 20 amostras analisadas. Em exceção à amostra 9 representado pelo poço F7 que no período chuvoso foi classificado como Cloretada Sódica e no seco como Magnesianas, isso pode ter ocorrido pelo fato desse poço está localizado em um baixio (leito do rio) já a jusante da área de estudo.

#### 5.4.3 Qualidade da água para irrigação

A composição físico-química das águas subterrâneas depende, inicialmente, da composição das águas de recarga (pluviometria, águas superficiais,) e, em seguida, de sua evolução química, influenciada diretamente pela interação água-rocha representada pela percolação da água através dos poros e/ou fraturas das camadas geológicas (GOMES, 2017). No que se refere a aquíferos sedimentares a infiltração ocorre de forma mais intensa, dependendo do solo e do meio geológico, tornando assim o aquífero mais vulnerável a efeitos do uso e ocupação do solo.

#### 5.4.3.1 Salinidade: Condutividade elétrica, concentração de sódio e sólidos totais dissolvidos

Os parâmetros que iremos tratar nesse tópico, geralmente são os primeiros a serem investigados quando se trata do uso da água para irrigação, pois valores elevados desses parâmetros podem causar danos nas plantas e no solo, sendo comum caracterizar a qualidade da água para irrigação pela salinidade, expressa pela concentração de sais ou de sólidos totais dissolvidos (STD), assim como pela condutividade elétrica (CE), considerando que os sais dissolvidos em água conduzem a eletricidade. Na Tabela 13 estão descritos os valores estatísticos dos parâmetros relacionados à salinidade. Onde é possível observar a elevação dos valores no período seco.

Tabela 13 - Estatística descritivas dos parâmetros relacionados à salinidade da água

<b>Parâmetros</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>CE (µS/cm) P,C,</b>	484	839,6	1195	247,7
<b>CE (µS/cm) P,S,</b>	603,5	897,9	1585	276,9
<b>Na<sup>+</sup> (mg Na<sup>+</sup>/L) P,C,</b>	37,6	96,46	196,6	46,9
<b>Na<sup>+</sup> (mg Na<sup>+</sup>/L) P,S,</b>	68,20	115,39	263,9	62,73
<b>STD (mg/L) P,C,</b>	335	580,9	773	153,4
<b>STD (mg/L) P, S,</b>	433	653,9	1161	203,2

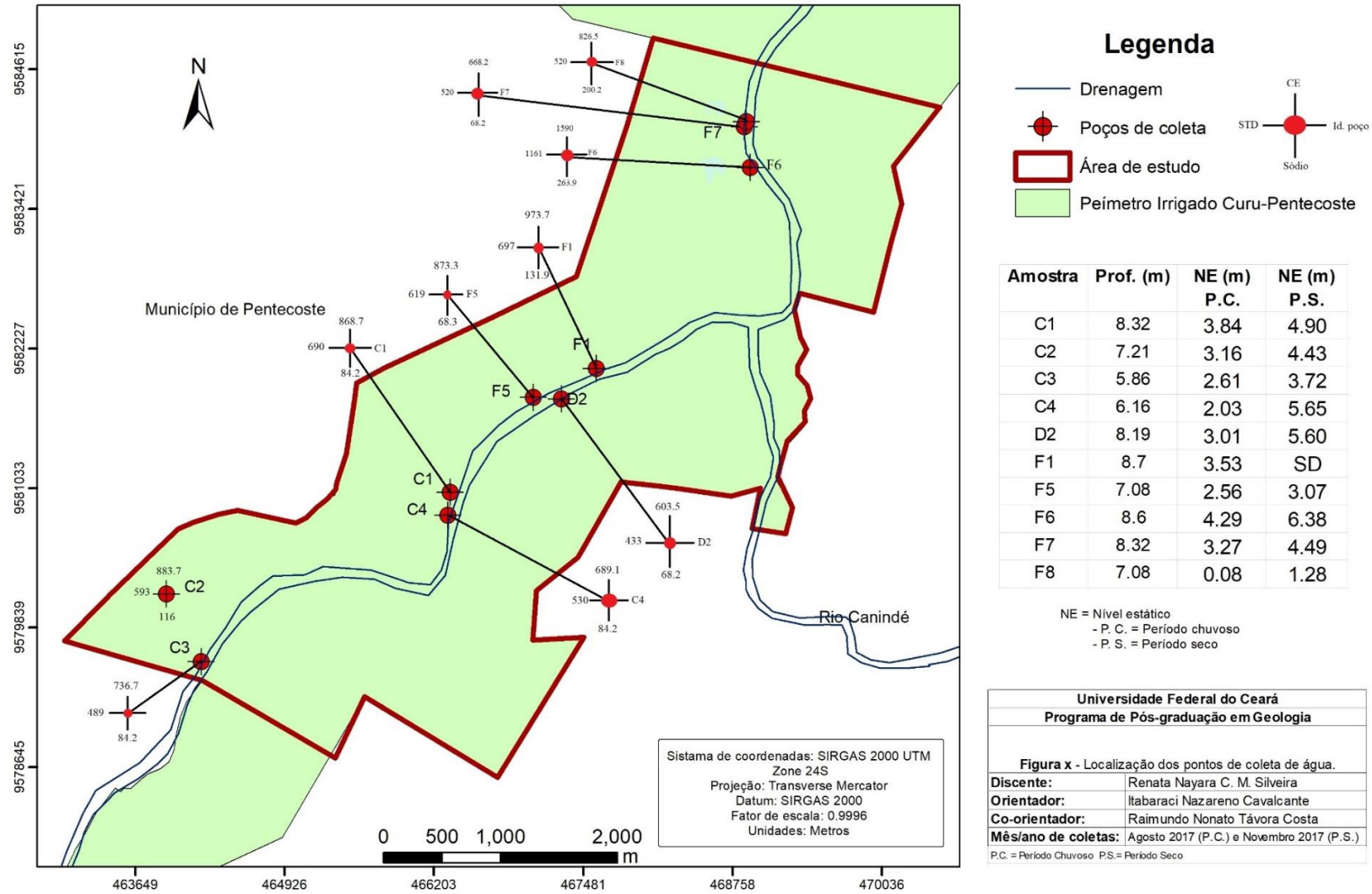
Legenda: CE- Condutividade Elétrica; Na<sup>+</sup> - Sódio; STD- Sólidos totais dissolvidos. P.C. – período chuvoso; P.S. – Período seco.

A salinidade da água representa a quantidade total de elementos dissolvidas num determinado volume de água que podem ser precipitados como sais, esta está diretamente ligada com a condutividade elétrica (CE), sódio (Na<sup>+</sup>) e sólidos totais dissolvidos (STD), quanto mais alto o valor encontrado nas águas analisadas, maior a salinidade dessas águas. A condutividade elétrica, que é a medida da facilidade que a água tem para conduzir a corrente elétrica, está diretamente ligada com o teor de sais dissolvidos sob a forma de íons (SANTOS, 2008).

A Figura 37 mostra os valores desses parâmetros em cada poço analisado durante o período seco. No período seco as águas tendem a terem uma concentração maior de sais, como é observado nas Figuras 38, 39 e 40 que representam as análises realizadas no período seco e chuvoso da CE, Na e STD. Onde é possível verificar que apenas nos poços C3 e F5 os valores no período chuvoso foram maiores que no seco. No caso do C3, por tratar de um poço presente bem no meio de uma área cultivada, acredita-se que esta salinidade no período

chuvoso se deu pela lixiviação de insumos agrícolas, como fertilizantes. De acordo com Pedrotti *et al.*, (2015), o excesso de sais solúveis na solução do solo é resultado de uma combinação de fatores climáticos, edáficos e manejo do solo.

Figura 37 - Concentração de CE, STD e sódio no período seco, Pentecoste - CE



No poço F5 a diminuição da salinidade da água se deu pela mudança do local do poço, transferindo-o para o leito do rio, onde as águas têm um movimento maior e consequentemente uma maior diluição dos sais. As águas do poço F6 são influenciadas pelo bombeamento ininterrupto de uma escavação no leito do rio localizado bem próximo ao poço analisado, o que explica os altos teores de sais.

As águas superficiais tendem a concentrar os sais quando a taxa de evaporação é alta, o que é característico da região estudada. Importante enfatizar que nesta área são cultivados coqueiros intensivamente.

Figura 38 Concentração da condutividade elétrica das águas analisadas no PICP-CE.

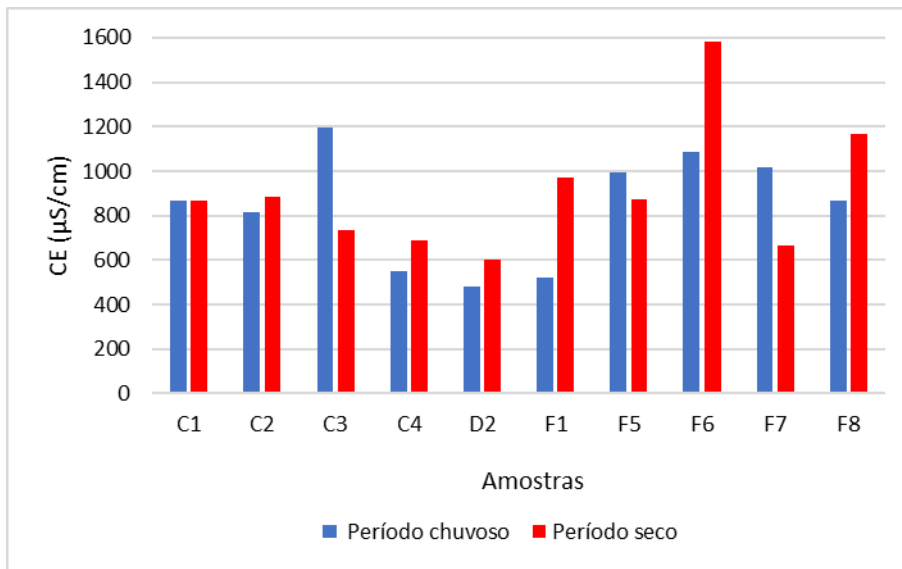


Figura 39 Concentração de sódio das águas analisadas no PICP - CE.

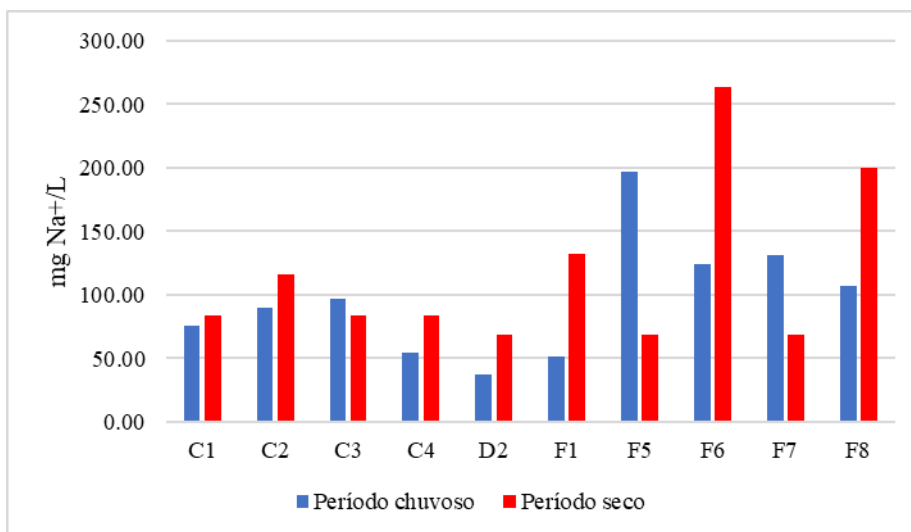
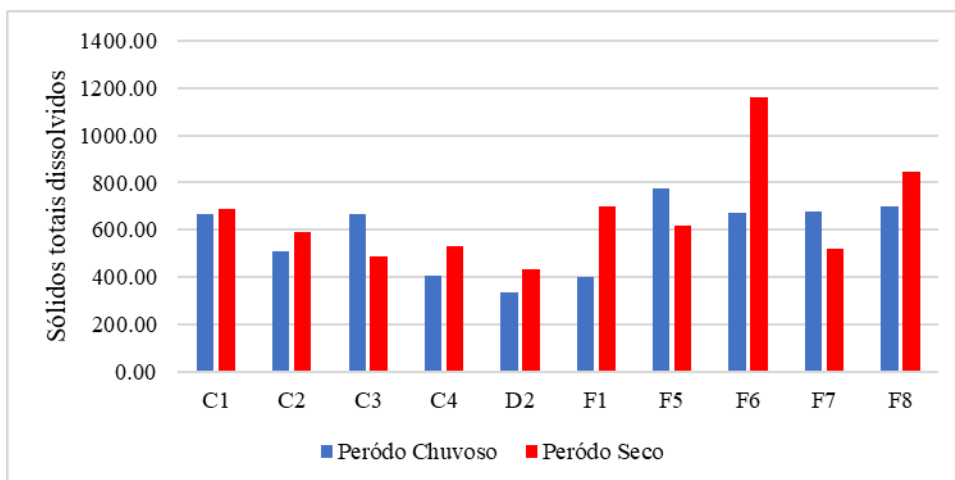


Figura 40 Concentração de sólidos totais dissolvidos nas águas analisadas no PICP - CE.



É esperado que no período seco a concentração de sais nas águas freáticas seja maior já que há uma grande perda da água por evaporação. Em destaque os poços F1 e F6, estes estavam com um nível bem baixo, quase que secos.

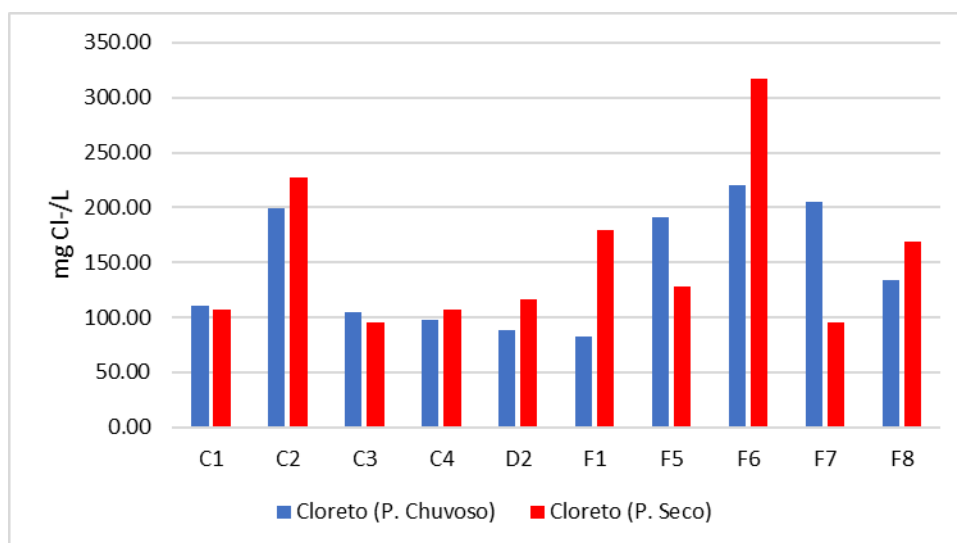
Ferreira Neto *et al.* (2002) perceberam que é possível produzir, satisfatoriamente, coco para comercialização como fruto verde com água de irrigação com até  $10 \text{ dS m}^{-1}$ . Os mesmos autores perceberam que o aumento da salinidade da água reduz o peso médio e o volume de água dos frutos, mas, no entanto, elevando o teor de açúcares ( $^{\circ}\text{brix}$ ) e a concentração iônica, expressa pela CE da água do fruto, sobretudo quando irrigado com água de CE de  $15 \text{ dS m}^{-1}$ .

#### 5.4.3.2 Cloreto

O cloreto é facilmente absorvido pela água e se liquefaz, sendo muito estável em solução, logo é muito difícil sua precipitação (SANTOS, 2008). Quando há um valor excessivo de cloreto na água de irrigação a planta absorve-o, move-se no fluxo de transpiração, e se acumula nas folhas, causando toxicidade às plantas (AYERS & WESTCOT, 1999).

A concentração de cloreto é progressiva, principalmente em períodos longos de estiagem, quando a recarga é insuficiente para diluição, como mostra na Figura 41 onde as concentrações maiores de cloreto foram identificadas no período seco, em que variou de  $97,7 \text{ mg/L}$  a  $317,8 \text{ mg/L}$  nesse período e de  $82,3 \text{ mg/L}$  a  $220,10 \text{ mg/L}$  no período chuvoso.

Figura 41 - Concentração de cloreto nas águas analisadas no PICP – CE



Em culturas sensíveis o alto teor de cloreto pode causar queima das folhas de culturas irrigadas por sistema de irrigação por aspersão. Se ocorrer uma alta concentração sobre as folhas desses sais, estes são absorvidos e podem causar uma toxicidade na planta (AYERS & WESTCOT, 1994).

Para irrigação, valores de cloreto menores que 3 meq/L (aproximadamente 110 mg/L) não causam toxicidade nas plantas, não degradam o solo e nem prejudicam o sistema de irrigação por aspersão. De 4 meq/L (142 mg/L) a 10 meq/L (355 mg/L) há um grau de restrição classificado com leve a moderado e valores maiores que 10 meq/L problemas graves (AYERS & WESTCOT, 1994).

Sua ocorrência está relacionada as águas pluviais e a evaporação, que favorece a concentração do mesmo nas águas subterrâneas (CAVALCANTE, 1997).

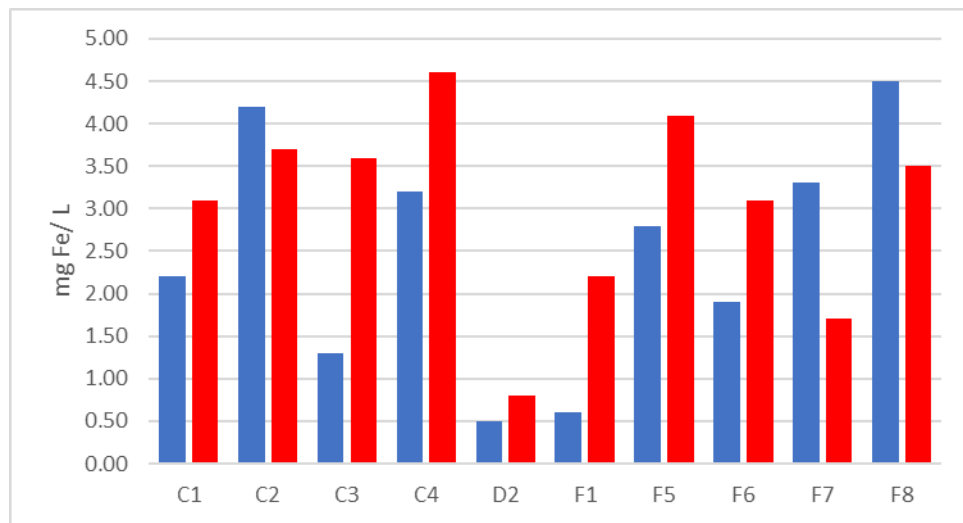
#### 5.4.3.4 Ferro total

Na Tabela 14 são apresentados os resultados obtidos referentes ao ferro total, onde se observa que as amostras analisadas apresentam médio a alto potencial de dano à operação dos sistemas de microaspersão e gotejamento. Ayres & Westcot (1991) citam que o máximo valor da concentração de ferro permissível deveria ser de 0,5 mg L<sup>-1</sup>, no entanto, isso acarretaria uma elevação nos custos de operação de filtragem do sistema de irrigação, assim, segundo os autores, águas com até 2,0 mg.Fe L<sup>-1</sup> são admissíveis para uso na irrigação, e que



até 5,0 mg.Fe L<sup>-1</sup> não é tóxico para as plantas em solos aerados, mas pode contribuir para a acidificação do solo e perda de disponibilidade de fósforo essencial e molibdênio, além de causar depósitos desagradáveis sobre as plantas e equipamentos através da irrigação por aspersão. Como no PICP os solos são Neossolos flúvicos com parcelas apresentando alto teor de argila, a drenagem é pobre, o que restringe o uso de águas ferruginosas nessa região.

Figura 42 - Concentração de ferro nas águas analisadas no PICP – CE.



\*coluna esquerda – período chuvoso \*coluna direita – período seco

Tabela 14- Concentração de ferro total e classificação das águas aluvionares do PICP- Ceará

Amostra	(mg Fe <sup>+</sup> L <sup>-1</sup> )*	Potencial de Dano
<b>C1</b>	2,2	Alto
<b>C2</b>	4,2	Alto
<b>C3</b>	1,3	Médio
<b>C4</b>	3,2	Alto
<b>D2</b>	0,5	Médio
<b>F1</b>	0,6	Médio
<b>F5</b>	2,8	Alto
<b>F6</b>	1,9	Alto
<b>F7</b>	3,3	Alto
<b>F8</b>	4,5	Alto

\*Baixo (< 0,2 mg.L-1 ); Médio (0,2-1,5 mg.L-1 ); Alto (> 1,5 mg.L-1 ). Fonte: Nackayama e Bucks (1986).

A concentração de ferro na água subterrânea indica uma condição de redox. No estado ferroso (Fe<sup>2+</sup>) forma composto solúveis, e em ambientes oxidantes, o Fe<sup>2+</sup> passa a Fe<sup>3+</sup> dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita causando uma coloração avermelhada à água, comumente designada de “capa rosa”. Assim, águas com elevada

concentração de ferro ao entrarem em contato com o oxigênio do ar ficam amareladas (GOMES, 2013). A Figura 43 mostra uma horta no núcleo F do PICP, irrigada por água proveniente do poço F8, onde se percebe a coloração amarelada no tronco de uma árvore na qual a água de irrigação entra em contato, constatando visualmente que a água tem alta concentração de Ferro. Segundo Ayres & Westcot (1991), essa coloração também acontece as folhas das hortaliças, o que reduz a aceitação e o valor comercial dessas culturas.

Figura 43 - Árvore manchada por água férrica do poço F8, PICP-CE.



O ferro é um dos principais problemas na água de irrigação devido à capacidade de obstruir fisicamente as tubulações e emissores dos sistemas de irrigação localizada (NACKAYAMA E BUCKS, 1986).

Devido as altas concentrações de Fe encontradas nas águas aluvionares, para utilização dessa água na irrigação é necessário utilizar sistemas de filtragem, principalmente nos sistemas de irrigação localizada, para se evitar o entupimento das tubulações e gotejadores e ainda a perda de pressão de serviços dos sistemas (BARBOZA *et al.*, 2009)

### **5.5 Classificação da água para irrigação**

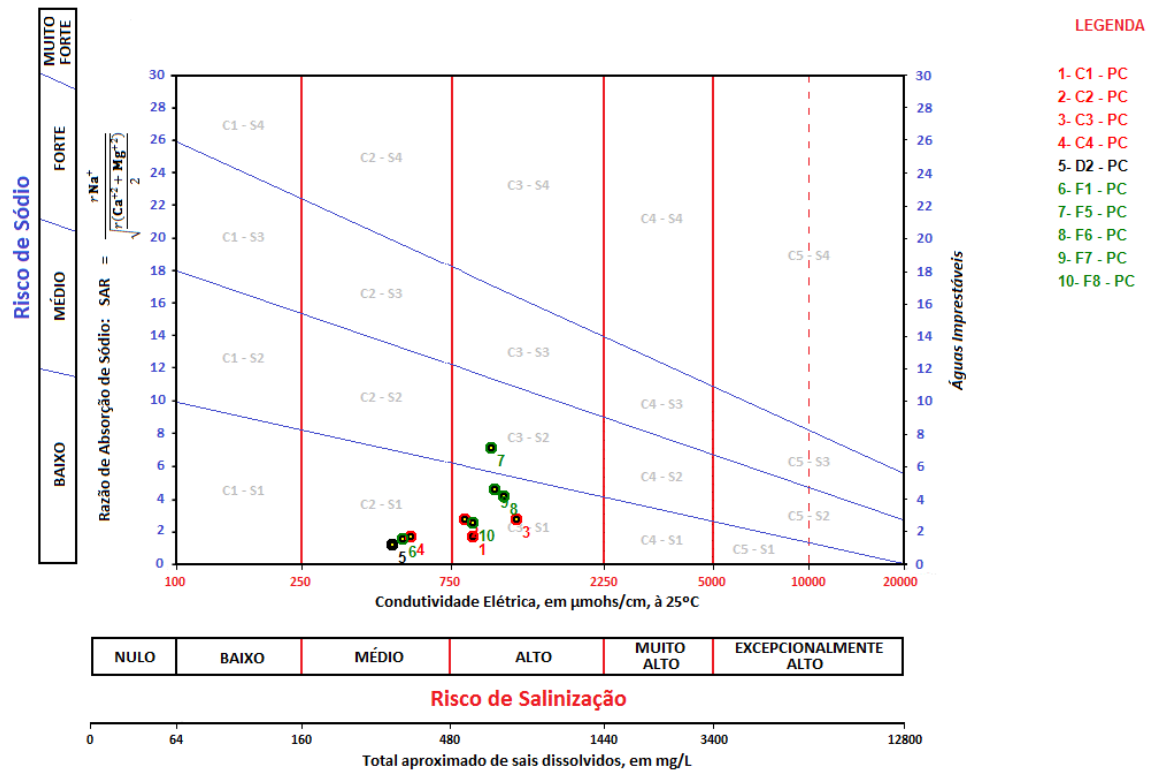
Quanto à classificação proposta por Richards (1954), para o período chuvoso 60% das amostras foram classificadas como C3 S1 (água com alta salinidade e baixa sodicidade), 10% C2S1 (água com salinidade média e baixa sodicidade) e 30% C3S2 (água com alta salinidade e mediamente sódica). Quanto a salinidade dessas águas, para sua utilização é

necessário fazer o manejo correto da irrigação e do solo para que este não venha a salinizar (Tabela 15, Figura 44).

Tabela 15 - Classificação da água subterrânea para irrigação de acordo com a classificação de Richards (1954). Período seco e chuvoso de 2017.

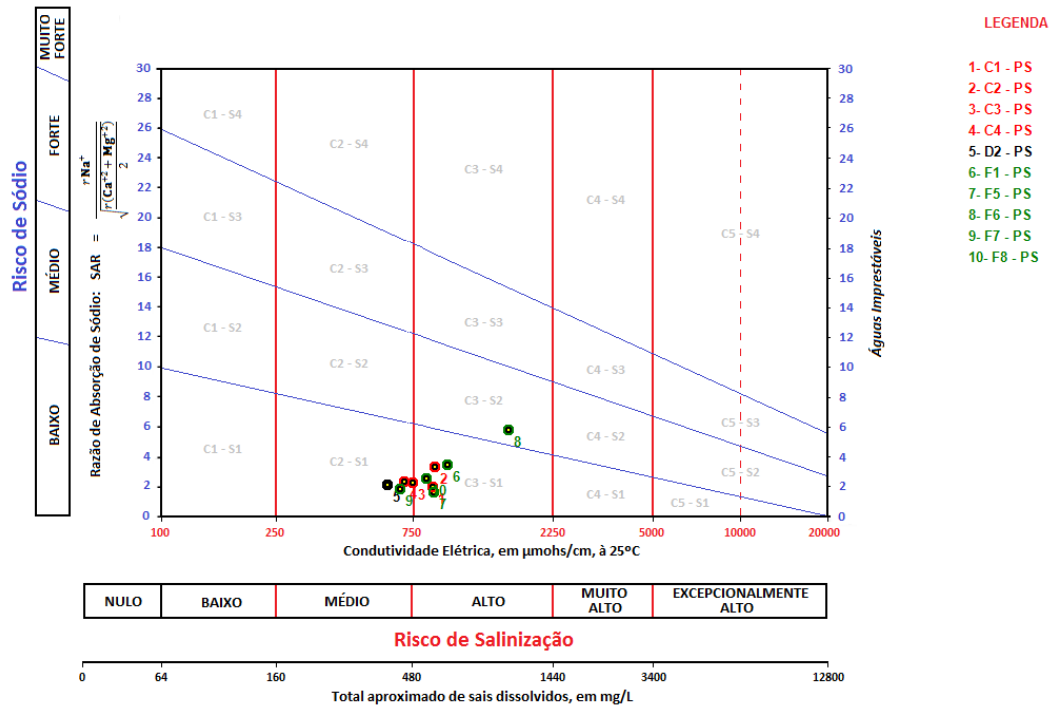
<b>Amostra</b>	<b>Na (mg/L)</b>	<b>Ca (mg/L)</b>	<b>Mg (mg/L)</b>	<b>CE (<math>\mu</math>S/cm)</b>	<b>RAS</b>	<b>Classificação</b>
<b>C3 - PS</b>	84,2	49,6	32,2	736,87	2,2875	C2 - S1
D2 - PC	37,6	39,2	20,2	484	1,2156	C2 - S1
C4 - PC	54,9	33,6	26,4	553	1,7211	C2 - S1
<b>C4 - PS</b>	84,2	20	45,1	689,1	2,387	C2 - S1
<b>D2 - PS</b>	68,2	21,6	32,6	603,5	2,1635	C2 - S1
<b>F7 - PS</b>	68,2	11,2	56,2	668,2	1,8431	C2 - S1
F1 - PC	51,5	37,6	24,5	522	1,6054	C2 - S1
<b>F1 - PS</b>	131,9	22,4	50,4	973,7	3,5364	C3 - S1
<b>F8 - PS</b>	100,1	12,8	59,5	826,5	2,6179	C3 - S1
<b>F5 - PS</b>	68,2	58,4	44,6	873,3	1,6347	C3 - S1
<b>C2 - PS</b>	116	36,8	32,6	883,7	3,3563	C3 - S1
C3 - PC	96,4	44	28,8	1195	2,7747	C3 - S1
F6 - PC	124,4	31,2	21,6	1084	4,1899	C3 - S1
C2 - PC	89,5	30,4	28,8	814	2,7922	C3 - S1
C1 - PC	75,7	63,2	48	868	1,7469	C3 - S1
<b>C1 - PS</b>	84,2	56	47,5	868,7	2,0003	C3 - S1
F8 - PC	106,9	67,2	38,9	868	2,5679	C3 - S1
F7 - PC	131,1	28,8	19,7	1016	4,6106	C3 - S1
F5 - PC	196,6	24	19,7	992	7,2023	C3 - S2
<b>F6 - PS</b>	263,9	52,8	62,4	1585	5,8237	C3 - S2

Figura 44 - Diagrama de classificação da água subterrânea do Aquífero Aluvionar do PICP com a classificação de Richards (1953), durante período chuvoso



Durante o período seco 50% das amostras foram classificadas como C3S1, 10% C3S2 e 40% C2S1 (Tabela 15, Figura 45). Configurando apenas a mudança da classificação da água do ponto 3 e 9 representado pelo poço C3 e F7, respectivamente, onde reduziram o seu risco de salinidade, fato não esperado á que no período seco as águas que sofreram evaporação estejam com seus sais mais concentrados, no entanto, o fenômeno pode ser explicado pelo uso e ocupação do solo, onde no ponto C3 e F7, durante o período chuvoso, haviam cultivos agrícolas próximo à área, onde o solo havia sido preparado e adubado, potencializando o risco de alteração nas águas freáticas.

Figura 45- Diagrama de classificação da água subterrânea do Aquífero Aluvionar do PICP com a classificação de Richards (1953), durante período seco.



Analisando apenas os valores de CE das águas do Aquífero Aluvionar da área de estudo, todas as amostras são adequadas para irrigação de várias culturas, como visto na Tabela 16. No entanto, deve-se ressaltar que o solo da região é areno-argiloso, o que dificulta a drenagem da água, podendo ocasionar a salinização do solo quando não há um manejo adequado da irrigação.

Tabela 16 - Valores de salinidade limiar para algumas culturas comuns em regiões áridas e semiáridas

<i>Cultura</i>	<i>CEes(dS m<sup>-1</sup>)</i>	<i>Cultura</i>	<i>CEes(dS m<sup>-1</sup>)</i>
Abacate	<b>1,3</b>	Feijão fava	<b>1,6</b>
Abobrinha	<b>3,2</b>	Laranja	<b>1,7</b>
Alface	<b>1,3</b>	Limão	<b>1,7</b>
Algodão	<b>7,7</b>	Melão	<b>2,2</b>
Amendoim	<b>3,2</b>	Milho	<b>1,7</b>
Arroz	<b>3,0</b>	Morango	<b>1,0</b>
Batata	<b>1,7</b>	Nabo	<b>0,9</b>
Batata doce	<b>1,5</b>	Pimentão	<b>1,5</b>
Beterraba	<b>4,0</b>	Rabanete	<b>1,2</b>
Brócolis	<b>2,8</b>	Repolho	<b>1,8</b>
Cana-de-açúcar	<b>1,7</b>	Soja	<b>5,0</b>
Cebola	<b>1,2</b>	Sorgo	<b>4,0</b>
Cenoura	<b>1,0</b>	Tomate	<b>2,5</b>
Couve flor	<b>2,5</b>	Pepino	<b>2,5</b>
Espinafre	<b>2,0</b>	Vagem	<b>1,5</b>
Feijão	<b>1,0</b>	Uva	<b>1,5</b>

Fonte: Adaptado de Ayers & Westcot (1994).

No nordeste brasileiro, assim como na área de estudo, é comum o plantio de culturas anuais em sequeiro (quando não há complemento de irrigação), como exemplos da Tabela 16: abobrinha, folhosas em geral, feijão, melão, milho e pimentão, estas apresentam boa adaptação edáfica, considerando o tipo de solo e a qualidade da água disponível. Além das culturas anuais, no PICP a maior área está ocupada com plantio do coqueiro, que é muito tolerante à água e solo com elevado teor salino.

## **6 PROPOSTA METODOLOGICA AO USO DO AQUIFERO ALUVIONAR PARA FINS DE IRRIGAÇÃO**

Através das visitas *in loco*, em torno de 30 visitas ao longo da pesquisa, e conversas com agricultores, foi possível perceber nitidamente o uso inadequado do aquífero aluvionar. Havendo no local, escavações no leito do rio, poços mal localizados, superexploração, desperdício de água através da irrigação por superfície, uso da água sem saber se estava com qualidade apropriada para seu cultivo e tipo de solo e falta de manejo adequado da irrigação causando salinização dos solos.

Para um uso sustentável e melhor aproveitamento do aquífero aluvionar é necessário o planejamento e estudo adequado. Assim, através dessa pesquisa, elaboramos esse último capítulo como conclusivo, onde pontuamos e propomos um modelo metodológico para gestão sustentável do aquífero aluvionar em ambientes semiáridos para fins de irrigação, considerando uma análise relativamente prática e com baixos custos, sabendo da realidade dos pequenos agricultores instalados nessas áreas:

### *1 - Mapeamento geológico da área*

O conhecimento da área do aquífero que se quer explorar é de fundamental importância para o dimensionamento correto das reservas hídricas, além do gerenciamento dessas águas e controle do uso e ocupação do solo, assim como visto nessa pesquisa, onde inicialmente foi usado a técnica de geoprocessamento. Após esse mapeamento foi realizada a visita no campo e a delimitação mais precisa da aluvião. Haja vista que, geralmente, a área aluvionar não é de grande extensão, é possível realizar esse mapeamento com auxílio de um GPS manual.

### *2 – Avaliação qualitativa da água*

Essa etapa consiste na consistência das análises físicas e químicas da água, onde a precisão das informações é de fundamental importância para que haja uma confiabilidade na interpretação dos dados e, conseqüentemente, para as conclusões e resultados esperados. Portanto, esta etapa do estudo deverá ser executada com rigoroso critério para não induzir erros nas conclusões e produtos gerados, assim como foi realizado nessa pesquisa.

Através da correta coletas de água e avaliação em laboratórios especializados é

possível a obtenção de dados precisos da qualidade da água. Onde a análise dos resultados deve ser realizado por um profissional especializado e passado as instruções para o agricultor, informando-o para qual uso a água se adequa.

Os elementos principais da água à serem avaliados para uso na irrigação, são os sais (quantidade total de sais na água) e o seu teor de sódio em relação ao teor de cálcio e magnésio. Uma água de alta salinidade irá aumentar a infiltração. Uma água de salinidade baixa ou uma água com uma elevada relação de cálcio para sódio irá diminuir a infiltração. Ambos os fatores podem funcionar ao mesmo tempo. O conhecimento da concentração dos íons cloreto, sódio e boro também são importantes, pois estes podem causar toxidade às plantas. Altas concentrações de nitrogênio, ferro, bicarbonato, gesso também podem causar danos às culturas agrícolas (AYERS & WESTCOT, 1994).

De uma maneira geral, medições de condutividade elétrica dever sempre ser realizada no próprio campo, com auxílio de condutivímetros portáteis. Os valores de condutividade elétrica são transformados em valores de sólidos totais dissolvidos, dando excelente informação da visão da qualidade da água (FEITOSA e FEITOSA, 2008 p.202)

### *3 – Avaliação quantitativa do aquífero*

É nessa etapa que será possível ver a viabilidade da execução do projeto que deseja-se implantar, avaliando se a oferta hídrica estará de acordo com a demanda. Para essa análise é necessário calcular as reservas hídricas, fazer teste do aquífero e teste de produção, além de fazer o monitoramento periódico do nível estático dos poços.

Recomenda-se o teste de produção do tipo escalonado, pois este apresenta a vantagem de ser realizado com maior rapidez, minimizando os custos de operação. Este é realizado através de um bombeamento contínuo, passando de uma etapa para outra através de um aumento brusco da vazão. Podem ser realizados com ou sem estabilização do nível dinâmico em cada intervalo (FEITOSA & DEMÉTRIO, 2008).

Como visto ao longo desse trabalho, o cálculo das reservas do aquífero aluvionar é possível ser realizado através do conhecimento da área do aquífero, da espessura e da porosidade específica. Para isso um profissional especializado deverá ser contratado.

A sondagem geofísica é interessante para saber a espessura saturada e insaturada do aquífero, além do conhecimento do perfil litológico, no entanto, não se faz necessário o pequeno agricultor ter esse custo que é elevado. Caso já tenha poços com perfil litológico disponíveis da área que se deseja trabalhar, basta basear-se por este, caso não exista esses



perfís, um especialista auxiliar na descrição de um perfil através de perfurações a trado.

#### 4 – *Projetos de construção dos poços tubulares*

A forma mais prática e eficiente para captação de água subterrânea é através dos poços tubulares. Poços tubulares são todos os poços perfurados para captação de água subterrânea que após a perfuração recebe um revestimento constituídos por tubos, sejam metálicos ou plástico, que terão várias finalidades no decorrer da vida útil do poço (DEMÉTRIO *et al.*, 2008).

Para o bom dimensionamento de poços tubulares é necessário conhecer bem a hidrologia da área, de modo que o projeto seja adequado às características específicas do local e toda construção realizada para captação da água pública deve ser antecedida de uma autorização da construção do meio de captação e do uso da água (Outorgas) pelo órgão responsável.

Nessa pesquisa foram detectados erros na captação da água aluvionar através de perfurações no leito do rio, como mostrato ao longo desse trabalho. Então, seguir a legislação e a contratação de técnico especialista nessa etapa é de fundamental importância.

#### 5.- *Gestão dos recursos hídricos subterrâneos em áreas agrícolas*

De acordo com Cavalcante (1998) e Costa (2008), a gestão de aquíferos inclui conhecer a demanda real, sua evolução e sua elasticidade; ter meios de observação da quantidade e da qualidade da água, e, também dos impactos ambientais, sociais e territoriais da exploração; considerar que o acompanhamento oferta de água versus demanda de água, se faz a partir dos dois lados e devem ter o meio para fazê-lo; dispor de conhecimentos científicos e técnicos; amparar-se em medidas administrativas e legais e realizar campanhas de informação pública e de formação. Dá apoio ao comitê de bacias da região.

Zonas agricultáveis já são fontes potenciais de poluição das águas, visto o uso intensivo de insumos agrícolas como fertilizantes sintéticos à base de amônia e agrotóxicos. No entanto, o uso sustentável desses insumos podem minimizar tal poluição. Onde o agricultor deve sempre contratar um profissional para prescrever com detalhes o insumo correto a ser utilizado, contendo informações da maneira de aplicar e a quantidade correta, evitando que estes sejam lixiviados e conseqüentemente contamine o lençol freático.

## 7 CONCLUSÕES

Para ter um aproveitamento sustentável da água do aquífero aluvionar é imprescindível a execução de uma boa gestão dessa água e do aquífero como um todo, através do monitoramento, gerenciamento do uso e cobertura do solo, outorgas e fiscalização por parte dos órgãos competentes, além do conhecimento das características hidrogeológicas do aquífero aluvionar, como perfil, reservas permanentes, renováveis e exploráveis, e testes de vazão dos poços.

Através do monitoramento do nível estático, foi possível entender o comportamento sazonal da quantidade das águas do aquífero aluvionar, mas sugere-se um prolongamento temporal desse monitoramento para melhorar a qualidade das informações.

O volume médio anual precipitado no PICP é de 765,5 mm, característico da região semiárida, no entanto, durante os seis anos analisados (2012 – 2017) a precipitação ficou abaixo da média histórica, 43, 19, 31, 16, 11 e 19%, respectivamente. Com menos água disponível nos açudes, houve racionamento de água para irrigação, o que gerou uma maior exploração das águas subterrâneas para suprir parte da demanda das culturas irrigadas

As reservas exploráveis anuais ( $4,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) dariam para irrigar aproximadamente 786 ha de coqueiros, durante o período seco (julho a dezembro). Cobrindo uma área maior que a estudada. O que representa um volume hídrico significativo considerando a necessidade hídrica da região.

O volume de água no aquífero aluvionar tem uma relação direta com o volume precipitado, no entanto é importante avaliar o volume infiltrado que retorna para o sistema aquífero via irrigação.

Os perímetros irrigados do Ceará se mostram vulneráveis quanto aos efeitos da seca, haja visto que sofreram forte queda na produção desde os primeiros anos de seca, onde os menores perímetros, chegaram a um total colapso em 2014.

As águas do Aquífero Aluvionar do PICP possuem qualidade adequada para o uso na irrigação da maioria das culturas já implantadas, quando há um manejo adequado da irrigação, visto as restrições quanto ao alto teor de ferro e sais na água.

A sondagem elétrica vertical auxilia, de modo direto, o cálculo das reservas hídricas em ambiente aluvionar através do fornecimento da espessura do aquífero, onde foi observado que o Aquífero Aluvionar do PICP tem uma espessura média saturada de 7 m, apresentando uma reserva hídrica suficiente para manutenção das culturas agrícolas durante o

período de estiagem.

Análise dos parâmetros físico-químicos da água através da análise multivariada, permite a identificação da similaridade entre esses e entre as amostras analisadas, possibilitando um menor custo nas próximas análises, visto a redução de poços amostrados.

Um modelo metodológico de caracterização quali-quantitativa de aquífero aluvionar para fins de irrigação é fundamental para um uso sustentável e eficaz desses recursos hídricos.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A. de **Avaliação do passivo ambiental de solos degradados por sais no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste - Ceará**, Tese (Doutorado em Engenharia agrícola – Universidade Federal do Ceará), Fortaleza, 2015.
- ANDRADE, T. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. de A.; RODRIGUES, D. F. B. Estimation of alluvial recharge in the semiarid. *Eng. Agríc. [online]*. 2014, vol.34, n.2, pp.211-221. ISSN 0100-6916.
- AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B. Emprego do Método de Thornthwaite & Mather (1955) para Cálculo do Balanço Hídrico Climatológico do Núcleo de Degradação de São Raimundo Nonato-Piauí. **Revista Brasileira de Geografia Física** V. 06, N. 01 079-090, 2013.
- APHA.1992. Standard Methods For the examination of water and wastewater. 18 ed., AWWA – WPCP.
- ARAÚJO, H. F., COSTA, R. N. T., CRISÓSTOMO, J. R., SAUNDERS, L. C. U., MOREIRA, O. da C. & MACEDO, A. B. M. Produtividade e análise de indicadores técnicos do maracujazeiro-amarelo irrigado em diferentes horários **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.16, n.2, p.159–164, 2012
- ARAÚJO, H. F. Indicadores técnicos e econômicos do maracujazeiro amarelo irrigado no Perímetro Curu Pentecoste, Ceará, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola - Universidade Federal do Ceará), Fortaleza, 2011.
- AYERS, R. S.; WESTCOT. D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de GHEYI, H. J.; MEDEIROS, J. F. de; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1994. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 Revisado I). Título original: Water quality for agriculture.
- BARBOZA, G.C.; HERNANDEZ, F.B.T.; FRANCO, R.A.M. ; DE MORAES, J.F.L.; SILVA, P.T.P. Concentração de ferro na água para irrigação na microbacia do coqueiro, estado de São Paulo. **Anais. III WINOTEC - Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação**, Fortaleza – CE, 2010.
- BARRETO, C. E. A. G.; WENDLAND, E.; MARCUZZO, F. F. N. Estimativa da evapotranspiração a partir de variação de nível estático de aquífero. **Revista Engenharia Agrícola**, v.29, n. 1, p.52-61, 2009.
- BRAGA, A.C.O, **Métodos Geométricos Aplicados**: Módulo: Hidrogeologia. Universidade Estadual Paulista UNESP/IGCE/DGA. Rio Claro SP. 2001 91p.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, **Programa Nacional de Água Subterrânea**, 2006.  
BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Disponível em:

[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm) Acesso em: 26 set. 2017

BURTE, J. D. P. **Os pequenos aquíferos nas áreas cristalinas semi-áridas: Funcionamento e estratégias de gestão. Estudo de caso no Nordeste brasileiro.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

BURTE, J. D. R.; MARLET, A. C. S. Use of water from small alluvial aquifers for irrigation in semi-arid regions **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 635-643, 2011

CAVALCANTE, I.N. **Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará.** 1998. 153f. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

CAVALCANTE, I. N.; COSTA, N. B. ;GOMES, M. C. R.;J. T.V., MAIA; L. C. B. FREITAS; E. C. L. LEMOS. Aquífero costeiro na região de Paracuru – Ceará XV Encontro nacional de Perfuradores de Poços; I Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste. **Anais..** 2007

CAVALCANTE, I. N., OLIVEIRA, R. M. Reservas hídricas subterrâneas e contribuição à gestão dos recursos hídricos em aluviões no semiárido. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 35, n. 4, p.642-651, 2016

CAMPOS, J. N. B.. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Estud. Avançados**, 2014, vol.28, n.82, pp.65-88. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142014000300005> Acesso em: 09 dez. 2017.

CEARÁ, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Mapeamento e Avaliação do Potencial Hídrico Subterrâneo dos Aluviões em Zonas Semiáridas Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG.** Relatório Final, 2007a.

CEARÁ, PECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, **Ceará em Mapas**, 2007b. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/126x.htm> Acessado em 11 jul. 2018.

CEARÁ, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos- Cogerh. **Portal Hidrológico do Ceará.** Volume armazenado – Reservatórios. 2016.

CEARÁ, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos- Cogerh. **Portal Hidrológico do Ceará.** Volume armazenado – Reservatórios. 2017. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/#>. Acessado em 02 jun. 2017.

CEARÁ, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Portal hidrológico do Ceará.** Volume armazenado nos reservatórios, 2018.

COSTA, W. D. Avaliação de Reservas, Potencialidade e Disponibilidade de Aquífero. X Congresso Brasileiro de Água Subterrânea, anais.. 1998.

CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005**. Brasília: 2005. 23p. Disponível em:  
<http://www.mma.gov.br/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso: em: 21 ago. 2017.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil, Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará Diagnóstico Do Município De Pentecoste, Fortaleza, 1998. Disponível em:  
[http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16709/Rel\\_Pentecoste.pdf?sequence=1](http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16709/Rel_Pentecoste.pdf?sequence=1)  
Acesso em: 19 set. 2019

DEMÉTRIO, J. G. A.; PAIVA, A. L. R.; FREITAS, D. A.; BATISTA, A. G. S.; CABRAL, J. J. S. P., Características hidrogeológicas das aluviões do rio Beberibe na área da bateria de poços no bairro de Caixa d`Água, Olinda-PE **Águas Subterrâneas** (2013) 27(3): 111-126.

DNOCS. Perímetro Irrigado Curu - Recuperação - **Plano de Ação Global**, Vol. I-A, 1993.

EILERS, V. H. M. **Estimativa de recarga de águas subterrâneas utilizando o método do balanço hídrico**. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2004.

GOMES, M. da C. R; MENDONÇA, L. A. R.; LIMA, M. G. de S.; ARAÚJO, A. O. Similaridade de Atributos Físico-Químicos com uso de Análise Multivariada Aplicada à Gestão Qualitativa de Águas Subterrâneas São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 36, n. 2, p. 325 – 337, 2017.

FEITOSA, F. A. C., MANOEL FILHO, J. **HIDROGEOLOGIA – Conceitos e Aplicações CPRM**. 2000. 2ª Ed. 391p.

FEITOSA, F. A. C., DEMÉTRIO, J. G. A. Teste de bombeamento em poços tubulares. Livro **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações CPRM**. 2008. 3ª Ed. 508p.

FERREIRA NETO, M. et. al. Qualidade do fruto verde de coqueiro em função da irrigação com água salina. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** [online]. 2002, vol.6, n.1, pp.69-75. ISSN 1415-4366. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000100013>.

FRANCO, R. A. M. & HERNANDEZ, F. B. T. Qualidade da água para irrigação na microbacia do Coqueiro, Estado de São Paulo **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.13, n.6, p.772–780, 2009.

GUAZZELLI, E. A.; OLIVEIRA, F. A CARNEIRO, F. M. Síntese informativa dos Perímetros Irrigados: Ano Agrícola 2010. DNOCS, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico e Produção, Fortaleza, 2011.

GUAZZELLI, E. A.; OLIVEIRA, F. A CARNEIRO, F. M. Síntese informativa dos Perímetros Irrigados: Ano Agrícola 2011. DNOCS, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico e Produção, Fortaleza, 2012.

GUAZZELLI, E. A.; OLIVEIRA, F. A CARNEIRO, F. M. Síntese informativa dos Perímetros Irrigados: Ano Agrícola 2012. DNOCS, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico e Produção, Fortaleza, 2013.

GUAZZELLI, E. A.; OLIVEIRA, F. A CARNEIRO, F. M. Síntese informativa dos Perímetros Irrigados: Ano Agrícola 2013. DNOCS, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico e Produção, Fortaleza, 2014.

GUAZZELLI, E. A.; OLIVEIRA, F. A CARNEIRO, F. M. Síntese informativa dos Perímetros Irrigados: Ano Agrícola 2014. DNOCS, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico e Produção, Fortaleza, 2015.

GUAZZELLI, E. A.; OLIVEIRA, F. A CARNEIRO, F. M. Síntese informativa dos Perímetros Irrigados: Ano Agrícola 2015. DNOCS, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico e Produção, Fortaleza, 2016.

GOMES, M. da C. R.; MENDONÇA, L. A. R.; LIMA, M.G. da S. Similaridade dos Atributos Físico-Químicos com uso de Análise Multivariada aplicada à gestão qualitativa de águas subterrâneas. São Paulo, UNEP, **Geociências**, v. 36, n. 2.

JARBAS, T.; SÁ, I. B.; PETRERE, V. G. TAURA, T. A. **Árvore do Conhecimento – Bioma Caatinga**. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma\\_caatinga/arvore/CONT000gdhgdwhv02wx5ok0rofsmqwz38lcb.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000gdhgdwhv02wx5ok0rofsmqwz38lcb.html). Acesso em: 18 dez. 2017.

LEAL, C. A., **Geofísica aplicada na avaliação de recursos hídricos subterrâneos e meio ambiente da Zona costeira do campo petrolífero de Fazenda alegre, Norte Capixaba – Espírito Santo**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2007

LOGAN, J. Interpretação de análises químicas d'água. Recife: US. Agency for International Development, 1965, p. 67.

MACEDO, A. B. M. **Poços rasos e reúso de água como alternativas para sustentabilidade hídrica e econômica no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, Ceará**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, 2016.

MACÊDO, M. L.; COSTA, R. N. T.; NUNES, K. G. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do cajueiro-anão precoce na agricultura familiar. **Irriga**, Botucatu, v. 23, n. 1, p. 55-71, janeiro-março, 2018

MEDEIROS, P. R. F., DUARTE, S. N., UYEDA, C. A., SILVA, E F. F., MEDEIROS, J. F. Tolerância da cultura do tomate à salinidade do solo em ambiente protegido. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.16, n.1, p.51–55, 2012.

MOBUS, G. **Qualigraf: software para interpretação de análises físico-químicas, versão Beta**. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME. Fortaleza, 2003. Disponível em: <http://www.funceme.br>. Acessado em: 02 ago. 2017.

MOURA, I. B. M. **Aspectos hidrogeológicos do Aluvião do rio Banabuiú no trecho entre Morada Nova e Limoeiro do Norte-CE**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

MOURA, I.B.M. **Estudos das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú no Trecho entre Quixeramobim e Banabuiú - Ceará, Brasil.** Tese (Doutorado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

OLIVEIRA, F. A.; GUAZZELLI, E. A.; CARNEIRO, F. M. Síntese informativa dos Perímetros Irrigados: Ano Agrícola 2013. DNOCS, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico e Produção, Fortaleza, 2011.

OLIVEIRA, M. C. De; de SOUZA FILHO, F. de A. Uma proposta de alocação de água em período de escassez hídrica para o vale do Rio Curu, Ceará. 2014. **Anais do XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.** Disponível em: <http://www.abrh.org.br/xiisrhn/anais/papers/PAP017579.pdf> Acesso em: 13 jan. 2017.

OLIVEIRA M. e MAIA C. E. Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do estado do Rio Grande do Norte **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.2, p.17-21, 1998.

PAIVA, A.L.R. de; CABRAL, J.J.S.P.; DEMÉTRIO, J.G. A.; SOBRAL, M. C. M. Filtração em Margem para Indução de Recarga e Melhoria da Qualidade de Água – Estudo de Caso: Rio Beberibe. **Águas Subterrâneas**, v.24, n.1, p.103-114. 2010.

PERDIGÃO, P. C. N., COSTA, R. N. T., MEDEIROS, A. T., SILVA, L. A., SANTOS, M. D. S. Efeitos de níveis de água e adubação potássica no desenvolvimento do cajueiro anão-precoce, BRS – 189 **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** v.5, n.1, p.90-94, jan.-mar., 2010 Recife, PE, UFRPE

REBOUÇAS, A.D.C. 1997. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos Avançados**. 11(29):127 – 154.

REIS FILHO, R. J. C. dos . Potencialidades dos Perímetros Irrigados e Estratégias para Reduzir os Efeitos da Estacionalidade sobre a Oferta de Forragem para os Rebanhos no Nordeste. DOI: <http://dx.doi.org/10.15528/2176-4158/rcpa.v15n2p91-97> **Rev. Cient. Prod. Anim.**, v.15, n.2, p.91-97, 2013

RICHARDS, L. A. (ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington: USDA, 1954.

RIGOTTO, M.R.; FREITAS, B.M.C.; MAIA, R.; GADELHA. D.; PONTES, A.; TEIXEIRA, M.; COSTA, D.; ROCHA, M.; FERREIRA. M. & MONTEZUMA. T. 2016. Perímetros irrigados e direitos violados no Ceará e no Rio Grande do Norte: “Porque a água chega e a gente tem que sair?”. **Revista Pegada**. 17(2): 123 – 137

ROLLEMBERG, H.; FERREIRA, J. M. S. **A cultura do coqueiro.** Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2006.



SACASA, R.J.V., Moura, H.P., Oliveira, M. J., Rosário, J. M. L. do, Souto, F. A. Aplicação de sondagens elétricas de resistividade no estudo dos recursos hídricos subterrâneos da localidade de Marabaixo III. **Anais.. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 2004.

SANTOS, D. M. *et al.* Qualidade das águas do aluvião do rio Banabuiu - Trecho Morada Nova - Br 116" Ceará. **Anais.. Congresso Brasileiro de Geologia**, 2007.

SILVA, I.N.; FONTES, L. de O.; TAVELLA, L.B.; OLIVEIRA, J.B. de; OLIVEIRA, A.C.de. Qualidade de água na irrigação. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos – PB, v.7, n.3, p.1-15, 2011.

SILVEIRA, R. N. C. M. Aquífero aluvionar como suporte à irrigação na bacia hidrográfica do Rio Curu, Ceará, Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2014.

SILVEIRA, R. N. C.M. ; PEIXOTO, F. S. ; COSTA, R. N. T. ; CAVALCANTE. I. N. Drought's Impact in Irrigated Perimeters in the Brazilian Semi-Arid. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 41, p. 268-275, dez. 2018.

STUDART, T. M. de C.; CAMOPOS, J. N. B. A Gestão das Águas na Bacia do Rio Curu - Ontem e Hoje. In: Simpósio Internacional sobre Gestão dos Recursos Hídricos, 1998, Gramado. **Anais do Simpósio Internacional sobre Gestão dos Recursos Hídricos**. Porto Alegre: ABRH, 1998.

THORNTHWAITE, C. W. **An approach toward a rational classification of climate**. *Geographical Review* 38 (1): 55–94. 1948.

VASCONCELOS, S.M.S. **Recarga do Aquífero Dunas/Paleodunas**, Fortaleza-CE. Tese de Doutorado, USP, 1999. São Paulo, 100p.

VASCONCELOS, S.M.S. **Estimativa da recarga subterrânea a partir do balanço hídrico –Exemplo de Fortaleza, CE**. *Revista de Geologia, Universidade Federal do Ceará*. Fortaleza. P27-34. 1996.

WARD, S. H. Resistivity and induced polarization methods. In: WARD, S. H. *Geotechnical and environmental geophysics*. 2nd ed. II v. Tulsa-Oklahoma, 1990.

**APÊNDICE A - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS CADASTRADOS NO PERÍMETRO  
IRRIGADO CURU-PENTECOSTE E REGIÃO.**

<b>Ponto</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Tipo</b>	<b>Identificação</b>
P1	468888	9584144	Escavação no rio	Atrás do F7
P2	468886	9583872	Escavação no rio	F6
P3	467605	9582058	Escavação no rio	Pedro Baião (núcleo F)
P4	467057	9581810	Escavação no rio	Raimundo Madeira
P5	467176	9581878	Escavação no rio	Manuel de Souza Saampaio
P6	464583	9579936	Escavação no rio	Adelino Barbosa
P7	465647	9580236	Escavação no rio	Sr Kinô
P8	466326	9580776	Escavação no rio	Ao lado do Zé Mauro
P9	464190	9579320	Escavação no rio	Luiz Raimundo Filho
P10	466344	958100	Poço tubular raso	C1
P11	463916	9580125	Poço tubular raso	C2
P12	464215	9579545	Poço tubular raso	C3
P13	466323	9580797	Poço tubular raso	C4
P14	464594	9579927	Poço tubular raso	C5
P15	465638	9580211	Poço tubular raso	D1
P16	467296	9581795	Poço tubular raso	D2
P17	466434	9580764	Poço tubular raso	D3
P18	467156	9581739	Poço tubular raso	D4
P19	467594	9582053	Poço tubular raso	F1
P20	469236	9585060	Poço tubular raso	F2
P21	467174	9581875	Poço tubular raso	F3
P22	468092	9582290	Poço tubular raso	F4
P23	467054	9581806	Poço tubular raso	F5
P24	468910	9583775	Poço tubular raso	F6
P25	468861	9584124	Poço tubular raso	F7
P26	462410	9579692	Poço tubular profundo	Centro de manejo/inativo
P27	462998	9578732	Poço tubular profundo	Colégio
P28	463384	9578986	Poço tubular profundo	Hotel Velho
P29	462777	9578290	Poço tubular profundo	Oficina
P30	462546	9577846	Poço tubular profundo	Hotel/igreja
P31	460257	9578024	Poço tubular profundo	Fazendinha/catavento
P32	462395	9579660	Poço tubular profundo	Centro de Manejo/ativo
P33	460258	9578008	Poço tubular profundo	Fazendinha
P34	463276	9579110	Poço tubular profundo	Vacaria
P35	466872	9583842	Poço tubular profundo	F6
P36	466329	9580782	Poço tubular profundo	Zé Mauro

P37	461461	9576092	Poço tubular - SOHIDRA	Núcleo B
P38	461920	9574958	Poço tubular - SOHIDRA	Núcleo A
P39	467390	9583194	Poço tubular - SOHIDRA	Vila Nova do posto Agricola
P40	463842	9580576	Poço tubular - SOHIDRA	Xixá
P41	466033	9579599	Poço tubular - SOHIDRA	Saco do Belem
P42	469907	9584266	Poço tubular - SOHIDRA	Poço Frio

## APÊNDICE B – ARTIGOS PUBLICADOS E SUBMETIDOS REFERENTES À TESE

### Artigo 1 – Publicado

Revista Geociências – Unesp. V. 35, n.4 (2016)

#### Reservas hídricas subterrâneas e contribuição à gestão dos recursos hídricos em aluviões no semiárido

Renata Nayara Câmara Miranda SILVEIRA<sup>1</sup>, Raimundo Nonato Távora COSTA<sup>2</sup>, Filipe da Silva PEIXOTO<sup>1</sup>, Humberto Gildo de SOUSA<sup>2</sup>, Itabaraci Nazareno CAVALCANTE<sup>1</sup>, Rafael Mota de OLIVEIRA<sup>3</sup>

- (1) Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, bloco 912, Fortaleza-Ceará, CEP: 60020-181. E-mail: [renayarac@gmail.com](mailto:renayarac@gmail.com), [fpeixoto10ufc@gmail.com](mailto:fpeixoto10ufc@gmail.com), [itabaracicavalcante@gmail.com](mailto:itabaracicavalcante@gmail.com)
- (2) Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, CEP: 60020-181. E-mail: [rmtcosta@secrel.com.br](mailto:rmtcosta@secrel.com.br), [humbertosousa71@hotmail.com](mailto:humbertosousa71@hotmail.com)
- (3) Pesquisador associado do Grupo de Estudo Hidrogeologia e Gestão Hidroambiental/DEGEO/UFC. Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, bloco 912, Fortaleza-Ceará, CEP: 60020-181. E-mail: [rafaelmota20@yahoo.com.br](mailto:rafaelmota20@yahoo.com.br).

Introdução

Caracterização da área de estudos

Materiais e métodos

Cadastro dos poços

Cálculo das reservas

Resultados e discussão

Conclusões

Referências

### RESUMO

As águas subterrâneas são fontes estratégicas para aumento da oferta hídrica e a diminuição dos vazios hídricos. Através do estudo de um trecho do Aquífero Aluvionar do Rio Curu, buscou-se caracterizar as reservas hídricas subterrâneas para auxílio no gerenciamento hídrico desta unidade hidrogeológica em regiões semiáridas. Foi feito o monitoramento dos níveis estáticos de 14 poços rasos durante o período de um ano (maio de 2014 a maio de 2015), correspondente a um período com precipitações abaixo da média histórica para esta região. Observou-se que mesmo com as baixas precipitações houve uma recarga significativa do Aquífero Aluvionar ao se comparar com a recarga dos reservatórios superficiais, sendo que as reservas hídricas da área de aluvião estudada teriam capacidade de suprir 25% da demanda hídrica anual de irrigação de todo o perímetro irrigado no trecho em consideração. Concluiu-se, ainda, que para regiões semiáridas é imprescindível o monitoramento do nível freático e o cálculo de reservas, principalmente, após cada quadra chuvosa, realizando então o planejamento e a outorga do volume que deverá ser explorado do aquífero, sem comprometer sua função ambiental.

**Palavras-chaves:** Oferta hídrica; semiárido; água aluvionar.

**Artigo 2 – Publicado**  
**Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, 2018.**

**EFEITOS DA SECA EM PERÍMETROS IRRIGADOS NO SEMIÁRIDO**  
**DROUGHT'S IMPACT IN IRRIGATED PERIMETERS IN THE SEMI-ARID OF**  
**BRAZIL**

Renata Nayara Miranda Câmara Silveira<sup>1</sup>; Filipe da Silva Peixoto<sup>2</sup>; Raimundo Nonato Távora Costa<sup>1</sup> & Itabaraci Nazareno Cavalcante<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará, Av. da Universidade, 2853 - Benfica, Fortaleza - CE, 60020-181

<sup>2</sup>Universidade do estado do Rio Grande do Norte, Rua Almino Afonso, 478 - Centro - Mossoró/RN CEP: 59.610-210

**Resumo**

A instalação de perímetros irrigados (PI) no semiárido nordestino foi uma adaptação ao desenvolvimento de atividades agrícolas, em uma região em que a água é o principal fator limitante e o mais problemático por conta das irregularidades do clima e das secas. O presente trabalho busca aferir o impacto da seca extensiva de 2010 a 2015 na produção dos 13 perímetros irrigados do Ceará, identificando as culturas e os perímetros que mais foram impactados. Para isso, foram sistematizados os dados das sínteses executivas dos perímetros irrigados, divulgadas pelo Departamento de Obras Contra as Secas – Dnocs, constando a produção agrícola dos cinco anos investigados. Além de dados meteorológicos de pluviometria de fonte da Fundação Cearense de Meteorologia – Funceme e de volumes de armazenamento de água nos principais reservatórios do Estado, baseados nos dados da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado – Cogerh. A produção agrícola dos perímetros irrigados no Estado foi crescente até 2014, quando o colapso hídrico resultou no racionamento de água e queda geral na produção. Os PI como Ema e Forquilha, e Quixabinha sofreram substancial queda na produção desde os primeiros anos de seca, chegando a um total colapso em 2014 no caso do Ema.

**Palavras-chave:** Gestão de recursos hídricos; Agricultura irrigada; Escassez hídrica

**Artigo 3 – Submetido**  
**Revista de geociências do Nordeste. Nov.2019**

ISSN: 2447-3359

2019

**Caracterização hidroquímica de aquífero aluvial para uso agrícola**

Hydrochemistry characterization of alluvial aquifer for agriculture use.

---

**Resumo**

Devido a marcante irregularidade climática do semiárido brasileiro, os aquíferos aluvionares tem permitido a irrigação de vales, exercendo sua importância socioeconômica para estados do semiárido brasileiro. Contudo, estudos hidroquímicos são essenciais para diminuir os riscos de salinidade dos solos irrigados. O presente trabalho buscou caracterizar a hidroquímica de um trecho do Aquífero Aluvionar do rio Curu – Ceará, e identificar suas limitações para irrigação. Para isso foram coletadas, em duas campanhas de campo, amostras para parametrização físico-química da água subterrânea. A amostragem se deu em 10 poços durante o período chuvoso, agosto de 2017, e no período seco, novembro de 2017 e foram descritas por meio de diagrama de Piper e diagrama de risco de sodicidade de Richards. Os resultados mostraram que as águas possuem classes variada, no período chuvoso e no seco, houve uma predominância de águas de classe mista e cloretadas. Quanto ao risco de sodicidade, as águas apresentaram alto teor salino, que oferecem risco à salinização dos solos, no entanto, com um bom manejo da irrigação é possível utilizar a água, controlando os fatores de infiltração e drenagem. O estudo contribuiu para um melhor conhecimento hidroquímico das aluviões, e uso agrícola desse reservatório estratégico para as regiões semiáridas.

**Palavras-chave:** Irrigação. Risco de sodicidade. Semiárido. Sazonalidade climática.

### APENDICE C – MONITORAMENTO DOS NIVEIS ESTÁTICOS

Poço	Prof. do poço (m)	Nível estático dos poços (metro)														
		dez-13	mai-14	jul-14	out-14	nov-14	jan-15	mar-15	abr-15	mai-15	jul-15	ago-15	set-15	out-15	nov-15	dez/15
C1	8,32	2,58	2,92	3,09	3,97	4,2	4,52	4,69	3,58	3,44	3,74	3,99	4,34	4,59	4,8	4,96
C2	7,21	1,06	2,49	2,68	3,39	3,63	4,73	4,22	0,66	1,4	2	2,26	2,74	3,06	3,33	3,64
C3	5,86	2,4	2,61	2,75	3,56	3,75	3,99	3,99	2,05	2,94	3,11	3,33	3,71	3,98	4,63	4,73
C4	6,16	1,73	2,77	3,06	4,1	4,32	4,59	4,59	2,48	2,98	3,48	3,97	6,05	4,83	5,33	5,5
C5	7,57	2,78	2,86	3,05		4,03	3,57	4,41	2,79	3,46	3,52	3,76	3,97	4,21	4,31	4,63
D1	6,18	4,05	4,045	4,3	5,61	5,81	6,04	6,05	3,94	4,42	4,7	5	5,48	5,81	6,06	6,19
D2	8,19	2,7	2,8	3,2	4,4	4,5	4,81	4,59	2,56	3,21	3,75	4,07	4,62	4,97	5,16	6,06
D3	5,39	3,82	3,91	4,13	5,39	com raizes	com raizes	com raizes	3,56	4,15	4,85	5,31	com raizes	com raizes	com raizes	0,00
D4	8,53	2,84	2,86	3,35	4,54	4,67	4,95	4,81	2,67	3,29	3,75	4,17	4,65	5	5,27	5,37
F1	8,70	3,778	3,793	4,018	4,958	5,128	5,488	4,878	3,378	3,998	4,398	4,668	5,068	com raizes	com raizes	0,00
F3	9,23	3,05	3,165	3,55	4,7	4,84	5,08	5,7	3,08	3,65	4,15	4,48	4,9	5,22	5,44	5,58
F4	8,72	3,56	3,485	3,72	4,68	com raizes	4,72	4,85	3,12	3,66	3,93	4,09	4,03	com raizes	com raizes	0,00
F5	7,08	0,39	0,855	1,07	2,15	2,36	2,74	2,81	1,92	2,04	2,31	2,56	2,88	3,22	3,38	3,56
F6	8,60	3,038	3,673	3,643	4,908	5,188	5,638	5,618	4,268	4,518	4,958	5,218	5,628	5,888	6,118	6,37
F7	8,32	2,29	2,6	2,695	3,65	3,78	3,95	3,96	2,09	2,8	3,28	3,46	3,87	4,13	4,36	4,55

Poço	Prof. do poço (m)	Nível estático dos poços (metro)										
		jan/16	fev/16	mar/16	abr/16	mai/16	jun/16	jul/16	ago/16	set/16	out/16	nov/16
C1	8,32	5,17	5,22	5,27	5,33	5,36	5,44	5,51	5,63	5,74	<b>5,87</b>	5,93
C2	7,21	3,9	4,00	4,11	4,20	4,31	4,46	4,59	4,69	4,97	5,14	5,22
C3	5,86	4,44	4,34	4,29	4,25	4,27	4,42	4,53	4,78	4,81	4,99	5,07
C4	6,16	5,46	5,54	5,58	5,49	5,59	6,04	6,37	6,66	6,91	poço seco	poço seco
C5	7,57	4,63	4,63	4,65	4,65	4,72	4,83	5,45	5,12	5,22	poço seco	poço seco
D1	6,18	6,10	6,27	6,30	6,28	6,29	6,38	6,40	6,42	6,60	poço seco	poço seco
D2	8,19	5,15	5,20	5,12	5,10	5,06	5,25	5,64	5,82	5,94	5,82	funcioando
D3	5,39	poço seco	poço seco	poço seco	poço seco	poço seco	poço seco	poço seco	poço seco	poço seco	poço seco	poço seco
D4	8,53	5,17	5,23	5,15	5,03	5,15	5,24	4,95	5,98	6,07	6,19	6,56
F1	8,70	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	poço seco	poço seco
F3	9,23	5,51	5,48	5,49	5,42	5,56	5,76	5,95	6,22	arrancou	arrancou	arrancou
F4	8,72	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	poço seco	poço seco
F5	7,08	3,51	3,58	3,62	3,65	3,74	3,88	4,05	4,26	4,40	4,54	4,59
F6	8,60	6,28	6,47	6,32	6,15	6,22	6,42	6,67	6,85	7,02	7,21	7,24
F7	8,32	4,55	4,56	4,60	4,48	4,62	4,72	4,93	5,14	5,30	raiz	5,3



Poço	Prof. do poço (m)	Nível estático dos poços (metro)				
		fev/17	mar/17	abr/17	jul/17	ago/17
C1	8,32	6,26	6,13	5,42	4	3,84
C2	7,21	4,75	4,63	3,95	3,34	3,16
C3	5,86	5,25	5,01	2,77	3,13	2,61
C4	6,16	poço seco	6,52	2,83	3,32	2,03
C5	7,57	poço seco	5,39	2,75	seco	seco
D1	6,18	poço seco	6,94	4,01	seco	seco
D2	8,19	5,76	5,5	2,41	3,61	3,01
D3	5,39	poço seco	seco	3,47	4,47	2,67
D4	8,53	5,85	5,55	2,48	3,71	3,38
F1	8,70	poço seco	seco	3,488	4,308	3,528
F3	9,23	Arrancou				
F4	8,72	poço seco	seco	2,9	3,78	3,15
F5	7,08	4,54	4,25	3,08	3,16	2,56
F6	8,60	7,56	6,09	4,628	5,028	4,288
F7	8,32	raiz	4,73	1,85	3,16	3,27