



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE AGRONOMIA

JOSÉ WILSON DE OLIVEIRA MAGALHÃES

RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS EM ALUVIÃO NO SEMIÁRIDO
NORDESTINO: ESTUDO DE CASO NO PERÍMETRO IRRIGADO MORADA
NOVA, CE

FORTALEZA

2021

JOSÉ WILSON DE OLIVEIRA MAGALHÃES

RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS EM ALUVIÃO NO SEMIÁRIDO
NORDESTINO: ESTUDO DE CASO NO PERÍMETRO IRRIGADO MORADA NOVA, CE

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharelado em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa.

Coorientadora: Ma. Kenya Gonçalves Nunes.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M166r Magalhães, José Wilson de Oliveira.
Recursos hídricos subterrâneos em aluvião no semiárido nordestino : estudo de caso no Perímetro Irrigado Morada Nova, CE / José Wilson de Oliveira Magalhães. – 2021.
44 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa.
Coorientação: Profa. Dra. Kenya Gonçalves Nunes.
1. Recarga. 2. Poços . 3. Águas subterrâneas. I. Título.

CDD 630

JOSÉ WILSON DE OLIVEIRA MAGALHÃES

RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS EM ALUVIÃO NO SEMIÁRIDO
NORDESTINO: ESTUDO DE CASO NO PERÍMETRO IRRIGADO MORADA NOVA, CE

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharelado em Agronomia.

Aprovada em: 30/03/2021.

BANCA EXAMINADORA

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

Ma. Kenya Gonçalves Nunes (Coorientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Renata Nayara Câmara Miranda Silveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. José Alfredo de Albuquerque
Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (Dnocs)

À Deus.

Aos meus pais, Sigefredo Filho e Karina.

À minha família que sempre me apoiou e incentivou.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa e à Ma. Kenya Gonçalves Nunes, pela excelente orientação que desde 2020 já conversávamos e discutíamos sobre o TCC.

Aos professores e membros participantes da banca examinadora Renata Nayara Câmara Miranda Silveira, José Alfredo de Albuquerque e Almiro Tavares Medeiros pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

À Universidade Federal do Ceará pela oportunidade de cursar um curso de ensino superior. A COGERH pela a disponibilização dos dados. Ao DNOCS e a Audipimn pelo apoio ao grupo de pesquisa GPEAS (Grupo de Pesquisa em Engenharia de Água e Solo).

Aos professores do Curso de Agronomia - UFC, por toda a colaboração ao longo de minha caminhada na graduação.

A todos os membros do GPEAS, em especial, Almiro, Caio e Pedro Victor.

Aos colegas e amigos do Curso de Agronomia 2015.2 e demais semestres que sempre foram presentes tanto na correria do semestre como na diversão, em especial, Jéssica, Gabriela, Lais, Marcos, Marianne, Aristides, Monique, Igor e Valéria,

Aos amigos e parceiros do DIVA – Departamento Investigativo da Vida Alheia, amizades verdadeiras que levarei para sempre, Pedro Igor, Pedrão, Felipe, Gabriel, Orlando, Rodrigo Digão, Rodrigo Jucá, Anderson, Rhannaldy, Walisson, Paulo Macário, Renan, Acrísio, Fernando, Liah, Marcelo Nunes, Rafael Miague, Rafael Russas, Lilian, Marcelo Silva, Vitor, Iorrana, Zé Iran, Naiara, Oliveira, Wendel, Sávio, Ramon, Jorge e Michel.

Aos meus amigos Leonardo Jorge e Hugo Rodrigues, conterrâneos que estavam comigo nas horas boas e ruins.

À minha família paterna, em especial, Tia Silvana, Erika e Eduardo. Foram as pessoas que me receberam em Fortaleza de braços abertos e foram como mãe e irmãos para mim, consideração que levarei para toda a vida.

A toda minha família materna, mesmo morando em Nova Russas me apoiando a todo momento, não deixando faltar nada para mim. Mãe Fátima e Mamãe Karina. Só tenho a agradecer a força de vocês, eu nem sei aonde eu poderia estar se não fosse o que aprendi com vocês.

Aos amigos de colégio do grupo Asa Delta: Hiago, Saulo, Douglas, Cayque, Ihan, David. Amizades que não tem prazo de validade e que sempre quero por perto.

“Enquanto o poço não seca, não sabemos dar valor à água.” *Thomas Fuller.*

RESUMO

As chuvas irregulares e os anos de baixas precipitações pluviométricas são fatores importantes que levam o homem do campo a buscar alternativas visando garantir água em sua atividade agrícola ou até mesmo para consumo doméstico. Com isso, as águas subterrâneas ganharam importância, garantindo a segurança hídrica de pequenos e médios produtores, com sua exploração por meio de poços. O estudo foi realizado em poços localizados no Perímetro Irrigado Morada Nova, situado nos municípios de Morada Nova e Limoeiro do Norte – CE. Foram consideradas leituras mensais de nível estático dos poços durante o período de 2014 a 2019, relacionando-os com os dados de precipitação pluviométrica para o mesmo período, incluindo anos de baixos índices pluviométricos e de índices acima da média histórica para a região. Os dados de nível estático foram tratados e organizados em gráficos para possibilitar a observação do comportamento durante os períodos chuvosos e os períodos secos, em anos de poucas chuvas e em anos mais promissores. Foram elaborados mapas de isopropfundidades com os valores de nível estático e suas respectivas coordenadas, com vistas a avaliar a profundidade em que se encontrava o lençol freático na região. A ascensão e depleção de cada poço ao decorrer do ano foi analisada por meio do coeficiente de uso e recuperação, que foi utilizado em todos os anos, levando em consideração o nível estático do poço ao final do período chuvoso e do seco. Tal coeficiente permitiu observar o potencial de recuperação do poço e, posteriormente, o quanto o poço deplecionou em cada ano. Os gráficos mostraram grande queda nos níveis estáticos dos poços principalmente no ano de 2015, que foi o de menor índice pluviométrico durante o período do estudo, e recuperação dos níveis no ano de 2018, melhor ano de chuvas; estendendo a recuperação até 2019. Com os mapas de isopropfundidades foi possível observar que os poços mais próximos do Rio Banabuiú tinham maior nível estático durante o período chuvoso e maior variação de nível entre os períodos chuvoso e seco. O coeficiente de uso e recuperação possibilitou estimar o quanto foi explorado dos poços durante cada ano, destacando-se o ano de 2015 com a maior depleção dos poços, com média de 3,26 m e o valor de coeficiente de 10,05, e o ano de 2016, com o valor de coeficiente de 12,95. O melhor coeficiente, com o valor de 0,58 e a média de ascensão dos poços de 2,18 m foram obtidos para o ano de 2018. Tais índices favoráveis são justificados pela ocorrência de chuvas acima da média histórica da região, o que confirma forte colaboração e interferência nos períodos chuvosos e períodos secos, respectivamente.

Palavras-chave: Recarga. Poços. Águas subterrâneas.

ABSTRACT

Irregular rains and years of low rainfall are important factors that lead rural people to seek alternatives in order to guarantee water in their agricultural activity or even for domestic consumption. As a result, groundwater has gained importance, guaranteeing water security for small and medium-sized producers, with their exploitation through wells. The study was carried out in wells located on the Perimeter Irrigated Morada Nova, located in the municipalities of Morada Nova and Limoeiro do Norte - CE. Monthly static level readings of the wells were considered during the period from 2014 to 2019, relating them to the rainfall data for the same period, including years of low rainfall and indexes above the historical average for the region. Static level data were treated and organized in graphs to allow the observation of behavior during rainy and dry periods, in years with little rain and in more promising years. Iso depth maps with static level values and their respective coordinates were prepared in order to assess the depth of the water table in the region. The rise and depletion of each well over the course of the year was analyzed using the use and recovery coefficient, which was used in all years, taking into account the static level of the well at the end of the rainy and dry period. This coefficient allowed us to observe the well's recovery potential and, subsequently, how much the well depleted each year. The graphs showed a great drop in the static levels of the wells mainly in 2015, which was the lowest rainfall index during the study period, and the recovery of levels in 2018, the best rainy year; extending recovery to 2019. With the depth depth maps, it was possible to observe that the wells closest to the Banabuiú River had a higher static level during the rainy season and a greater level variation between the rainy and dry periods. The use and recovery coefficient made it possible to estimate how much was explored from the wells during each year, highlighting the year 2015 with the greatest depletion of the wells, with an average of 3.26 m and the coefficient value of 10.05, and the year 2016, with a coefficient of 12.95. The best coefficient, with the value of 0.58 and the average rise of the wells of 2.18 m were obtained for the year 2018. Such favorable indexes are justified by the occurrence of rains above the historical average of the region, which confirms strong collaboration and interference in rainy and dry periods, respectively.

Keywords: Recharge. Wells. Groundwater.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização dos poços do PIMN	20
Figura 2 – Situação de dados nos poços	21
Figura 3 – Comportamento dos poços 1 a 19	26
Figura 4 – Comportamento dos poços 20 a 39	27
Figura 5 – Mapa de isopropundidade anos de 2014 e 2015	30
Figura 6 – Mapa de isopropundidade anos de 2016 e 2017	31
Figura 7 – Mapa de isopropundidade anos de 2018 e 2019	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos poços do PIMN	22
Tabela 2 – Precipitação Pluviométrica anual (PPA)	23
Tabela 3 – Comportamento dos poços para o ano de 2014	33
Tabela 4 – Comportamento dos poços para o ano de 2015	34
Tabela 5 – Comportamento dos poços para o ano de 2016	35
Tabela 6 – Comportamento dos poços para o ano de 2017	35
Tabela 7 – Comportamento dos poços para o ano de 2018	36
Tabela 8 – Comportamento dos poços para o ano de 2019	37
Tabela 9 – Quadro de médias do comportamento dos poços de 2014 a 2019	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PIMN	Perímetro Irrigado Morada Nova
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
NE	Nível Estático
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
PPA	Precipitação Pluviométrica Anual
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	Águas subterrâneas	14
2.2	Aluvião	16
2.3	Recarga natural dos aquíferos	17
2.4	Regime pluviométrico no semiárido	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1	Localização da área de estudo	20
3.2	Coleta e tratamento dos dados	21
3.2.1	<i>Gráficos de nível estático</i>	23
3.2.2	<i>Mapas de isopropundidades</i>	23
3.2.3	<i>Coeficiente de uso e recuperação</i>	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1	Gráficos de nível estático	25
4.2	Mapas de isopropundidades	29
4.3	Coeficiente de uso e recuperação	33
5	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

Grande parte do nordeste brasileiro, por sua posição geográfica, está inserida no chamado “*Polígono das secas*”, expondo a região à escassez de água. O Estado do Ceará está inserido nesse cenário, apresentando período chuvoso concentrado em três a quatro meses do ano e um longo período de estiagem, agravando-se ainda mais nos últimos meses do ano quando alcança as maiores temperaturas e elevadas taxa de evaporação. A estiagem acarreta vários problemas de abastecimento humano, diminuindo os níveis de reservatórios e rios, afetando diretamente as áreas com condições de desenvolvimento para a população.

Para o Estado do Ceará, os recursos hídricos superficiais são a principal fonte de suprimento de água. Em decorrência da crescente demanda de água devido ao crescimento populacional, necessidade de produzir alimentos, aumento do setor industrial e a suscetibilidade aos fatores climáticos agravantes da região semiárida, há uma diminuição dos níveis de rios e reservatórios, conseqüentemente sendo explorado um grande volume destas fontes e uma lenta recuperação advinda das chuvas que apresentaram baixos índices pluviométricos anos após ano. Tais fatos corroboram a necessidade de uma outra fonte de suprimento de água.

Dada a situação, a água subterrânea ganhou grande importância para o desenvolvimento da região, sendo uma reserva estratégica de valor imensurável. Em algumas regiões do semiárido, os aquíferos têm papel fundamental quando a estiagem atinge o seu ponto mais crítico, o que torna a água subterrânea a única fonte hídrica disponível. Tal fonte apresenta diversas vantagens, principalmente por não estar suscetível à evaporação, sendo apta para uso humano, industrial e agrícola.

Cerca de 70% do território cearense é composto por rochas cristalinas que apresentam uma limitação na capacidade de armazenamento e dificuldade de exploração por poços, de vazões que em média são inferiores a $3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (MÖBUS *et al.*, 1998; SILVEIRA *et al.*, 2016). A prioridade de sua exploração aumenta quando a oferta hídrica superficial se limita, ressaltando as vantagens de ser rapidamente fornecida com baixo custo de capital, permite o investimento individual privado, uma alternativa a distribuição linear da água, democratizando o acesso a água (SILVEIRA *et al.*, 2016). Tais vantagens se refletem não só na conservação da quantidade da água em períodos de estiagem, mas também na manutenção da qualidade da mesma, sendo menos suscetível à evaporação e com tendência a se manter os parâmetros de qualidade, com enriquecimento de sais inferior aos apresentados nos reservatórios superficiais (VASCONCELOS *et al.*, 2011).

O Perímetro Irrigado Morada Nova (PIMN) encontra-se assentado sobre o aluvião do Rio Banabuiú. Em toda sua área já foram perfurados poços tubulares, utilizados principalmente no período de estiagem para suprir a demanda hídrica. O monitoramento desses poços é realizado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH (TEIXEIRA *et al.*, 2008).

Devido à seca ocorrida na última década, com períodos chuvosos com médias anuais abaixo da média histórica, a disponibilidade hídrica do PIMN entrou em colapso, diminuindo drasticamente o fornecimento de água em seus canais. O uso dos poços se tornou a saída para os moradores e produtores da região para suprir o déficit, buscando diminuir suas perdas no cultivo de arroz, na carcinicultura e na bovinocultura de leite, principais atividades exercidas na região.

A grande exploração dos poços a partir do ano de 2013, devido ao corte de fornecimento de água no PIMN, colocou uma enorme pressão de consumo sobre o lençol freático, no qual a recuperação de seu nível estático passou a ser mais lenta, agravando-se ainda mais com período em que as chuvas não forneceram precipitações significativas para a região, o que drenou ainda mais do lençol, que ao passar dos anos apresentava níveis estáticos cada vez mais profundos.

Com base no exposto, o estudo teve como objetivo geral analisar o comportamento dos níveis estáticos dos poços localizados no PIMN no período de 2014 a 2019, que inclui anos de grande estiagem e anos de bons índices pluviométricos. Especificamente, objetivou verificar o comportamento da recuperação dos poços, a relação entre depleção e recuperação e o padrão de uso e recuperação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Águas subterrâneas

Devido ao Estado do Ceará não ter a capacidade natural de acumular grandes quantidades de água, incentivou-se a construção de reservatórios de pequeno, médio e grande porte, tanto pela iniciativa privada como pelo Governo, visando à regularização da oferta de água em períodos de estiagem (PINHEIRO, 1998; CORREIA, 2006).

As escassas fontes hídricas superficiais estão mais suscetíveis às variações climáticas e, com isso, os recursos hídricos subterrâneos se tornam mais utilizados na agricultura irrigada e para outros usos, tais como o abastecimento doméstico e o fornecimento aos animais, diminuindo a dependência dos recursos hídricos superficiais quando sob risco (COSTA *et al.*, 2003; SILVA, 2000; MONTENEGRO *et al.*, 2005).

A recarga nos reservatórios superficiais e subterrâneos sofre influência direta com a desproporcionalidade entre as precipitações pluviométricas e as altas taxas de evaporação, provocando a desperenização generalizada dos rios, riachos e córregos. Esse cenário pode representar um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento econômico, com graves consequências sociais na região (ARAÚJO *et al.*, 2004).

De acordo com Moura (2008), as águas subterrâneas são fontes estratégicas de suprimento ao déficit hídrico decorrente do período de estiagem. O conhecimento de tais reservas podem trazer grandes benefícios, visando a permanência do homem no campo, favorecendo suas atividades econômicas e sua subsistência. A partir do entendimento, é necessário, também, favorecer o acesso às informações e buscar o uso racional da água.

Em função da crescente demanda decorrente do desenvolvimento e crescimento econômico do país, as águas subterrâneas estão sob forte pressão. Para o monitoramento das águas subterrâneas não devem ser observadas somente as atividades humanas realizadas nas proximidades, mas também características geológicas da massa da água; particularidades hidrogeológicas (condutividade hidráulica, porosidade e confinamento) e as propriedades dos solos na área de drenagem, responsáveis por abastecer a massa da água subterrânea (FUNASA, 2014).

A região Nordeste caracteriza-se por apresentar baixa pluviosidade e elevadas perdas de água por evaporação, além de apresentar mais de 60% de áreas de climas áridos (MEDEIROS *et al.*, 2012), o que aumenta a ainda mais a necessidade de exploração das águas subterrâneas.

A exploração das águas subterrâneas é condicionalmente limitada à estrutura geológica da região, podendo assim dividir em dois tipos de aquíferos: o presente nas rochas do cristalino fraturado ou fissurado, onde a exploração é através de poços tubulares profundos, e os aquíferos presentes nos depósitos aluvionares em rios (BURTE & SCHRADER, 1999; *apuld* SILVEIRA, 2014).

O projeto denominado “Caminhos de Israel – Poços no Sertão” do Governo do Estado do Ceará iniciado em 2001, instalou diversos poços tubulares rasos em aluviões em todo o Estado. O projeto tinha como objetivo a instalação de 5.000 poços tubulares rasos em todo o Estado do Ceará, sendo para cada município 50 poços em dois aluviões.

Segundo a Agência Nacional de Águas, no Brasil, as águas subterrâneas são, de forma geral, de boa qualidade, com propriedades físico-químicas e bacteriológicas adequadas a diversos usos. Porém, algumas restrições são encontradas como, por exemplo: elevados valores de sólidos totais dissolvidos, especialmente nas partes confinadas das bacias sedimentares. Esse elevado valor de sólidos totais dissolvidos também é observado nos terrenos cristalinos do semiárido nordestino. Devido às condições de circulação lenta, a água subterrânea se enriquece em sais minerais em profundidade. O uso de aluviões e barragens subterrâneas, quando tecnicamente bem planejadas, são alternativas importantes para o abastecimento de água com boa qualidade (SILVEIRA, 2014).

Os poços freáticos, conhecidos como poços tubulares rasos, captam água do lençol freático, ou seja, água que se encontra acima da primeira camada impermeável do solo. Os poços podem fornecer água de boa qualidade quando comparada à qualidade da água advinda de poços tubulares profundos, sem contribuições de meios poluentes (SILVEIRA, 2014).

Para a remoção da água dos poços rasos é necessário o uso de bombeamento. Com o início do bombeamento, a água retirada é proveniente do armazenamento no aquífero em volta do poço. Com o prosseguimento do bombeamento, é retirada uma quantidade de água maior advinda de outras regiões cada vez mais afastadas, o que aumenta o raio de influência do poço (BARBOSA JÚNIOR, 2013 *apuld* SILEIRA, 2014).

Johnson (1966) relata em seu estudo que à medida que ocorre um bombeamento no poço, o raio de influência e a depleção do nível ocorre em uma razão decrescente, em que, após algumas horas em operação é difícil de notar, em intervalos curtos de tempo, os acréscimos no cone de depleção. A expansão do cone continua até que a recarga do aquífero se equilibre com a vazão do bombeamento, ação definida como regime permanente. Para alguns aquíferos o equilíbrio ocorre em algumas horas de bombeamento, diferente de outros em que o regime não é alcançado mesmo que o bombeamento durasse um tempo indeterminado.

Segundo Carvalho *et al.* (2018), a seca prolongada 2012 a 2016 provocou um aumento significativo na demanda do uso da água subterrânea no Perímetro Irrigado Baixo Acaraú – CE, principalmente nos anos de 2014 e 2015, onde mais de 80% das fontes hídricas avaliadas foram utilizadas devido à seca. Os autores ressaltam que há carência de informações precisas e de orientação técnica sobre o uso e a qualidade da água para os produtores, que alegam problemas causados pela qualidade das fontes de água subterrânea, associando-os a problemas de salinidade, presença de ferro e variações de pH.

Em virtude do colapso na disponibilidade de água de superfície, vislumbrou-se naturalmente como fonte alternativa de água para irrigação, a oriunda de poços rasos tubulares nos aluviões.

Uma preocupação a salientar é o contínuo monitoramento das águas subterrâneas é uma atividade importante para ser inserida ao planejamento da exploração dos sistemas agrícolas, principalmente naqueles que destinam essa água para fins de irrigação. O regime desigual de chuvas e a elevada evaporação limitam expressivamente essa disponibilidade hídrica ao longo da estação seca (MONTENEGRO *et al.*, 2003; ALBURQUERQUE *et al.*, 2008).

2.2 Aluvião

As manchas aluvionares presentes no nordeste brasileiro, por constituírem fontes renováveis de recursos hídricos, apresentam alto potencial para o desenvolvimento agrícola de pequena escala (MONTENEGRO *et al.*, 1999; ALBUQUERQUE *et al.*, 2008).

Os aquíferos aluviais existentes no nordeste brasileiro estão sendo comumente utilizados para a agricultura irrigada como fontes estratégicas de suprimento hídrico para perímetros irrigados, principalmente durante o período de estiagem. Tais aquíferos, por estabelecerem fontes renováveis de recursos hídricos, sendo procurados não só pela qualidade do seu solo, sempre revigorado anualmente pelos húmus depositados pelas cheias torrenciais, como também, por se consistir na estação seca anual, como única possibilidade de obtenção d'água, torna-se uma alternativa com alto potencial para o desenvolvimento agrícola da região através da construção de poços (PAIVA, 2019).

Os depósitos aluvionares constituem a maior parte do Baixo Jaguaribe. Eles se estendem a partir de Tabuleiro do Norte, porção sul da área, formando uma planície de cerca de 10 km de largura por 100 km de comprimento, cobrindo as áreas que vão da BR-116 à encosta da Chapada do Apodi. Em geral, os depósitos aluvionares são representados por sedimentos

areno-argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos rios e riachos que drenam a área. A recarga do aquífero está relacionada à pluviometria e rede hidrográfica (GOMES; FRISCHKORN, 2009).

Segundo Maia (2010), os valores dos parâmetros hidrodinâmicos podem estar associados à espessura da camada de argila e areia em que o poço está inserido. Assim, poços com maiores valores de transmissividade e condutividade hidráulica possivelmente estão inseridos numa porção mais arenosa do aquífero.

Os aluviões do semiárido possuem alto potencial para agricultura irrigada em pequena escala, embora sejam suscetíveis a processos de acúmulo de sais, tanto na zona saturada quanto na não-saturada, dependendo assim, em meio a outros fatores, da distribuição espacial de suas características hidráulicas (MONTENEGRO; MONTENEGRO, 2006). Maia (2010) em pesquisa na qual realizou testes de produção em poços rasos construídos nos aluviões do Rio Banabuiú, localizados no Perímetro Irrigado de Morada Nova obteve vazões de exploração variando entre $40 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e $100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

Pesquisas realizadas em 86 municípios do Estado do Ceará permitiram constatar que o potencial de exploração dos poços nos aluviões é muito mais alto que no cristalino por causa da condutividade elétrica da água ser mais baixa, além da vazão explotável ser maior (BURTE, 2008). Os depósitos aluvionares, devido a boa vazão de poços, a qualidade de água e solos férteis, podem vir a ser intensamente explorados vindo a causar a degradação das águas. Desta forma, tornam-se necessários estudos que avaliam tais causas durante vários ciclos hidrológicos (GOMES *et al.*, 2010).

Conforme Burte *et al.* (2011), os aluviões são considerados como reservas estratégicas de recursos hídricos para irrigação e desenvolvimento de regiões no semiárido nordestino.

Ainda é carente o acervo de conhecimento a respeito do potencial hídrico, grau de exploração e qualidade de água dos aluviões em âmbito nacional. Regionalmente, os estudos desses corpos d'água também são escassos e anseiam por mais pesquisas (ANDRADE *et al.* 2007).

2.3 Recarga natural dos aquíferos

Gomes *et al.* (2010) enfatizam a importância da água, sendo necessário cuidar da proteção dos mananciais contra agentes poluidores, conhecer os processos naturais

responsáveis pela qualidade da água e identificar os mecanismos de recarga dos aluviões, que pode ter origens nas precipitações e/ou na alimentação pelo rio perenizado.

A recarga de aquíferos é comumente definida como a introdução natural ou artificial de água para as camadas do subsolo, aumentando a quantidade de água subterrânea. O processo de recarga pode ocorrer de maneira natural ou induzida. A recarga natural do aquífero varia normalmente em resposta aos efeitos climáticos sazonais e de longo prazo. A resposta de um aquífero a uma mudança na taxa de recarga traduz-se por um aumento ou diminuição no gradiente hidráulico através de uma mudança nos níveis piezométricos, o que por sua vez se traduz numa alteração do armazenamento subterrâneo (NNC, 2002; ALBUQUERQUE, 2013).

A infiltração de água no solo é necessária para que haja recarga tanto dos aquíferos rasos, que em alguns casos realimentam os cursos d'água com o escoamento de base, como para os aquíferos mais profundos, que vêm sendo bombeados intensamente em muitos locais. Ao longo de um período de chuvas, a quantidade de água que atinge os aquíferos é grande, elevando o nível de água subterrânea (ALBUQUERQUE, 2013).

A penetração de água no solo depende de alguns fatores, podendo ser divididos em quatro categorias: relacionados ao solo; à superfície; ao preparo e manejo do solo; entre outros (BRANDÃO *et al.* 2006).

O regime desigual de chuvas e a elevada evaporação limitam expressivamente essa disponibilidade hídrica ao longo da estação seca. O período de chuva tende a gerar lâminas de recarga que contribuem para recuperar os níveis nos poços e podem provocar a lavagem de sais no perfil do solo (MONTENEGRO *et al.*, 2003; ALBUQUERQUE *et al.*, 2008).

2.4 Regime pluviométrico no semiárido

A precipitação pluviométrica do semiárido brasileiro é marcada pela variabilidade interanual, associada aos baixos valores totais anuais de chuva, contribuindo como um dos principais fatores para a ocorrência de eventos de seca. O semiárido brasileiro é caracterizado pela forte insolação, temperaturas relativamente altas e regime de chuvas irregular, concentradas em um curto período, em média, de três a quatro meses do ano, apresentando volumes de água insuficientes para atender os mananciais com as necessidades da população. Tendo uma precipitação anual média de 800 mm e uma evapotranspiração média de 2.000 mm ano⁻¹ (SILVA *et al.*, 2010).

O período chuvoso ocorre durante o verão, tendo início em dezembro e findando em maio, caracterizado por um regime de chuvas bastante complexo, variando de 300 a 800

mm ano⁻¹, sendo a precipitação pluviométrica considerada o principal evento meteorológico local (SILVA *et al.*, 2018). A variação do regime de chuvas no nordeste segue no sentido litoral ao sertão, sendo o litoral com o regime pluviométrico elevado, pela grande influência do mar e dos ventos, e o interior dos estados com regime pluviométrico menores.

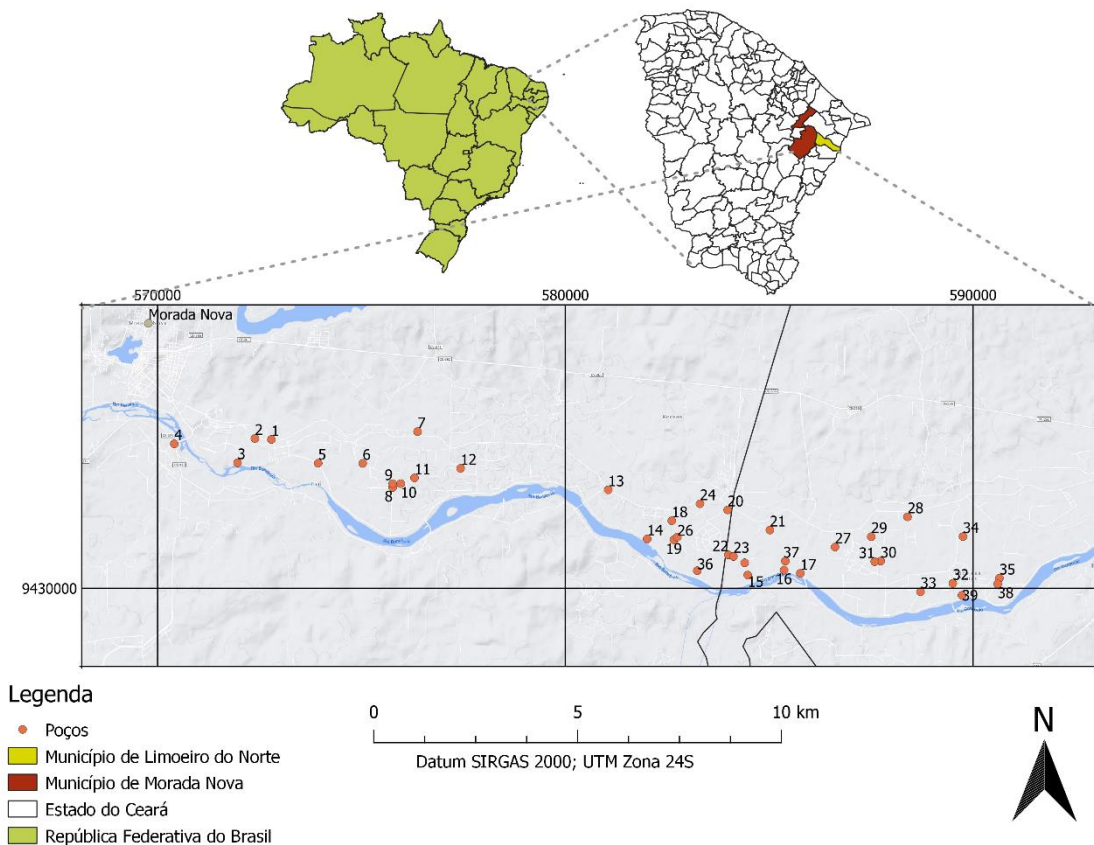
Marengo *et al.* (2011) abordam que a região semiárida brasileira possui uma variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica, em decorrência de diversos fatores como: tipo de superfície, relevo, geografia, atuação de sistemas convectivos e massas de ar predominantes na região. Sistemas atmosféricos como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e frentes frias atuam como principais responsáveis pela distribuição espaço-temporal das chuvas no semiárido (MELO *et al.*, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área de estudo

O estudo foi realizado em poços aluviais no Perímetro Irrigado Morada Nova (PIMN), inserido nos municípios de Morada Nova e Limoeiro do Norte, que compreende uma área total de 10.849 ha, na região da sub-bacia do Baixo Jaguaribe, com coordenadas geográficas 5° 06' de latitude Sul, 38° 23' de longitude Oeste e 80 m de altitude, distante cerca de 180 km de Fortaleza, a partir da BR-116 (Figura 1). O clima na região é classificado, segundo Köppen, como do tipo BSW'h', muito quente e semiárido, com precipitação pluviométrica média anual de 705,3 mm, com chuvas concentradas nos meses de fevereiro a maio. A vegetação é do tipo Caatinga.

Figura 1 – Localização dos poços no PIMN



Fonte: elaborada pelo autor.

3.2 Coleta e tratamento dos dados

Foram obtidos inicialmente os dados mensais de nível estático de 43 poços aluviais localizados no PIMN, no período de 2014 a 2019. Os dados foram obtidos com o uso de um medidor de nível, monitorados e coletados pela Cogerh. Algumas leituras mensais não foram fornecidas devido à falta de acesso aos poços ou não foram aproveitadas por terem sido realizadas enquanto o poço estava em atividade, caracterizando dados de nível dinâmico. É válido salientar a ocorrência de poços com mais de um ano sem leituras ou meses subsequentes de leituras de nível dinâmico (Figura 2).

Figura 2 – Situação de dados nos poços



Fonte: elaborada pelo autor.

Diante da impossibilidade de trabalhar com dados com essa inconsistência, foi estabelecido o critério de que para o poço ser incluído na pesquisa teria que apresentar pelo menos 50% de leituras mensais de níveis estáticos ao longo de todo o período analisado. Desta forma, quatro poços não corresponderam ao critério e foram removidos (poços 12, 15,

27 e 39), sendo a numeração reorganizada para os 39 poços restantes, cuja descrição está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição dos poços do PIMN

Nº do poço	Coordenadas UTM Leste	Coordenadas UTM Norte
1	572793	9433648
2	572389	9433671
3	571962	9433076
4	570411	9433540
5	573940	9433066
6	575032	9433061
7	576378	9433840
8	575767	9432470
9	575767	9432565
10	575965	9432565
11	576304	9432705
12	577434	9432940
13	581055	9432413
14	582009	9431209
15	584477	9430323
16	585368	9430446
17	585768	9430367
18	582614	9431655
19	582665	9431189
20	583984	9431920
21	585020	9431427
22	584000	9430819
23	584127	9430780
24	583305	9432072
25	584402	9430624
26	582752	9431256
27	586617	9431011
28	588397	9431751
29	587507	9431265
30	587736	9430665
31	587592	9430652
32	589506	9430119
33	588715	9429915
34	589757	9431266
35	590650	9430248
36	583239	9430431
37	585399	9430665
38	590609	9430104
39	589733	9429827

Fonte: Base de dados da Cogerh – elaborado pelo autor.

Foram obtidos os dados de precipitação pluviométrica mensal por meio da estação meteorológica localizada no Perímetro Irrigado Morada Nova, pertencente ao Dnocs. Na Tabela 2 podem ser observadas as precipitações pluviométricas anuais (PPA) dos anos de 2014 a 2019, mostrando a variabilidade dos totais anuais de chuvas em torno da média (705,3 mm).

Tabela 2 – Precipitação Pluviométrica anual (PPA)

Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PPA (mm)	703,9	505,2	562,9	689,6	895,0	846,7

Fonte: Base de dados do Dnocs – elaborado pelo autor.

Na composição das leituras de nível estático de cada ano, foi estabelecida a divisão em período chuvoso, que se encerrava no mês de junho, no qual era esperada uma recuperação do nível estático, e período seco, que se encerrava no mês de novembro, no qual era observado uma depleção no lençol freático devido à estiagem e uso do recurso hídrico. Assim, foi possível estabelecer o comportamento do lençol freático nos poços em todos os anos, tanto no período chuvoso quanto no período seco.

3.2.1 Gráficos de nível estático

Foram elaborados para cada poço gráficos em conjunto de níveis estáticos (NE) e precipitação pluviométrica mensal, no período de 2014 a 2019, sendo os NE em linhas e a precipitação pluviométrica em colunas, com vistas a possibilitar a visualização do comportamento durante o período de concentração das chuvas e o de estiagem, ao longo de todo o período de dados.

Os gráficos foram elaborados utilizando o *software* Excel Office 2019. Pela falta de leituras em alguns meses ao longo do período, as linhas que representam os NE dos poços podem apresentar descontinuidade.

3.2.2 Mapas de isoprofundidades

Na elaboração dos mapas de isoprofundidades foram considerados os poços com leituras para o período seco e chuvoso de cada ano, juntamente com o levantamento planimétrico. Os mapas foram elaborados utilizando o *software* Surfer Versão 8.0.

A interpretação de dados foi realizada por meio do processo de *krigagem*, com modelo de variograma linear. Para melhor visualização das linhas, foi utilizado equidistância vertical entre linhas de 0,2 m nos mapas de 2014 a 2016 e de 0,5 m nos mapas de 2017 a 2019.

3.2.1 Coeficiente de uso e recuperação

Buscando analisar melhor o comportamento do lençol freático quando submetido a fatores que têm efeitos em sua recuperação, foi sugerido um coeficiente que quantifica o rebaixamento do NE no período seco em relação ao que foi recuperado no período chuvoso – Coeficiente de Uso e Recuperação, calculado pelas Equações 1, 2 e 3:

$$Q = \frac{DEP}{ASC} \quad (1)$$

$$DEP = NEs - NEc \quad (2)$$

$$ASC = NEc - NEo \quad (3)$$

em que,

Q: Coeficiente de uso e recuperação;

DEP: Depleção do lençol freático, m;

ASC: Ascensão do lençol freático, m;

NEs: Nível estático no final do período seco, m;

NEc: Nível estático no final do período chuvoso, m.

NEo: Nível estático inicial do ano, m.

Para o coeficiente, foram utilizados dados de período seco e período chuvoso do mesmo ano, o que possibilita analisar a relação entre a ascensão dos poços no período chuvoso com a depleção dos poços no período seco para posteriormente compará-los com a precipitação pluviométrica anual daquele ano. A interpretação dos resultados é descrita a seguir:

a) Para $Q > 1,0$: foi explorado do poço no período seco mais do que ele teve de recuperação no período chuvoso;

b) Para $Q = 1,0$: foi explorado do poço no período seco o mesmo que ele recuperou no período chuvoso;

c) Para $Q < 1,0$: foi explorado do poço no período seco menos do que ele teve recuperação no período chuvoso.

Para utilizar o coeficiente é necessário que ocorra ascensão no poço durante o período chuvoso. O coeficiente foi calculado para todos os poços para cada ano de 2014 a 2019, podendo ter o comportamento anual dos poços. Tendo o período seco compreendido pelos últimos meses do ano, possibilita verificar se o recuperado pelo poço durante o período chuvoso foi suficiente para compensar o explorado no período seco, demonstrando assim, se para aquele ano houve ou não recuperação no lençol, que chegará para o próximo ano ou próximo período chuvoso tendo um déficit ou acúmulo através do seu nível estático.

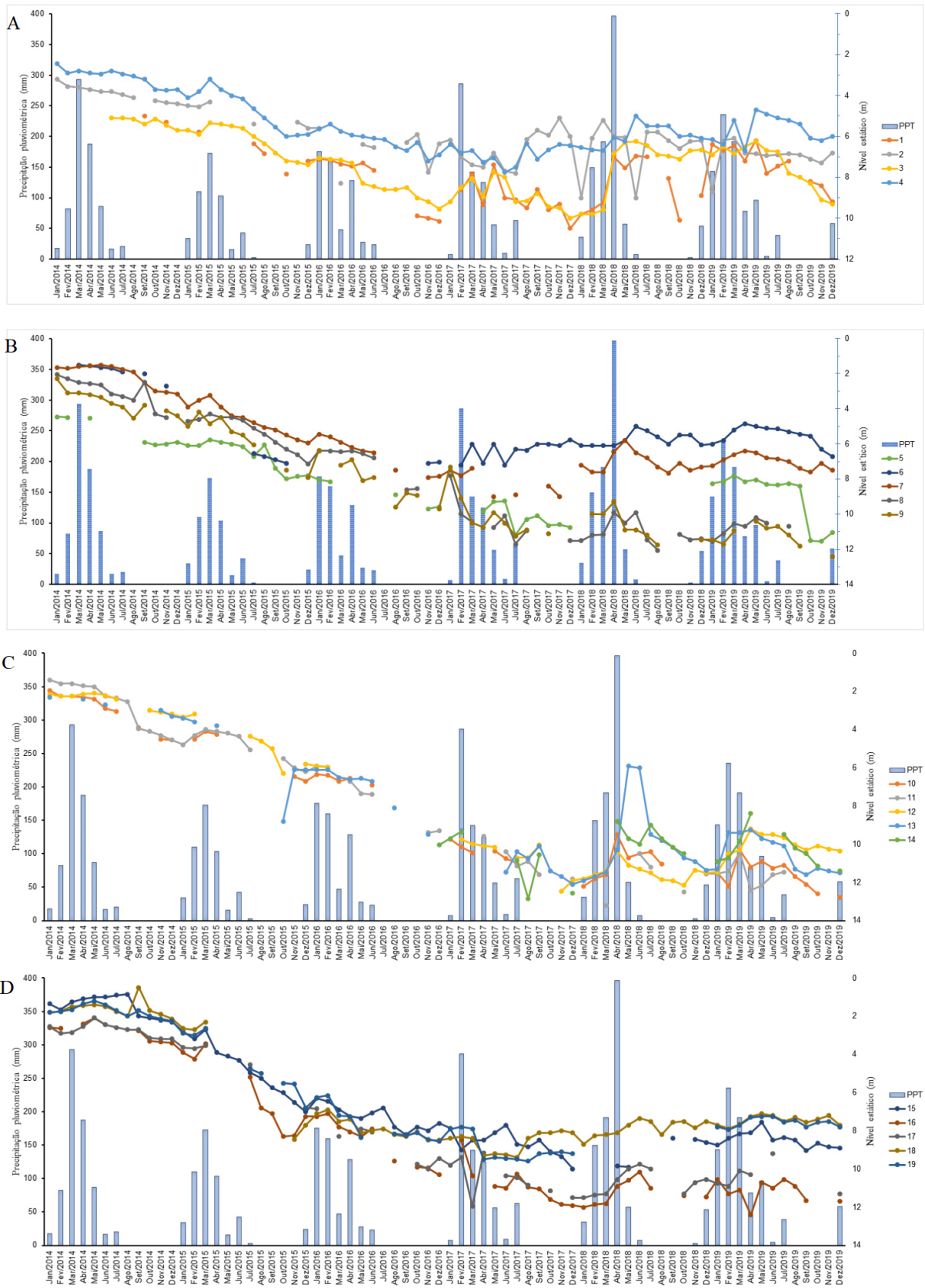
Todos os resultados foram organizados e foram calculadas as médias dos NE em períodos secos e chuvosos e ascensão e depleção dos poços no ano. Para o coeficiente foi realizado uma média truncada retirando 20% dos valores extremos, tanto menores como maiores, buscando um menor impacto desses valores com a média, com vistas a obter um valor mais próximo do que ocorre para todo o lençol.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Gráficos de nível estático

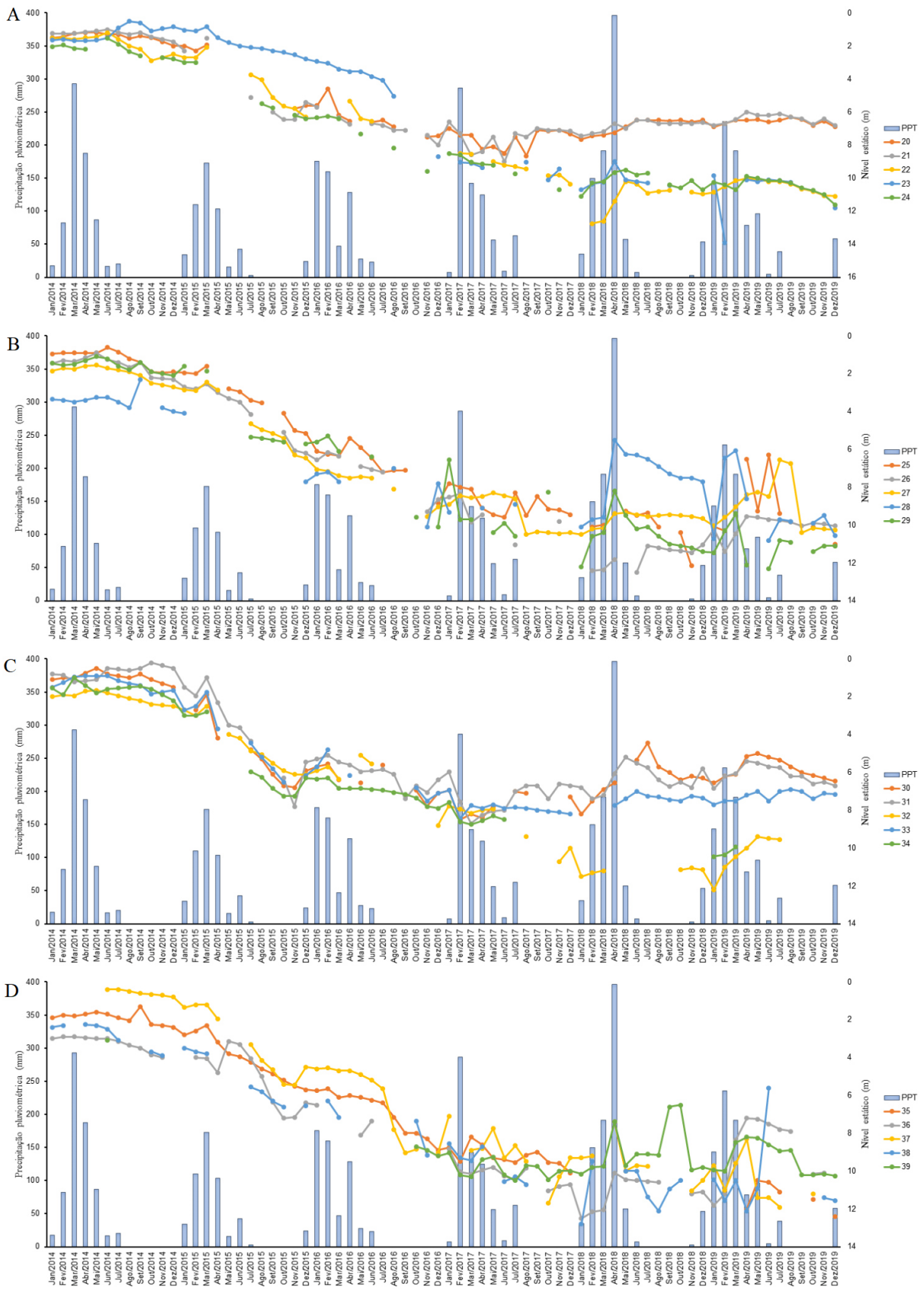
As Figuras 3 (A, B, C e D) e 4 (A, B, C e D) mostram o comportamento dos níveis estáticos.

Figura 3 – Comportamento dos poços 1-4 (A), 5-9 (B), 10-14 (C) e 15-19 (D)



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 4 – Comportamento dos poços A) 20-24, B) 25-29, C) 30-34 e D) 35-39



Fonte: elaborada pelo autor.

Os gráficos nas Figuras 3 e 4 mostram que os níveis estáticos deplecionaram drasticamente nos anos de 2015 a 2017, anos com baixos índices pluviométricos e uma grande extração de água dos poços para suprir o déficit hídrico. De acordo com Brito *et al.* (2020), em seu estudo em aluvião na Amazônia, a variação do nível da água dos poços observados foi gerada pelo evento interanual El Niño no ano de 2015, com o aumento de veranicos e a redução da precipitação pluviométrica que anula a contribuição, causando a redução no total de água armazenada nos aquíferos.

De acordo com Teixeira *et al.* (2008), no período de 2002 a 2003 ocorreu nos poços do PIMN um rebaixamento mais acentuado em todos os poços monitorados, tendo sido registrado o total de chuvas de 940 mm e de 694 mm, respectivamente. Em 2004, com um total de chuva de 996 mm, os poços apresentaram um comportamento regular tendo pequenas variações. Seguido dos anos de 2005, 2006 e 2007, em que os poços foram recarregados no decorrer desse período, com os níveis estáticos se comportando de forma crescente. Tais observações permitem concluir que a recuperação dos poços está diretamente relacionada com a pluviometria.

No ano de 2018, com ótimo índice pluviométrico, é possível observar a interferência positiva para a recuperação dos níveis estáticos dos poços, sendo por uma boa recarga do lençol ou tendo menor exploração dos poços devido não ter um déficit hídrico. Para o ano de 2019 ocorreu uma recuperação de forma moderada mesmo tendo chuvas acima da média histórica.

É válido ressaltar que, mediante os dados analisados no estudo, não é possível afirmar que a recuperação dos poços se dá unicamente pela precipitação pluviométrica anual acima da média histórica, tendo em vista que não se tem a informação do nível de exploração dos poços em todo o período de estudo ou como se comporta a rede de fluxo do lençol freático.

Brito *et al.* (2020) afirmaram que a diminuição da frequência de chuvas não diminui a recarga dos poços, pois a recarga é fortemente associada a diversos fatores físicos presentes na litologia de cada solo. Corroborando tais afirmações, Albuquerque *et al.* (2008), em seu estudo em aluvião, concluíram que foi observado um sensível potencial de recarga advindo dos eventos de precipitação, sendo que as taxas de recarga observadas apresentavam diferenças, motivadas por diferenças de circulação hídrica e diferenciação textural.

Para Gomes *et al.* (2010), quando a extração supera a recarga do aquífero ou quando o bombeamento está em alta atividade, acaba explotando potencialmente o aquífero. Tal regime pode ocasionar um cenário em que o aquífero passe a drenar os recursos hídricos superficiais, causando importantes perdas na vazão dos rios. A situação se agrava durante o período de

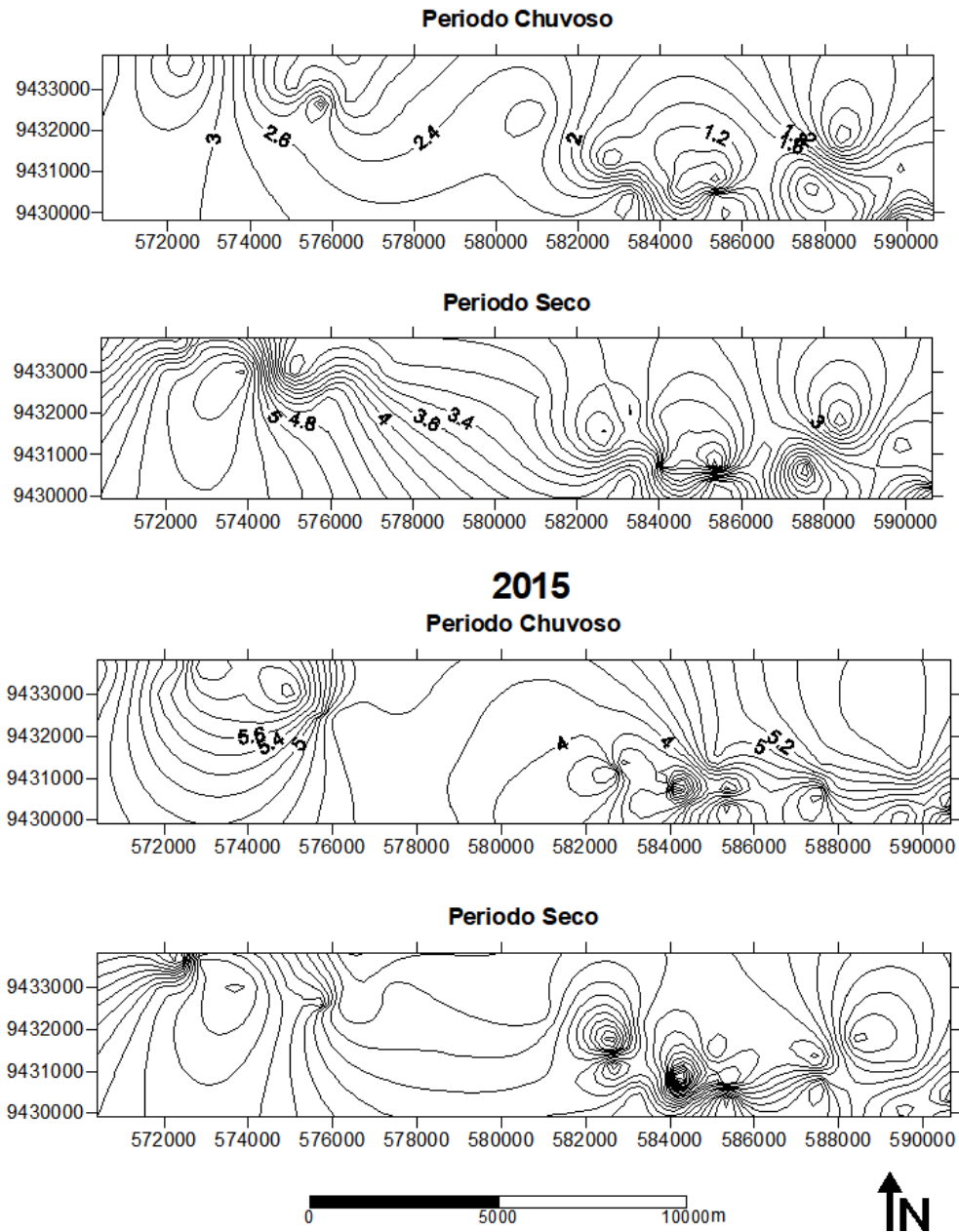
estiagem, quando o nível do aquífero se aprofunda, devido à falta de recarga e à excessiva extração de água subterrânea para uso nas atividades agrícolas da região.

Teixeira *et al.* (2013) relatam que nos anos de 2010 e 2012, cujas precipitações pluviométricas têm diferença de 481 mm, os poços apresentaram valores mínimos e máximos de nível estático, em 2010 de 0,01 a 3,75 m e, no ano de 2012, de 0,30 a 3,40 m. De acordo com os valores apresentados, os poços já apresentavam limitações na sua recuperação devido às baixas precipitações.

4.2 Mapas de isopropundidades

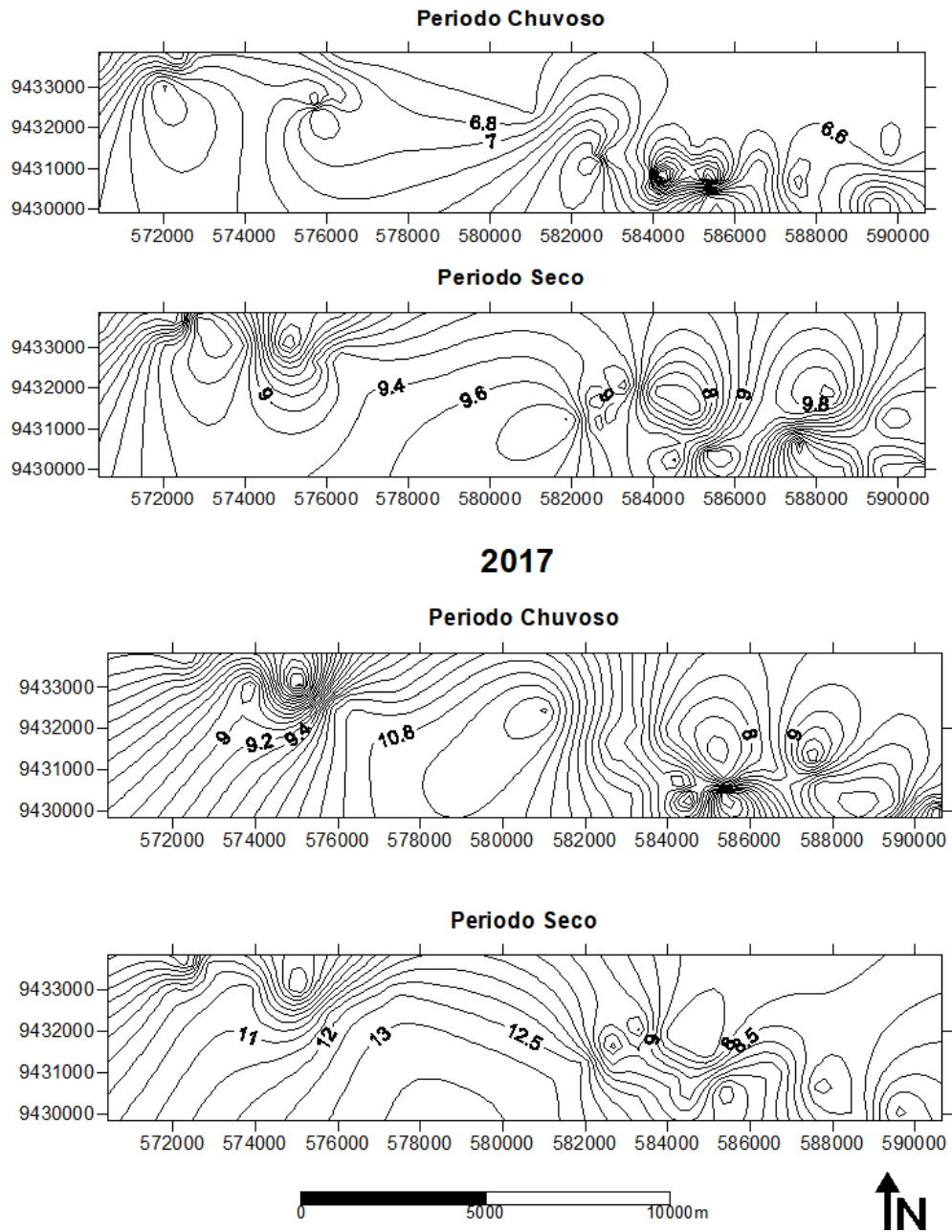
Nas Figuras 5, 6 e 7 os mapas de isopropundidades dos anos analisados permitem a observação de regiões de concentração no nível estático dos poços principalmente no período seco.

Figura 5 – Mapa de isoprofundidade dos anos de 2014 e 2015



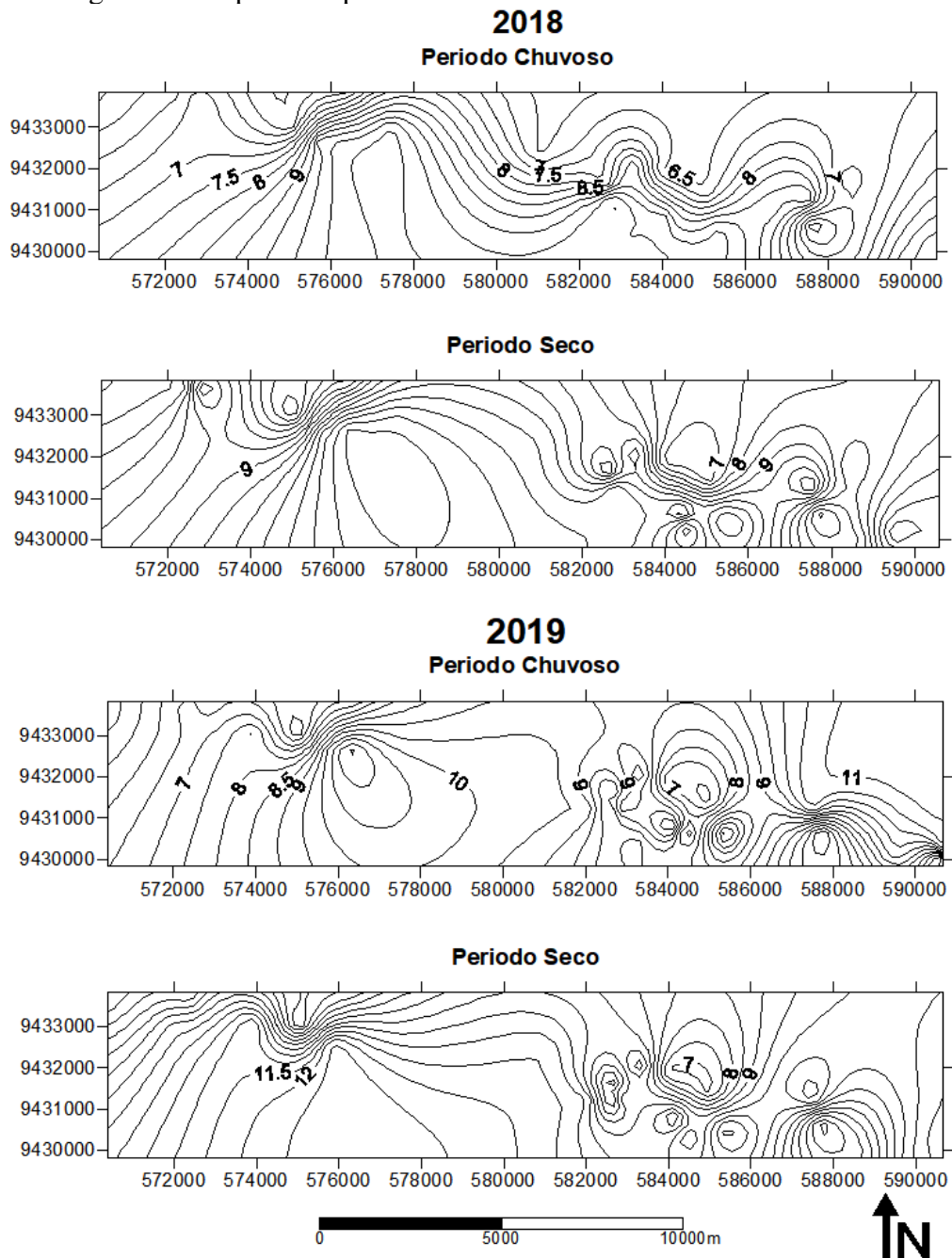
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 6 – Mapa de isoprofundidade dos anos de 2016 e 2017



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 7 – Mapa de isoprofundidade dos anos de 2018 e 2019



Fonte: elaborada pelo autor.

Gomes e Frischkorn (2009) observaram em seu trabalho na bacia do Baixo Jaguaribe que os poços mais próximos das margens do rio tinham as menores profundidades em seus níveis estáticos, enquanto as maiores profundidades foram encontradas nos poços mais distantes do rio.

As duas regiões com menores profundidades mostradas nas Figuras 5, 6 e 7, possuem cenários parecidos, no qual, atribui-se à sua proximidade com o rio e a concentração de poços nestas áreas. A região entre esses dois focos no período chuvoso tem pouca variação

no nível estático, mantendo certo nivelamento, quando comparado à mesma região no período seco, no qual se observa maior variação de nível estático, sempre mantendo maior profundidade.

Gomes *et al.* (2010) concluíram que há uma forte interação entre o Rio Banabuiú e o aluvião, de forma que a perenização do rio promove também a “perenização do aluvião”. Evidenciando que o bombeamento do aluvião drena o rio, constituindo o aluvião como um eficiente distribuidor de águas do Rio Banabuiú. Tal interação pode ser observado em poços que se encontram próximos ao rio, onde no período chuvoso ocorrem os menores níveis estáticos e, no período seco, o sentido da interação se inverte. Os poços próximos ao rio no período seco são os mais afetados, pois o rio atua como dreno, seus níveis estáticos deplecionam bem mais quando comparados aos poços mais distantes do rio.

Moura (2008) elaborou um mapa potenciométrico e constatou que nos períodos de chuva e de estiagem, a superfície hidrostática parecia acompanhar o relevo e que o fluxo subterrâneo se dirigia basicamente em direção ao rio próximo do aquífero. O autor verificou, ainda, que ao longo de todo o Perímetro Irrigado Morada Nova aparecia zonas de convergência (descarga), sugerindo superexploração da água subterrânea, tendo em vista um aumento dessas zonas no período de estiagem, onde há uma maior exploração do aquífero.

Teixeira *et al.* (2008) ressaltam a importância das medidas mensais dos níveis estáticos dos poços, pois permitem monitorar a variação do lençol freático, fornecendo ainda a taxa e direção do fluxo das águas subterrâneas, estado ou mudanças no armazenamento das águas subterrâneas, mudanças no nível devido à extração da água, quantidade, fonte e área de recarga.

4.3 Coeficiente de uso e recuperação

As Tabelas 3, 4, 5, 6, 7 e 8 mostram o comportamento dos níveis estáticos dos poços em cada ano e o coeficiente de uso e recuperação.

Tabela 3 – Comportamento dos poços para o ano de 2014

Poço	NEo (m)	NEc (m)	Ascensão	NEs (m)	Depleção	Q
7	1,65	1,50	0,15	3,15	1,65	11,00
12	2,15	2,10	0,05	3,20	1,10	22,00
15	1,35	0,85	0,50	2,30	1,45	2,90
16	2,60	2,10	0,50	3,40	1,30	2,60
17	2,55	2,10	0,45	3,20	1,10	2,44
18	1,80	1,40	0,40	2,15	0,75	1,88
19	1,80	1,20	0,60	2,25	1,05	1,75

20	1,50	1,20	0,30	2,00	0,80	2,67
21	1,25	1,00	0,25	1,75	0,75	3,00
22	1,55	1,20	0,35	2,50	1,30	3,71
23	1,65	0,50	1,15	0,85	0,35	0,30
24	2,05	1,55	0,50	2,80	1,25	2,50
25	0,95	0,60	0,35	1,90	1,30	3,71
26	1,45	0,90	0,55	2,30	1,40	2,55
27	1,85	1,55	0,30	2,70	1,15	3,83
28	3,35	2,30	1,05	4,00	1,70	1,62
29	1,45	1,10	0,35	2,10	1,00	2,86
30	1,10	0,50	0,60	1,50	1,00	1,67
31	0,80	0,20	0,60	0,50	0,30	0,50
32	2,00	1,65	0,35	2,50	0,85	2,43
33	1,50	0,99	0,51	1,65	0,66	1,29
34	1,55	1,00	0,55	2,20	1,20	2,18
35	1,90	1,60	0,30	2,40	0,80	2,67
36	3,00	2,90	0,10	4,00	1,10	11,00
38	2,40	2,25	0,15	3,90	1,65	11,00

Fonte: Base de dados do Cogeh – elaborado pelo autor.

Tabela 4 – Comportamento dos poços para o ano de 2015

Poço	NEo (m)	NEc (m)	Ascensão	NEs (m)	Depleção	Q
1	7,75	5,80	1,95	7,20	1,40	0,72
2	4,50	4,30	0,20	5,60	1,30	6,50
3	5,70	5,35	0,35	7,40	2,05	5,86
4	4,10	3,20	0,90	5,90	2,70	3,00
5	6,10	5,75	0,35	7,80	2,05	5,86
7	3,90	3,25	0,65	5,95	2,70	4,15
8	4,70	4,30	0,40	7,15	2,85	7,12
9	5,00	4,20	0,80	7,90	3,70	4,63
10	4,50	4,10	0,40	6,70	2,60	6,50
11	4,80	4,00	0,80	6,20	2,20	2,75
12	3,35	3,20	0,15	5,80	2,60	17,33
13	5,20	3,80	1,40	6,10	2,30	1,64
15	2,80	2,70	0,10	7,00	4,30	43,00
16	3,90	3,45	0,45	7,25	3,80	8,44
17	3,65	3,55	0,10	6,80	3,25	32,50
18	2,65	2,30	0,35	7,70	5,40	15,43
19	2,90	2,65	0,25	6,80	4,15	16,60
20	2,00	1,95	0,05	5,60	3,65	73,00
21	2,30	1,55	0,75	5,40	3,85	5,13
22	2,70	2,10	0,60	6,30	4,20	7,00
23	1,05	0,85	0,20	2,80	1,95	9,75

24	3,20	3,00	0,20	6,40	3,40	17,00
25	1,95	1,60	0,35	5,15	3,55	10,14
26	2,70	2,55	0,15	6,20	3,65	24,33
27	2,85	2,45	0,40	6,45	4,00	10,00
30	2,70	1,90	0,80	5,90	4,00	5,00
31	1,50	1,00	0,50	5,45	4,45	8,90
32	2,70	2,50	0,20	6,10	3,60	18,00
33	2,70	1,75	0,95	6,15	4,40	4,63
34	3,00	2,80	0,20	6,30	3,50	17,50
35	2,80	2,30	0,50	5,70	3,40	6,80
36	4,00	3,15	0,85	6,40	3,25	3,82
37	1,35	1,20	0,15	4,50	3,30	22,00

Fonte: Base de dados do Cogerh – elaborado pelo autor.

Tabela 5 – Comportamento dos poços para o ano de 2016

Poço	NEo (m)	NEc (m)	Ascensão	NEs (m)	Depleção	Q
4	5,65	5,40	0,25	6,90	1,50	6,00
16	7,25	7,10	0,15	10,30	3,20	21,33
18	7,10	6,90	0,20	8,50	1,60	8,00
19	6,25	6,15	0,10	8,55	2,40	24,00
20	5,60	4,60	1,00	7,45	2,85	2,85
25	6,10	5,40	0,70	8,85	3,45	4,93
26	6,55	6,15	0,40	8,65	2,50	6,25
28	7,30	7,20	0,10	7,80	0,60	6,00
29	5,60	5,30	0,30	10,10	4,80	16,00
30	5,70	5,55	0,15	7,10	1,55	10,33
31	5,30	5,10	0,20	6,40	1,30	6,50
32	5,90	5,10	0,80	8,80	3,70	4,63
33	5,70	4,80	0,90	7,10	2,30	2,56
34	6,35	6,30	0,05	7,90	1,60	32,00
35	5,75	5,65	0,10	8,90	3,25	32,50
37	4,60	4,55	0,05	9,05	4,50	90,00

Fonte: Base de dados do Cogerh – elaborado pelo autor.

Tabela 6 – Comportamento dos poços para o ano de 2017

Poço	NEo (m)	NEc (m)	Ascensão	NEs (m)	Depleção	Q
1	8,60	7,85	0,75	10,50	2,65	3,53
3	9,20	7,75	1,45	10,00	2,25	1,55
6	7,20	6,00	1,20	6,10	0,10	0,08
7	7,50	7,40	0,10	9,00	1,60	16,00
14	9,70	9,35	0,35	12,55	3,20	9,14
15	7,85	7,70	0,15	10,00	2,30	15,33
17	9,80	9,15	0,65	11,50	2,35	3,62

18	8,40	8,30	0,10	8,40	0,10	1,00
19	7,90	7,80	0,10	9,20	1,40	14,00
26	8,50	8,35	0,15	9,80	1,45	9,67
27	8,90	8,30	0,60	10,40	2,10	3,50
28	9,30	9,10	0,20	12,50	3,40	17,00
35	8,75	8,20	0,55	10,10	1,90	3,45

Fonte: Base de dados do Cogerh – elaborado pelo autor.

Tabela 7 – Comportamento dos poços para o ano de 2018

Poço	NEo (m)	NEc (m)	Ascensão	NEs (m)	Depleção	Q
1	9,80	6,95	2,85	8,90	1,95	0,68
2	9,00	5,20	3,80	6,20	1,00	0,26
3	9,80	6,25	3,55	7,10	0,85	0,24
4	6,55	5,00	1,55	6,10	1,10	0,71
6	6,10	5,00	1,10	6,05	1,05	0,95
7	7,20	5,80	1,40	7,30	1,50	1,07
8	11,50	9,90	1,60	11,40	1,50	0,94
9	10,00	9,30	0,70	11,45	2,15	3,07
10	12,20	9,50	2,70	11,50	2,00	0,74
11	13,20	10,50	2,70	11,55	1,05	0,39
12	11,80	10,35	1,45	11,50	1,15	0,79
13	11,90	5,90	6,00	11,35	5,45	0,91
16	12,00	10,15	1,85	11,45	1,30	0,70
17	11,50	9,75	1,75	10,55	0,80	0,46
18	8,70	7,35	1,35	7,50	0,15	0,11
20	7,65	6,50	1,15	6,60	0,10	0,09
21	7,45	6,50	0,95	6,65	0,15	0,16
22	12,75	10,35	2,40	10,95	0,60	0,25
23	10,70	9,00	1,70	10,45	1,45	0,85
24	11,10	9,50	1,60	10,70	1,20	0,75
25	10,10	9,25	0,85	12,15	2,90	3,41
26	12,40	11,10	1,30	11,45	0,35	0,27
27	10,50	9,35	1,15	9,65	0,30	0,26
28	10,10	5,50	4,60	7,70	2,20	0,48
29	12,20	8,20	4,00	11,40	3,20	0,80
30	8,20	4,45	3,75	6,30	1,85	0,49
31	6,80	5,20	1,60	5,80	0,60	0,38
32	11,50	11,05	0,45	11,15	0,10	0,22
33	7,75	7,00	0,75	7,35	0,35	0,47
36	12,50	10,10	2,40	11,10	1,00	0,42
37	9,30	7,40	1,90	10,50	3,10	1,63
38	12,80	9,50	3,30	10,50	1,00	0,30
39	10,15	6,50	3,65	9,80	3,30	0,90

Fonte: Base de dados do Cogerh – elaborado pelo autor.

Tabela 8 – Comportamento dos poços para o ano de 2019

Poço	NEo (m)	NEc (m)	Ascensão	NEs (m)	Depleção	Q
1	6,40	6,20	0,20	9,20	3,00	15,00
2	8,70	6,10	2,60	6,80	0,70	0,27
3	6,90	6,25	0,65	9,30	3,05	4,69
4	6,15	4,70	1,45	6,00	1,30	0,90
5	8,25	7,80	0,45	11,05	3,25	7,22
6	6,00	4,85	1,15	6,70	1,85	1,61
7	7,25	6,40	0,85	7,50	1,10	1,29
8	11,55	10,20	1,35	10,70	0,50	0,37
9	11,45	10,40	1,05	12,40	2,00	1,90
10	11,50	10,30	1,20	12,80	2,50	2,08
11	11,55	10,40	1,15	11,60	1,20	1,04
12	11,45	9,20	2,25	10,35	1,15	0,51
13	11,30	9,25	2,05	11,50	2,25	1,10
14	10,90	8,40	2,50	11,40	3,00	1,20
15	8,75	7,55	1,20	8,90	1,35	1,13
17	10,75	9,20	1,55	11,30	2,10	1,35
18	7,70	7,10	0,60	7,70	0,60	1,00
19	7,80	7,20	0,60	7,80	0,60	1,00
20	6,90	6,30	0,60	6,90	0,60	1,00
21	6,80	6,00	0,80	6,80	0,80	1,00
22	10,85	10,00	0,85	11,10	1,10	1,29
24	10,25	9,90	0,35	11,60	1,70	4,86
25	10,10	6,30	3,80	11,00	4,70	1,24
26	10,20	9,55	0,65	10,05	0,50	0,77
27	10,05	6,55	3,50	10,25	3,70	1,06
28	10,70	6,05	4,65	10,55	4,50	0,97
29	11,45	9,40	2,05	11,10	1,70	0,83
30	6,55	5,00	1,55	6,45	1,45	0,94
31	6,85	5,40	1,45	6,70	1,30	0,90
32	12,20	9,40	2,80	9,55	0,15	0,05
33	7,70	6,90	0,80	7,15	0,25	0,31
36	11,80	7,20	4,60	10,10	2,90	0,63
37	9,70	8,30	1,40	11,20	2,90	2,07
38	10,45	5,60	4,85	11,55	5,95	1,23
39	9,95	8,20	1,75	10,25	2,05	1,17

Fonte: Base de dados do Cogerh – elaborado pelo autor.

A seguir, na Tabela 9, estão as médias dos NE nos períodos iniciais, chuvoso e seco de cada ano, associado com suas médias de ascensão e depleção. Em destaque, tem-se o coeficiente de uso e recuperação média dos poços no ano juntamente com a precipitação pluviométrica anual.

Tabela 9 – Quadro de médias do comportamento dos poços de 2014 a 2019

Quadro de médias	2014	2015	2016	2017	2018	2019
NEo (m)	1,81	3,48	6,04	8,58	10,16	9,34
NEc (m)	1,37	2,99	5,70	8,10	7,98	7,64
Ascensão	0,44	0,50	0,34	0,49	2,18	1,69
NEs (m)	2,45	6,24	8,27	10,00	9,40	9,58
Depleção	1,08	3,26	2,57	1,91	1,42	1,94
Q	3,35	10,05	12,95	7,35	0,58	1,78
PPA (mm)	703,9	505,2	562,9	689,6	895,0	846,7

Fonte: Base de dados do Cogerh – elaborado pelo autor.

Diante do quadro de médias, é possível observar que no ano de 2015 ocorreu a maior depleção dos poços, com média de 3,26 m, associada a menor precipitação pluviométrica de todo o período. O coeficiente de uso e recuperação, que expressa a relação entre o quanto os poços foram explorados e o quanto foram recuperados, para este ano mostra que os poços foram explorados dez vezes mais do que tiveram de contribuição do período chuvoso. O ano de 2016 foi o que obteve maior índice do coeficiente, de 12,95, motivado pelos altos índices do ano anterior, seguido por um ano com baixas precipitações pluviométricas.

Destaca-se o ano de 2018 como o que obteve a maior precipitação pluviométrica anual de todo o período, superior também à média histórica. Para esse ano, vale ressaltar que foi obtida a maior ascensão média dos poços (2,18 m), sendo o único ano em que a ascensão média foi superior à depleção média, e o menor índice para o coeficiente de uso e recuperação (0,58). Tal índice permite a interpretação de que os poços, para o ano seguinte, obtiveram uma recuperação em seus NE.

De acordo com o estudo de Lima *et al.* (2021) em poços do PIMN, foi observada que a elevação dos níveis estáticos em 2019 foi resultante da precipitação de chuvas no ano anterior. Em janeiro de 2018, a média no nível estático dos poços foi de 9,98 m, ascendendo em média para 8,60 m no final do período chuvoso de 2018. Em janeiro de 2019, por sua vez, a média dos níveis estáticos era de 9,35 m, que mostra uma recuperação do lençol quando comparado ao mesmo período no ano anterior, com média de 9,98 m.

A chuva não é o único fator para justificar a recuperação dos poços nos anos chuvosos, porém é uma realidade da região que anos de boas chuvas significa menor exploração de águas subterrâneas.

Segundo Teixeira *et al.* (2013), estudando os NE dos poços do PIMN nos anos de 2010 e 2012, a oscilação dos NE ao longo dos anos não foi somente por conta da sazonalidade, mas também devido à água de retorno proveniente da irrigação, considerando as elevações de níveis no segundo semestre. No entanto, a maior contribuição é das chuvas, tendo em vista que a partir de 2013 cessou-se o fornecimento de água superficial para o PIMN, a qual contribuía significativamente para a elevação dos níveis estáticos no período da irrigação.

5 CONCLUSÃO

No período analisado, os poços apresentaram comparativamente, as maiores depleções e menores recuperações em seus níveis estáticos nos anos que a precipitação não alcançou a média histórica.

A interação entre o Rio Banabuiú e o aluvião foi constatada pelos valores de gradiente hidráulico, o qual era decrescente no sentido rio-aluvião no período chuvoso e crescente no mesmo sentido no período seco. Invertendo a rede de fluxo de um período para o outro.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, C. G. de; PONCIANO, I. de M.; MONTENEGRO, A. A. de A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Dinâmica de potenciometria e salinidade de aluvião no semi-árido pernambucano. **Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, São Paulo, 2008.
- ALBUQUERQUE, C. G. de. **Recarga de aquífero em aluvião no semiárido: estudo de caso de Pesqueira-PE**. 2013. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2013.
- ANDRADE, T. S.; SANTOS, E. S.; SILVA, J. R. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Análise da Recarga e da Condutividade Elétrica em Aluvião do Semi-Árido Pernambucano. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2007, São Paulo.
- ARAÚJO, J. C.; DOLL, P.; GUNTNER, A.; KROL, M.; ABREU, C. B. R.; HAUSCHILD, M.; MENDIONDO, E. M. Water scarcity under scenarios for global climate change and regional development in semiarid North eastern Brazil. **Water International**, v. 29, n. 2, p. 209-220, 2004.
- BARBOSA JÚNIOR, A. R. **Elementos de hidrologia aplicada**. Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia Civil. Ouro Preto, 2013.
- BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração de água no solo**. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 120 p.
- BRASIL, Ministério do Meio-Ambiente. Agência Nacional de Águas (ANA) **Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil**. Brasília, 2007.
- BRITO, A. P.; TOMASELLA, J.; WAHNFRIED, I. D.; CANDIDO, L. A.; MONTEIRO, M. T.; FILGUEIRAS, S. J. F. Relação entre precipitação e recarga de águas subterrâneas na Amazônia Central. **Águas Subterrâneas**, v. 34, n. 1, p. 39–49, 2020. DOI: 10.14295/ras.v34i1.29616.
- BURTE, J. D. P.; SCHRADER, G. O. **Relatório parcial das atividades – Projeto Pingo D’água**, Municipal de Quixeramobim – CE. Julho – 1999.
- BURTE, J. D. P. **Os pequenos aquíferos nas áreas cristalinas semiáridas: funcionamento e estratégias de gestão**. Estudo de caso no Nordeste brasileiro. 2008. 310 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.
- BURTE, J. D. P.; COUDRAIN, A.; MARLET, S. Use of water from small alluvial aquifers for irrigation in semi-arid regions. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 635-643, 2011.
- CARVALHO, L. L. S.; LACERDA, C. F.; LOPES, F. B.; CARVALHO, C. M.; SILVA, S. L. Diagnóstico dos usos das águas subterrâneas no Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú – Ce. In:

V Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação, 2018. **Anais do V Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação**. Sobral, 2018.

CORREIA, C. A. **A construção de cenários hidrológicos como ferramenta para solução de conflitos: o caso da bacia do rio Poti**. 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Ambiental) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

COSTA, M. R., MONTENEGRO, S. M. G. L, CIRILO, J. A., MAIA, A., COSTA NETTO, M. L. 2003. Avaliação da qualidade da água em fontes superficiais e subterrâneas da região semi-árida do Nordeste. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003, Curitiba. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: ABRH. v. 1, p. 463.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. 1. ed. Brasília: 2014. 112p.

GOMES, D. F.; FRISCHKORN, H. Aspectos da hidrodinâmica do aquífero aluvial do rio Jaguaribe, em Limoeiro do Norte Ceará. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 23, p. 45-68, 2009.

GOMES, D. F.; MOURA, I. B. M., FRISCHKORN, H.; SANTOS, D. M.; FREIRE, G. S. S. Estudo hidroquímico e isotópico (^{18}O) do aquífero aluvial do Rio Banabuiú - trecho Morada Nova - Ceará. **Revista de Geologia**, Fortaleza, n. 23, n. 1, 2010.

JOHNSON DIVISION. **Água subterrânea e poços tubulares**; tradução da primeira edição do original norte-americano, **Groundwater and Wells**, publicado pela UOP Johnson Division. Saint Paul. 2ªed. Ver. São Paulo, CETESB, 1966.

LIMA, E. B.; BORGES, D. M.; GÓES, G. B.; MARQUES, J. W. R.; FONTENELE, R. M. Acompanhamento do monitoramento qualitativo de poços artesianos do perímetro irrigado de Morada Nova, Ceará, em diferentes estações e anos. **Água e o Ambiente Construído**, Ponta Grossa, v. 1, cap. 6, p. 1-388–416, 2021.

MAIA, J. T. V. **Caracterização Hidrogeológica do Aluvião do rio Banabuiú – Ceará**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Ciências - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

MARENGO, J.A.; ALVES, L.M.; BESERRA, E.A.; LACERDA, F.F. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Campina Grande – PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. 40p.

MEDEIROS, S. S.; CAVALCANTE, A. de M. B.; PEREZ, A. M.M.; TINOCO, L. B. de M.; SALCEDO, I. H.; PINTO, T. F. **Sinopse do censo demográfico para o semiárido brasileiro**. Campina Grande: INSA, 2012. 103p.

MELO, E.C.S.; MELO, A.S.; MELO, E.G.S.; SILVA, T.L.V. Estudo da variabilidade da precipitação no estado de Pernambuco. **Revista de Geografia (UFPE)**, Recife, v.28, n.1, p.82-92, 2011.

MÖBUS, G.; SILVA, C. M. S. V.; FEITOSA, F. A. C. Perfil estatístico de poços no cristalino cearense. **Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste**, v. 3, p. 184-192, 1998.

MONTENEGRO, S. M. G. L. ; MONTENEGRO, A. A. A. ; MACKAY, R. Caracterização da variabilidade espacial de parâmetros hidráulicos em solos aluviais no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 4, n. 2, p. 3-20, 1999.

MONTENEGRO, S.M.; MONTENEGRO, A.A.; CAVALCANTE, T.; NASCIMENTO, J. (2003). Sazonalidade da Recarga Em Aluvião do Semi-Árido Pernambucano. in **Anais do XV Congresso Brasileiro de Recursos Hídricos**, Curitiba, 2003.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALMEIDA, T. A.; COSTA NETTO, M.L. Uso de águas subterrâneas para a sustentabilidade da pequena agricultura no semi-árido do nordeste do Brasil. **Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos**, 13 p., 2005.

MONTENEGRO, A. A. A. ; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima . Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 30-37, 2006.

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.

NNC – Netherlands National Committee. **Management of aquifer recharge and subsurface storage**. Making better use of our largest reservoir. Editors Albert Tuinhof e Jan Piet Heederik. Seminar Wageningen 18 - 19 Dezembro 2002.

PAIVA, P. V. V. **Análise econômico-social dos principais sistemas de produção no Perímetro Irrigado Morada Nova**. 125 f. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

PINHEIRO, J. C. V. **Valor econômico da água para irrigação no semiárido cearense**. Piracicaba. 1998. 195 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

SILVA, S. M. P. da. 2000. A distribuição espacial das reservas subterrâneas do nordeste e a Transposição do rio São Francisco. In: V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. 2003, Natal. **Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. Porto Alegre: ABRH. v. 5, p. 47-55, 2003.

SILVA, P. C. G. da; MOURA, M. S. B. de; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. de L.; PEREIRA, L. A.; SA, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. de C.; CUNHA, T. J. F.; GUIMARÃES FILHO, C.. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2010.

SILVA, M. J. da; QUEIROZ, M. G.; JARDIM, A. M. R. F.; ARAÚJO JUNIOR, G. N.; SILVA, T. G. F. Gradientes pluviométricos do estado de Pernambuco: Uma análise do Litoral ao Semiárido. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 03, p. 240-249, 2018.

SILVEIRA, R. N. C. M. **Aquífero Aluvionar como suporte à irrigação na bacia hidrográfica do Rio Curu**, Ceará. 2014. 89 f. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2014.

SILVEIRA, Renata Nayara Câmara Miranda et al. Reservas hídricas subterrâneas e contribuição à gestão dos recursos hídricos em aluviões no semiárido. **Geociências (São Paulo)**, v. 35, n. 4, p. 642-651, 2016.

TEIXEIRA, Z. A.; JÚNIOR, N. Q.; OLIVEIRA, G. N. D. de; SUCUPIRA, P. A. P., & FILHO, R. L. O. Monitoramento dos níveis estáticos de poços do perímetro irrigado de Morada Nova – Ceará, Brasil. **Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. 2008.

TEIXEIRA, Z. A.; SOUZA, A. L. M. de; ALBUQUERQUE, F. R. B.. Monitoramento do lençol freático do perímetro irrigado de Morada Nova, Ceará, Brasil. **Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 2013.

VASCONCELOS, S. M. S.; CORDEIRO, V.F.; MONTEIRO FILHO, C.G.; CAVALCANTE, I.N. Caracterização Hidrogeológica da aluvião do Rio Banabuiú, Morada Nova, Ceará, Brasil. **Revista de Geologia (UFC)**, Fortaleza, v. 23, n. 2, p. 182-190, 2011.