

Recursos hídricos subterrâneos em aluvião no semiárido nordestino: estudo de caso no Projeto de Irrigação Morada Nova, CE

Groundwater resources in an alluvial aquifer in the Northeastern semi-arid region: a case study in the Morada Nova Irrigation Project, CE

Recursos hídricos subterrâneos en suelos aluviales de la región semiárida del Nordeste: estudio de caso en el Proyecto de Irrigación Morada Nova, CE

Recebido: 18/01/2023 | Revisado: 30/01/2023 | Aceitado: 01/02/2023 | Publicado: 07/02/2023

José Wilson de Oliveira Magalhães

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3955-6167>

Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: jwmagalhaes96@gmail.com

Raimundo Nonato Távora Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6245-7768>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: mtcosta@ufc.br

Kenya Gonçalves Nunes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8996-1497>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: kenyagnunes@gmail.com

Renata Nayara Câmara Miranda Silveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3519-8649>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: eng.agro.renatnayara@gmail.com

José Alfredo de Albuquerque

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8723-7603>

Departamento Nacional de Obras Contra as Secas, Brasil

E-mail: alfredo.dnocs@gmail.com

Resumo

As chuvas irregulares e os anos de baixas precipitações pluviométricas são fatores importantes que levam os agricultores do semiárido a buscarem alternativas que possibilitem a continuidade das atividades de produção. O objetivo do estudo foi analisar o comportamento de poços na região semiárida, no Projeto de Irrigação Morada Nova, situado nos municípios de Morada Nova e Limoeiro do Norte – CE. Foram consideradas leituras mensais de nível estático dos poços durante os anos de 2014 a 2019. Os dados de nível estático foram tratados e organizados em gráficos e mapas de isoprofundidade para possibilitar a observação do comportamento do lençol durante período seco e chuvoso. A ascensão e depleção de cada poço ao decorrer do ano foi analisada por meio do coeficiente de uso e recuperação. Os gráficos e os mapas mostraram grande queda nos níveis estáticos dos poços principalmente no ano de 2015 e recuperação dos níveis no ano de 2018, melhor ano de chuvas; estendendo a recuperação até 2019. 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 ano de 2016, com o valor de coeficiente de 12,95. O ano de 2018 obteve o melhor coeficiente, com o valor de 0,58, e a média de ascensão dos poços de 2,18 m. Tais índices favoráveis justificam-se pela ocorrência de chuvas acima da média histórica da região, confirmando forte colaboração e interferência nos períodos chuvosos e secos.

Palavras-chave: Recarga; Poços; Águas subterrâneas.

Abstract

The irregular rainfall and the years of low rainfall are important factors that lead farmers in the semi-arid region to seek alternatives that enable the continuity of production activities. The objective of the study was to analyse the behaviour of wells in the semi-arid region, in the Morada Nova Irrigation Project, located in the municipalities of Morada Nova and Limoeiro do Norte - CE. Monthly readings of static level of the wells during the years 2014 to 2019 were considered. The static level data were treated and organized in graphs and iso-depth maps to enable the observation of the water table behavior during dry and rainy seasons. The rise and depletion of each well over the year was analysed using the use and recovery coefficient. The graphs and maps showed a large drop in the static levels of the wells mainly in the year 2015 and recovery of the levels in the year 2018, the best year of rainfall; extending the recovery until 2019. The

use and recovery coefficient made it possible to estimate how much was exploited of the wells during each year, highlighting the year 2015 with the highest depletion of the wells, with an average of 3.26 m, and the year 2016, with the coefficient value of 12.95. The year 2018 obtained the best coefficient, with the value of 0.58, and the average rise of the wells of 2.18 m. Such favorable indices are justified by the occurrence of rainfall above the historical average in the region, confirming strong collaboration and interference in the rainy and dry seasons.

Keywords: Recharge; Wells; Groundwater.

Resumen

La irregularidad de las precipitaciones y los años de escasas lluvias son factores importantes que llevan a los agricultores de la región semiárida a buscar alternativas que permitan la continuidad de las actividades productivas. El objetivo del estudio fue analizar el comportamiento de los pozos en la región semiárida, en el Proyecto de Irrigación Morada Nova, localizado en los municipios de Morada Nova y Limoeiro do Norte - CE. Se consideraron las lecturas mensuales del nivel estático de los pozos durante los años 2014 a 2019. Los datos del nivel estático se trataron y organizaron en gráficos y mapas de isoprofundidad para permitir la observación del comportamiento del nivel freático durante los periodos secos y lluviosos. El aumento y el agotamiento de cada pozo a lo largo del año se analizaron mediante el coeficiente de utilización y recuperación. Los gráficos y mapas mostraron un gran descenso de los niveles estáticos de los pozos principalmente en el año 2015 y recuperación de los niveles en el año 2018, el mejor año de precipitaciones; prolongándose la recuperación hasta 2019. El coeficiente de utilización y recuperación permitió estimar cuánto se explotó de los pozos durante cada año, destacando el año 2015 con el mayor agotamiento de los pozos, con una media de 3,26 m, y el año 2016, con el valor del coeficiente de 12,95. El año 2018 obtuvo el mejor coeficiente, con el valor de 0,58, y la elevación media de los pozos de 2,18 m. Tales índices favorables se justifican por la ocurrencia de precipitaciones superiores a la media histórica en la región, lo que confirma una fuerte colaboración e interferencia en los periodos lluvioso y seco.

Palabras clave: Recarga; Pozos; Agua subterráneas.

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 suscetibilidade aos fatores climáticos agravantes da região semiárida, há uma diminuição dos níveis de rios e reservatórios, conseqüentemente sendo explorado um grande volume dessas fontes e uma lenta recuperação advinda das chuvas que apresentam 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 Projeto de Irrigação 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 recursos hídricos subterrâneos a partir do ano de 2013, devido ao corte de fornecimento de água no PIMN, colocou 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 recargas significativas na região, o que drenou ainda mais do lençol, que ao passar dos anos apresenta níveis estáticos cada vez mais profundos.

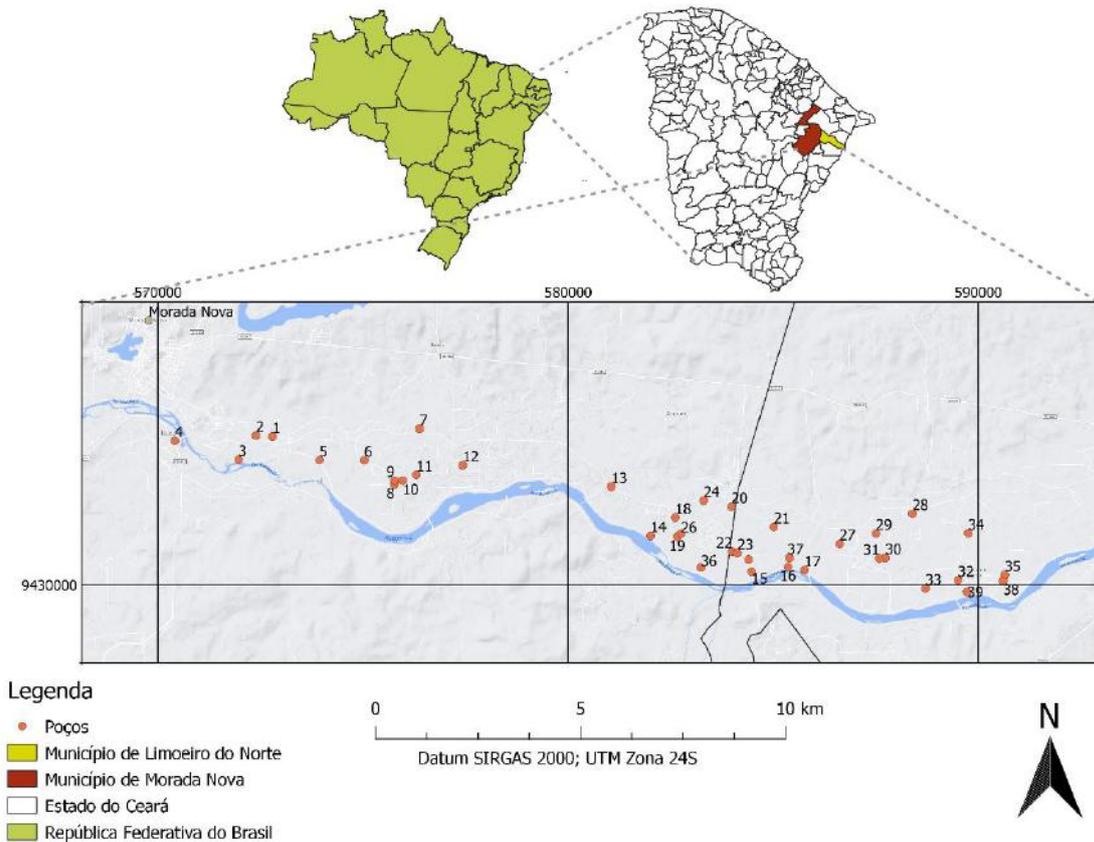
Com base no exposto, o estudo teve como objetivo geral analisar o comportamento dos níveis estáticos dos poços localizados no PIMN no período de 2014 a 2019, que inclui anos de grande estiagem e anos de bons índices pluviométricos. Especificamente, objetivou verificar o comportamento da recuperação dos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

2. Metodologia

2.1 Localização da área de estudo

O estudo foi realizado em poços aluviais no Projeto de Irrigação Morada Nova (PIMN), inserido nos municípios de Morada Nova e Limoeiro do Norte, Ceará, 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.



Distribuição espacial dos poços ao longo de toda a área do Projeto de Irrigação Morada Nova – PIMN. Fonte: Autores.

2.2 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. As coletas foram realizadas com o uso de um medidor de nível, monitorados 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.



Quadro de situação de dados de nível estático dos poços analisados no PIMN. Fonte: Autores.

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. Dessa 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.

Foram obtidos os dados de precipitação pluviométrica mensal por meio da estação meteorológica localizada no Projeto de Irrigação Morada Nova, pertencente ao Dnocs.

Na Tabela 1 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 1 – 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 pelos autores.

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.

2.2.1 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.

2.2.2 Mapas de isoprofundidade

Na elaboração dos mapas de isoprofundidade, 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.

2.2.3 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:

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

$$\text{DEP} = \text{NEs} - \text{NEc} \quad (2)$$

$$\text{ASC} = \text{NEc} - \text{NEo} \quad (3)$$

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:

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

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

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

3. Resultados e Discussão

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).

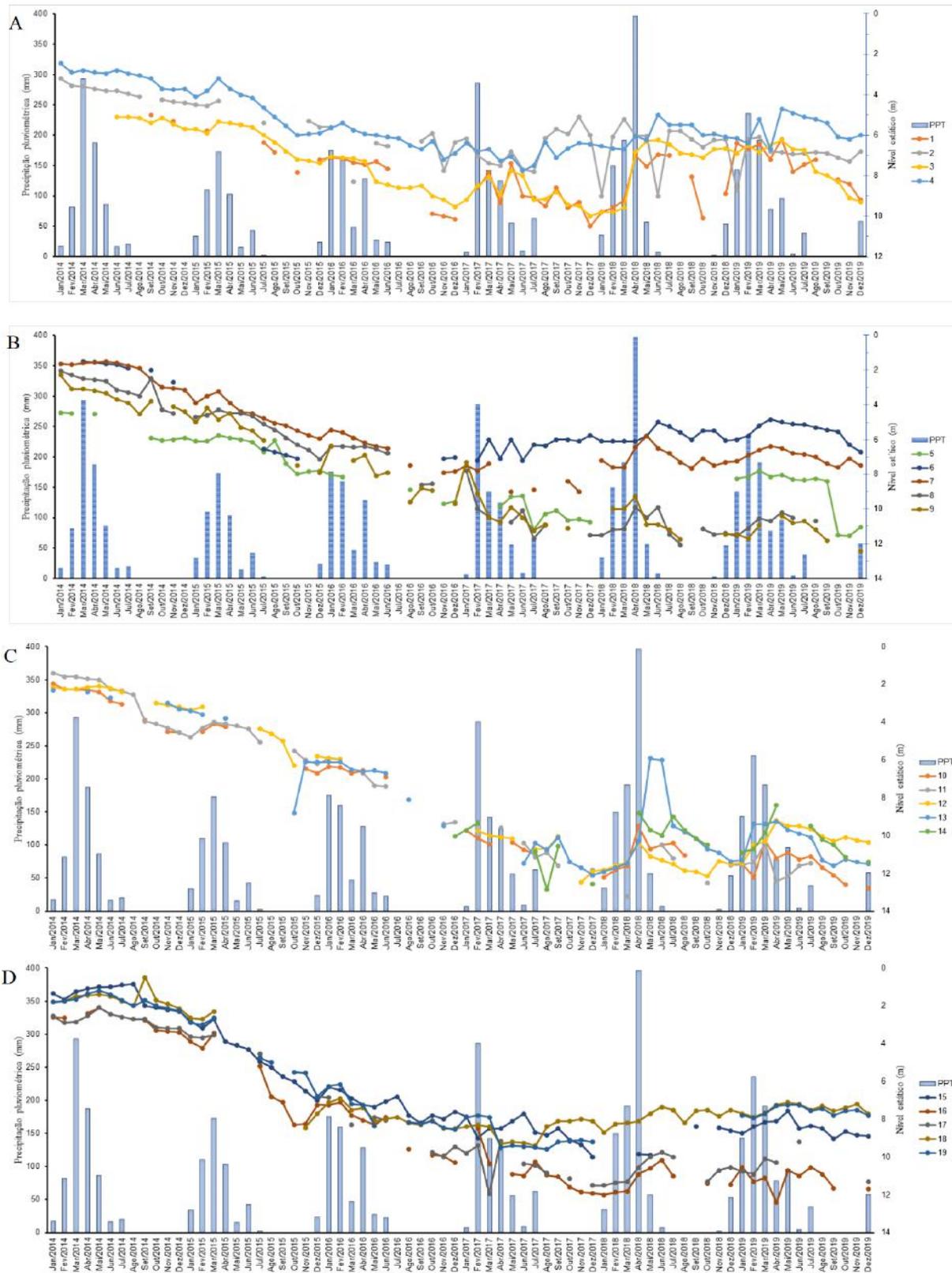


Gráfico com os níveis estáticos dos poços 1-19, juntamente com o volume de chuva em cada ano, mostrando respostas na elevação do nível estático dos poços em anos com maior volume de chuva. Fonte: Autores.

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

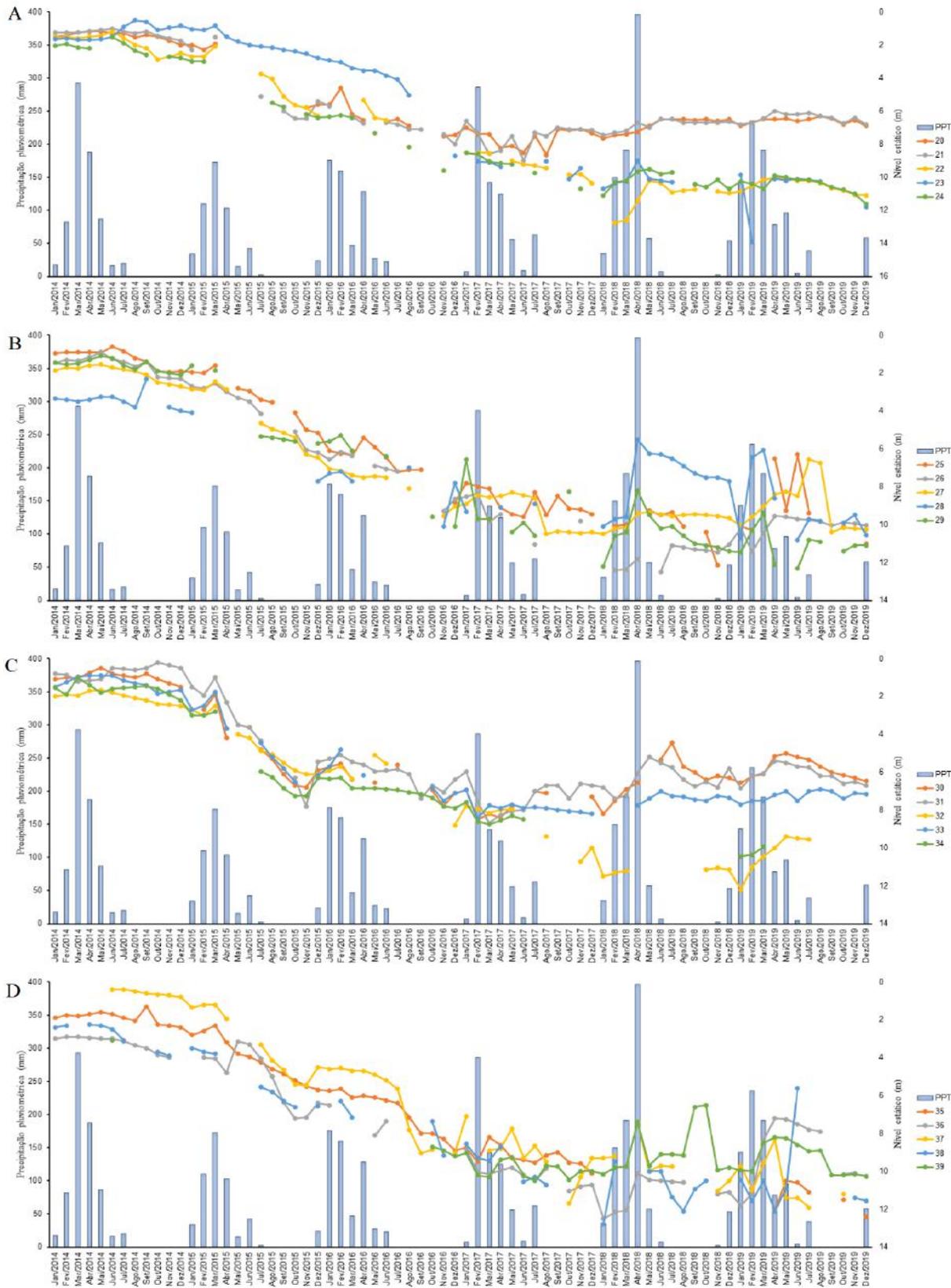


Gráfico com os níveis estáticos dos poços 20-39, juntamente com o volume de chuva em cada ano, mostrando respostas na elevação do nível estático dos poços em anos com maior volume de chuva. Fonte: Autores.

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 exploração 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. Seguindo 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.

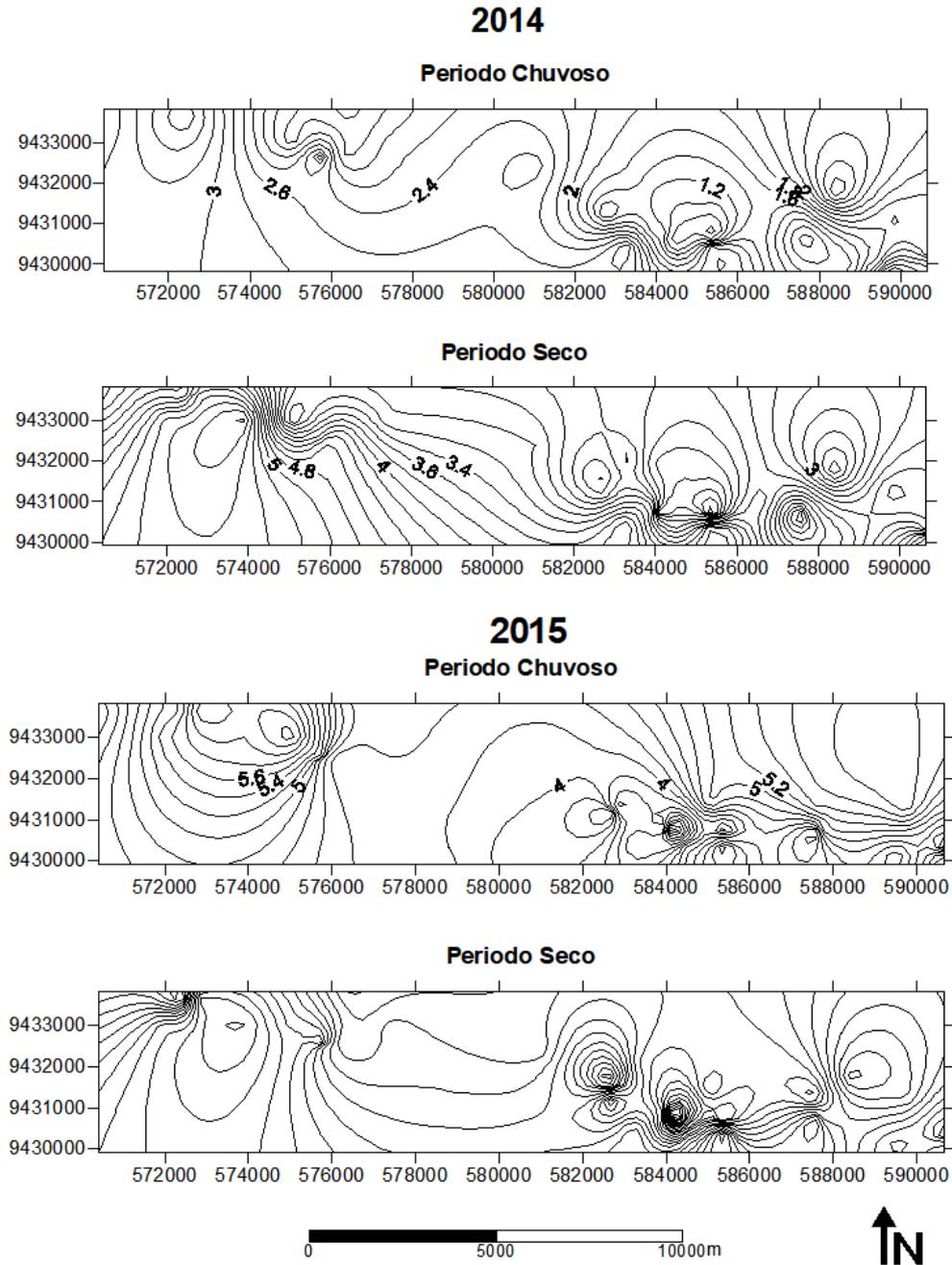
Brito et al. (2020) afirmaram que a diminuição da frequência de chuvas não diminui a recarga dos poços, pois a recarga é fortemente associada a diversos fatores físicos presentes na litologia de cada solo. Corroborando tais afirmações, Albuquerque et al. (2008), em seu estudo em aluvião, concluíram que 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 exploração 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 exploração de água subterrânea para uso nas atividades agrícolas da região. Tal padrão também é ressaltado no estudo realizado por Nunes et al. (2022), no PIMN.

Teixeira et al. (2013) relataram 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.

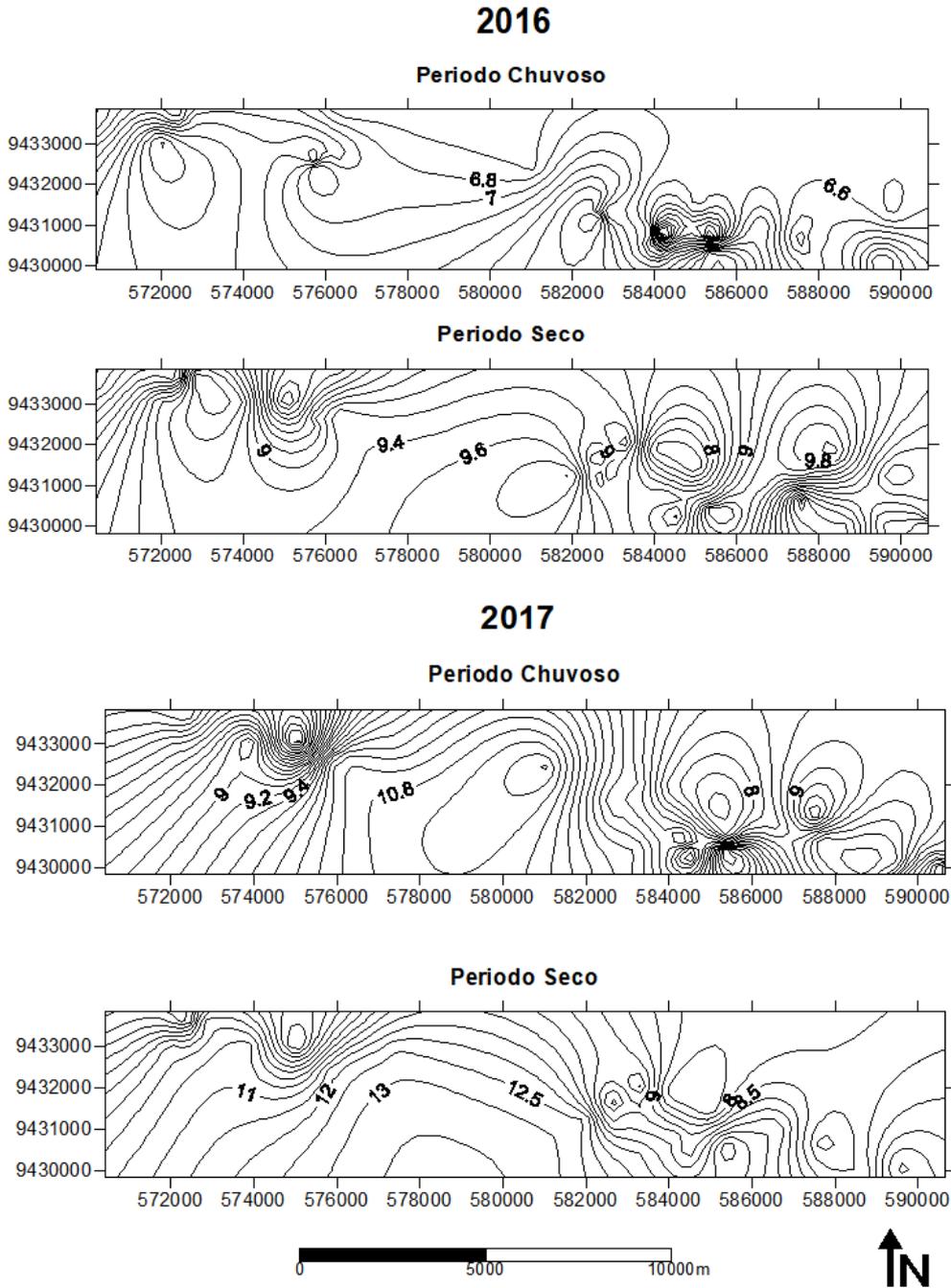
Nas Figuras 5, 6 e 7 os mapas de isoprofundidade dos anos analisados permitem a observação de regiões de concentração no nível estático dos poços principalmente no período seco.

Figura 5 – Mapa de isopropfundidade dos anos de 2014 e 2015.



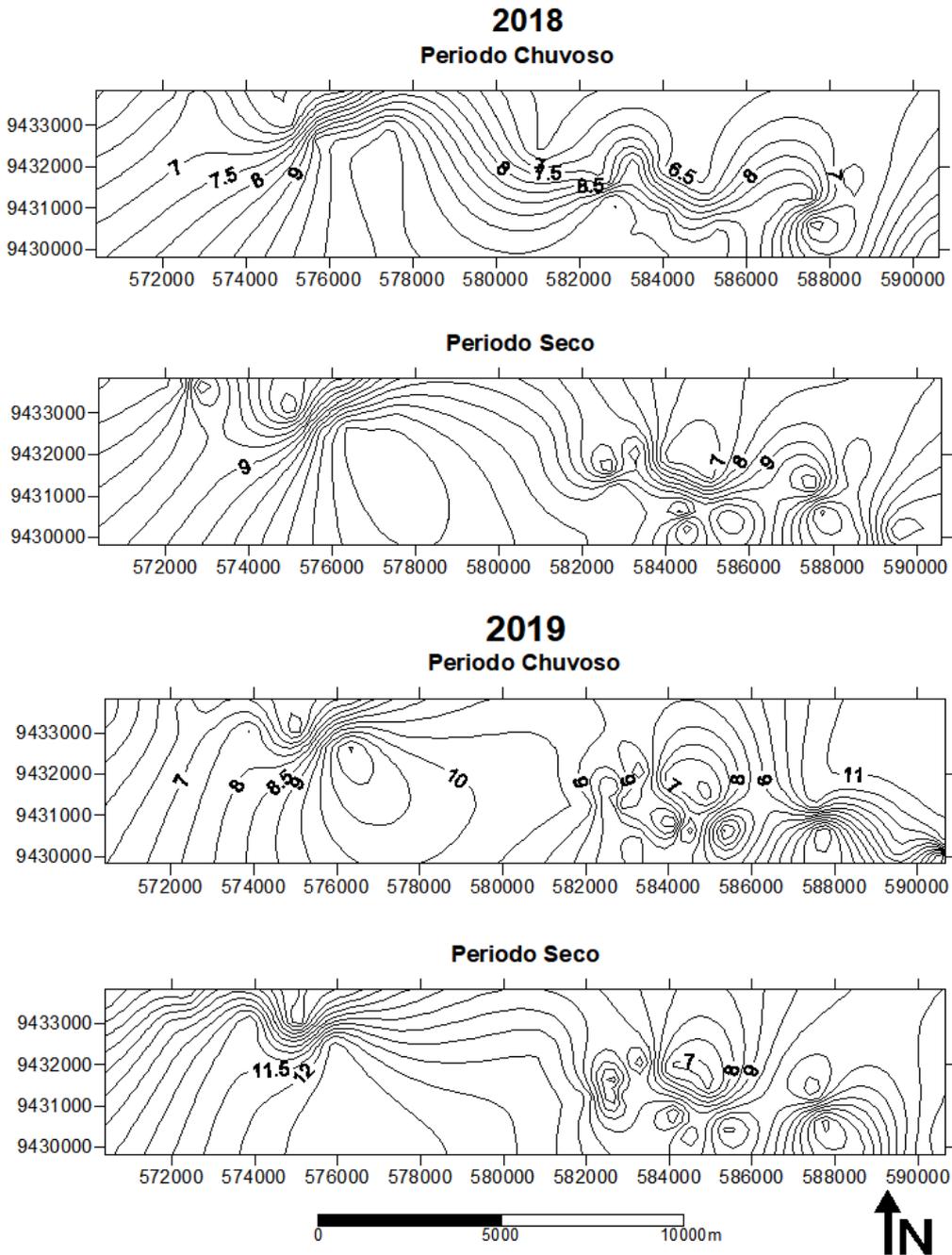
Comportamento dos poços nos anos de 2014 e 2015, em período chuvoso e seco. Fonte: Autores.

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



Comportamento dos poços nos anos de 2016 e 2017 em período chuvoso e seco. Fonte: Autores.

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



Comportamento dos poços nos anos de 2018 e 2019 em período chuvoso e seco. Fonte: Autores.

Gomes e Frischkorn (2009) observaram que na bacia do Baixo Jaguaribe 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 observada 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 Projeto de Irrigação Morada Nova eram observadas 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) ressaltaram 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 exploração da água, quantidade, fonte e área de recarga.

A seguir, na Tabela 2, 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 2 – 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 pelos autores.

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 esse 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, 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.

4. Conclusão

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

A interação entre o Rio Banabuiú e a 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.

O estudo para trabalhos futuros na região do PIMN é de grande importância, pois tem grande dependência do volume de chuvas do ano para o desenvolvimento do setor agropecuário presente na região.

Referências

- Brito, A. P., Tomasella, J., Wahnfried, I. D., Candido, L. A., Monteiro, M. T. & Filgueiras, S. J. F. (2020) Relação entre precipitação e recarga de águas subterrâneas na Amazônia Central. *Águas Subterrâneas*, 34(1), 39–49. [10.14295/ras.v34i1.29616](https://doi.org/10.14295/ras.v34i1.29616).
- Gomes, D. F. & Frischkorn, H. (2009) Aspectos da hidrodinâmica do aquífero aluvial do rio Jaguaribe, em Limoeiro do Norte Ceará. *Águas Subterrâneas*, 23, 45-68.
- Gomes, D. F., Moura, I. B. M., Frischkorn, H., Santos, D. M. & Freire, G. S. S. (2010) Estudo hidroquímico e isotópico (18O) do aquífero aluvial do Rio Banabuiú - trecho Morada Nova - Ceará. *Revista de Geologia*, 23(1).
- Lima, E. B., Borges, D. M., Góes, G. B., Marques, J. W. R. & Fontenele, R. M. (2021) Acompanhamento do monitoramento quali-quantitativo de poços artesianos do perímetro irrigado de Morada Nova, Ceará, em diferentes estações e anos. *Água e o Ambiente Construído*, 1, cap. 6, p. 1-388–416.
- Möbus, G., Silva, C. M. S. V. & Feitosa, F. A. C. (1998) Perfil estatístico de poços no cristalino cearense. *Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste*, 3, 184-192.
- Moura, I. B. M. (2008) *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.
- Nunes, K. G., Costa, R. N. T., Cavalcante, I. N., Gondim, R. S., Lima, S. C. R. V., & Mateos, L. (2022). Groundwater resources for agricultural purposes in the Brazilian semi-arid region. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26(12), 915-923. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n12p915-923>
- Silveira, R. N. C. M., Costa, R. N. T., da Silva Peixoto, F., de Sousa, H. G., Cavalcante, I. N., & de Oliveira, R. M. (2016). Reservas hídricas subterrâneas e contribuição à gestão dos recursos hídricos em aluviões no semiárido. *Geociências*, 35(4), 642-651.
- Teixeira, Z. A., Júnior, N. Q., Oliveira, G. N. D. de, Sucupira, P. A. P., & Filho, R. L. O. (2008) Monitoramento dos níveis estáticos de poços do perímetro irrigado de Morada Nova – Ceará, Brasil. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*.
- Teixeira, Z. A., Souza, A. L. M. de & Albuquerque, F. R. B. (2013) Monitoramento do lençol freático do perímetro irrigado de Morada Nova, Ceará, Brasil. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*.
- Vasconcelos, S. M. S., Cordeiro, V.F., Monteiro Filho, C.G. & Cavalcante, I.N. (2011) Caracterização Hidrogeológica da aluvião do Rio Banabuiú, Morada Nova, Ceará, Brasil. *Revista de Geologia (UFC)*, 23(2), 182-190.