



ANÁLISE DE DADOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DA BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE, CEARÁ

Rubens Oliveira da Cunha Júnior, Universidade Federal do Cariri (UFCA)
cunhajunior.rubens@gmail.com

Resumo

A água subterrânea é essencial para o desenvolvimento sustentável. Diante disso, o entendimento do comportamento deste recurso é importante para a gestão de recursos hídricos. Neste contexto, os dados de água subterrânea fornecem suporte à tomada de decisão. O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise de tendência e sazonalidade de dados de água subterrânea. Adotou-se como caso de estudo a bacia sedimentar do Araripe, no Estado do Ceará, Brasil. Os métodos usados foram análise descritiva, análise de correlação e decomposição de séries temporais do nível estático em poços de monitoramento. A metodologia adotada foi capaz de identificar e caracterizar a tendência e a sazonalidade nos dados. Os resultados obtidos podem contribuir para a gestão e caracterização da água subterrânea na área de estudo.

Palavras-chave: Decomposição STL, Semiárido, Análise de séries temporais.

1. Introdução

A água subterrânea é a principal fonte de água para diversas atividades humanas em muitos países, principalmente em regiões semiáridas. Por isso, o uso racional deste recurso é essencial para o desenvolvimento sustentável (ABDELKARIM *et al.*, 2022). Nesse contexto, o correto entendimento do comportamento da água subterrânea é importante para a gestão de recursos hídricos. Particularmente, os dados de água subterrânea fornecem meios para a caracterização dos sistemas aquíferos, avaliação da disponibilidade hídrica e previsão de cenários futuros (BALACCO *et al.*, 2022). Diante disso, a análise de séries temporais é uma alternativa robusta para o estudo dos dados de água subterrânea (SAKIZADEH *et al.*, 2019).

Uma série temporal de água subterrânea representa a resposta do sistema aquífero à recarga, ao fluxo de água subterrânea, às interações com as águas superficiais, entre outros. Portanto, pode-se decompor a série em componentes que estão relacionadas aos diferentes processos a originaram (COLYER *et al.*, 2022). Entre os métodos de decomposição, destaca-se a decomposição de Sazonalidade e Tendência usando *Loess* (STL) (CLEVELAND *et al.*, 1990). As técnicas de decomposição de séries temporais constituem uma importante ferramenta para a análise exploratória e descritiva, que tem sido empregada no estudo de séries ambientais e de água subterrânea (LFARE *et al.*, 2016).

O objetivo deste trabalho foi analisar a tendência e a sazonalidade da água subterrânea utilizando o método de decomposição STL. Adotou-se como caso de estudo a água subterrânea da bacia sedimentar do Araripe (BSA), no Estado do Ceará, região semiárida do Brasil. Para isto, realizou-se um estudo descritivo, uma análise de associação e a decomposição das séries



temporais diárias de níveis estáticos na BSA. A variabilidade espacial das componentes de tendência e sazonalidade foi avaliada. Uma vez que a BSA possui importância ambiental, social e econômica para a região em que está inserida e para o Estado do Ceará, o entendimento do comportamento da água subterrânea nesse território contribui para o processo de tomada de decisão na gestão, manejo e conservação de recursos hídricos.

2. Fundamentação teórica

2.1 Água subterrânea

A água subterrânea é a parcela de água do ciclo hidrológico que infiltra no solo e sofre a ação da gravidade até atingir uma profundidade onde todos os poros estão preenchidos com água. Representando cerca de 30% da água potável disponível no planeta, a água subterrânea é usada como fonte de água para atividades domésticas, industriais ou agrícolas em diversos países, sobretudo em regiões onde as águas superficiais são de difícil acesso, devido à boa qualidade das águas e ao custo de acesso relativamente baixo. Diante dos múltiplos usos da água subterrânea e da vulnerabilidade das reservas, são necessários meios para a sua avaliação e acompanhamento. Assim, o monitoramento é essencial, ao permitir o controle qualitativo e quantitativo deste recurso. No monitoramento quantitativo, o estado quantitativo dos corpos de água subterrânea é avaliado. As medidas dos níveis d'água em poços de monitoramento permitem acompanhar a evolução dos níveis da água. Particularmente, denomina-se por nível estático (NE) a profundidade da água dentro do poço em estado de repouso, medida a partir do solo. Sendo assim, o entendimento das variações dos níveis de água subterrânea é fundamental para avaliação da disponibilidade hídrica. Neste contexto, as abordagens baseadas em séries temporais são importantes para a modelagem da água subterrânea (FEITOSA, 2008; KARAMOUZ *et al.*, 2012; MANZIONE, 2015).

2.2 Análise de séries temporais

Uma série temporal é uma coleção de observações organizadas de forma sequencial ao longo do tempo. As séries temporais possuem natureza estocástica, isto é, contém componentes aleatórios que envolvem incertezas na sua determinação (BOX *et al.*, 2015). Por conta disso, são amplamente utilizadas em diversas áreas do conhecimento, inclusive em ciências hidrológicas (MAITY, 2018). Particularmente, por conta das variações aleatórias presentes nos diferentes fenômenos presentes no ciclo hidrológico, estes podem ser considerados processos estocásticos, ou seja, um conjunto de variáveis aleatórias indexadas no domínio do tempo. Portanto, a análise de séries temporais permite a representação, entendimento e previsão de processo hidrológicos (KARAMOUZ *et al.*, 2012).

As séries temporais hidrológicas geralmente exibem diferentes padrões, em decorrência de fatores naturais ou humanos. Entre as componentes das séries hidrológicas, destacam-se a tendência, a sazonalidade e as variações aleatórias (KARAMOUZ *et al.*, 2012). A tendência representa mudanças a longo prazo no valor da série e a sazonalidade são flutuações periódicas de frequência fixa. As variações que não podem ser explicadas pela tendência e sazonalidade



dão origem à componente aleatória, também conhecida como componente de erro ou resíduo (HYNDMAN; ATHANASOPOULOS, 2018). A identificação das componentes das séries temporais é importante em estudos hidrológicos (MAITY, 2018). Neste contexto, os métodos de decomposição permitem identificar e isolar as componentes que representam os padrões existentes nas séries temporais. Seja $y_t = y_1, y_2, \dots, y_n$ uma série temporal com n observações indexadas nos instantes de tempo t , uma decomposição do tipo aditiva assume que a série temporal resulta do efeito combinado de três componentes, conforme mostrado na Equação (1).

$$y_t = S_t + T_t + R_t \quad (1)$$

em que S_t , T_t e R_t representam respectivamente as componentes de sazonalidade, tendência e resíduo (HYNDMAN; ATHANASOPOULOS, 2018).

Existem diversos métodos de decomposição de séries temporais. Em especial, a decomposição de Sazonalidade e Tendência usando *Loess* (STL) é um método robusto e versátil desenvolvido por Cleveland et al. (1990). O método realiza uma decomposição aditiva através de uma sequência de aplicações do suavizador *Loess*. Trata-se de um método de suavização de séries temporais que realiza regressões polinomiais locais ponderadas em cada ponto da série, usando como variáveis explicativas os valores mais próximos (CLEVELAND; DEVLIN, 1988). O método STL permite o controle da suavidade da curva de tendência e das variações na sazonalidade, e é capaz de lidar com séries temporais sazonais com qualquer frequência sazonal maior que um. Este método tem sido utilizado no estudo da água subterrânea por autores como Lafare et al. (2016) e Colyer et al. (2022).

3. Metodologia

3.1 Área de estudo

O presente estudo foi aplicado na porção leste da bacia sedimentar do Araripe (BSA), no Estado do Ceará, Brasil. A área de estudo está inserida na região do Cariri cearense, uma região de planejamento localizada ao sul do estado do Ceará, e engloba a Região Metropolitana do Cariri (RMC). A RMC é formada pelos municípios de Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha, Jardim, Missão Velha, Caririaçu, Farias Brito, Nova Olinda e Santana do Cariri, possui extensão territorial de 5465,86 km² e uma população estimada de 612.956 habitantes em 2020 (IBGE 2020). A Figura 1 mostra a localização da área de estudo e os poços selecionados.

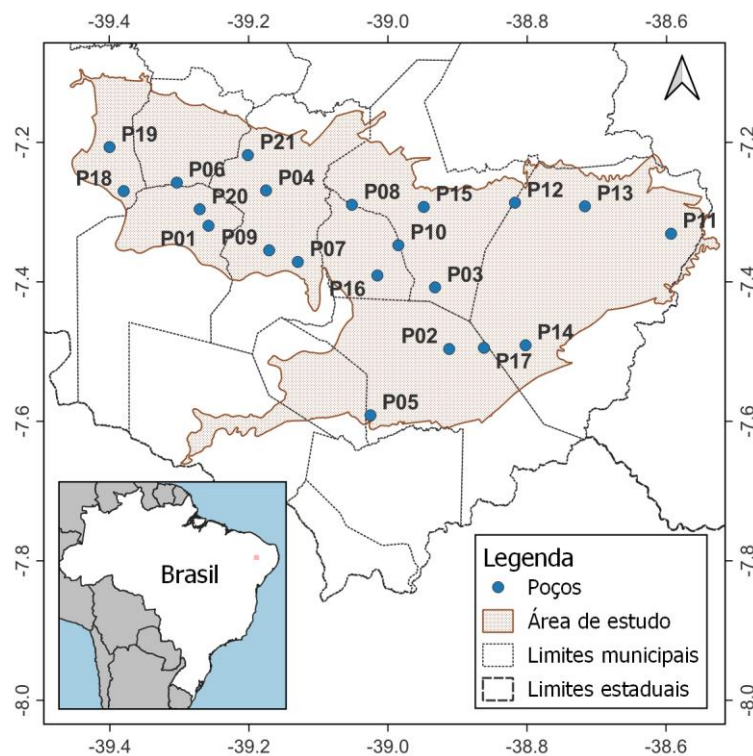
A área de estudo é abastecida predominantemente pela água subterrânea proveniente dos aquíferos da BSA. A BSA é a maior reserva de água subterrânea do Estado do Ceará. A sua hidrogeologia possui uma diversidade litoestratigráfica, que propicia a ocorrência de aquíferos, aquíferos e aquíclides, com variações e descontinuidades espaciais (FAMBRINI et al., 2020). Costuma-se adotar a seguinte divisão hidrogeológica da BSA:

- (i) Sistema Aquífero Superior, representado pelas formações Exu e Arajara;



- (ii) Aquiclude Santana, caracterizado pela formação homônima;
- (iii) Sistema Aquífero médio, representado pelas formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha;
- (iv) Aquiclude Brejo Santo, definido pela formação homônima; e
- (v) Sistema Aquífero inferior, determinado pela Formação Mauriti e parte basal da Formação Brejo Santo (COGERH, 2009).

Figura 1 – Localização da porção leste da bacia sedimentar do Araripe e poços selecionados



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O relevo da região é marcado por planalto e depressão, conhecidos respectivamente como a Chapada do Araripe e o Vale do Cariri. O clima é tropical quente semiárido brando, tropical quente e tropical quente sub-úmido (COGERH, 2009). As chuvas na região se caracterizam pela irregularidade interanual e variabilidade temporal e espacial. A precipitação média anual na região do Cariri é 700,0 mm e as chuvas se concentram na chamada estação chuvosa, que ocorre entre os meses de fevereiro a maio. Os meses de dezembro e janeiro formam a chamada pré-estação chuvosa (SILVA *et al.*, 2021).



3.2 Conjunto de dados

O conjunto de dados consistiu em 21 séries temporais do nível d'água diário medido em poços de monitoramento instalados na BSA. Os poços considerados são da Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS). Os dados foram obtidos do portal RIMAS na internet (<http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/>).

Os dados foram tratados quanto a valores faltantes. As eventuais falhas nas séries temporais foram preenchidas usando o método de imputação com decomposição (MORITZ; BARTZ-BEIELSTEIN, 2017). Neste método, a série com falhas é decomposta usando o método STL e a componente de sazonalidade é removida. Em seguida, aplica-se uma interpolação linear nas componentes restantes para se preencher as falhas. Por fim, as componentes são adicionadas de volta para se obter uma série completa. Este método tem sido usado por pesquisadores da área de água subterrânea, a exemplo de Sahu *et al.* (2020).

3.3 Análise de associação

Foi realizada uma análise de correlação para avaliar a forma como as séries temporais do conjunto de dados estão associadas entre si, por meio do coeficiente de correlação linear de Pearson (R). O coeficiente R assume valores entre -1 e +1. Para $R = -1$, diz-se que há correlação negativa máxima entre as variáveis. Valores de $R = +1$ significam uma correlação positiva máxima. Quanto a valores do coeficiente igual a zero, significa que não há associação linear entre as variáveis, mas pode haver correlação não linear (MAITY, 2018).

3.4 Análise de tendência e sazonalidade

O método de decomposição STL foi aplicado para descrever e avaliar as características da água subterrânea. A análise de tendência e sazonalidade se deu pela avaliação das componentes das séries temporais obtidas pelo método STL. A partir da relação entre as variabilidades das componentes, pode-se avaliar a tendência e a sazonalidade das séries temporais. Adotou-se o método proposto por Wang *et al.* (2006), em que a tendência e a sazonalidade podem ser calculadas pelas Equações (2) e (3), respectivamente.

$$FT = \max\left(0; 1 - \frac{\text{var}(R_t)}{\text{var}(T_t + R_t)}\right) \quad (2)$$

$$FS = \max\left(0; 1 - \frac{\text{var}(R_t)}{\text{var}(S_t + R_t)}\right) \quad (3)$$

em que FT é a tendência, FS é a sazonalidade, S_t , T_t , e R_t são respectivamente as componentes de sazonalidade, tendência e resíduo obtidas pelo método STL, e var indica as suas variâncias. As medidas FT e FS assumem valores entre 0 e 1, por isso as Equações (2) e (3) resultam no máximo valor ($\max$) dentro do intervalo [0; 1].



Neste método, os valores são calculados comparando-se a variância da componente de resíduo com as variâncias das demais componentes. No caso da tendência, considera-se a variância das componentes $T_t + R_t$, e para a sazonalidade, compara-se com a variância das componentes $S_t + R_t$. O valor de FS para séries com pouca sazonalidade será próximo de 0, enquanto em séries com forte comportamento sazonal, será mais próximo de 1. De forma semelhante, em séries com forte padrão de tendência, o valor de FT será próximo de 1, enquanto que em casos de pouca tendência, este valor será próximo de 0 (HYNDMAN; ATHANASOPOULOS, 2018).

3.5 Implementação computacional

Todas as análises e obtenção de resultados foram realizadas em linguagem de programação R. Utilizou-se o pacote *imputeTS* (MORITZ; BARTZ-BEIELSTEIN, 2017) para o preenchimento de falhas nas séries temporais e o pacote *tsfeatures* (HYNDMAN *et al.*, 2020) para a extração das componentes das séries temporais.

4. Resultados

4.1 Descrição do conjunto de dados

Os dados de água subterrânea da bacia sedimentar do Araripe (BSA) foram coletados e tratados quanto a valores faltantes. Todas as séries temporais apresentaram falhas, que foram preenchidas a fim de se obter séries completas. Segundo Asgharinia e Petroselli (2020), o problema das falhas em dados de água subterrânea é comum até mesmo em regiões que dispõem de redes de monitoramento instaladas e em operação. Os achados do presente trabalho evidenciam que isto também ocorre nos dados da BSA.

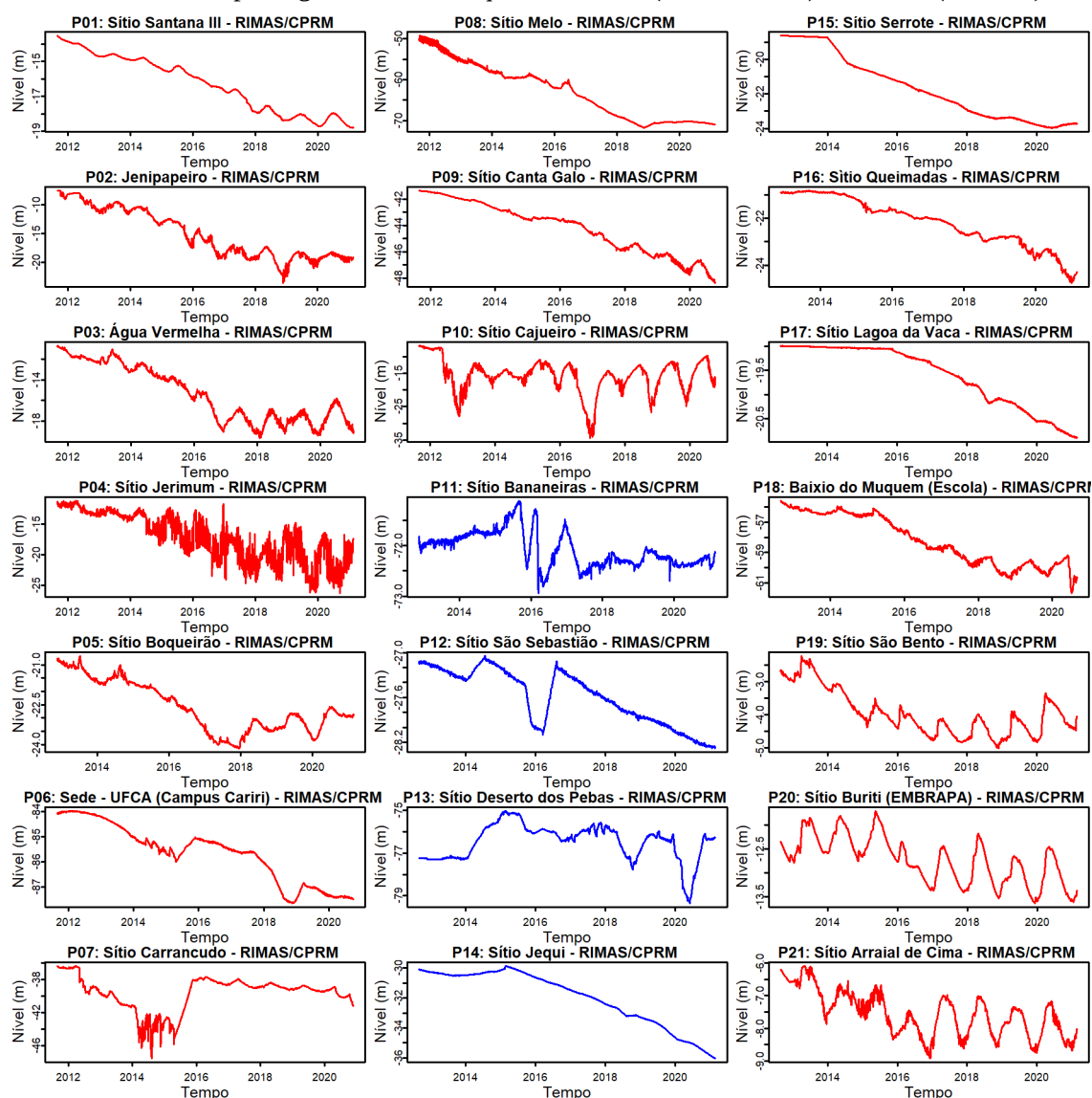
Os poços foram classificados quanto ao sistema aquífero em que estão instalados segundo as informações disponíveis no portal da RIMAS. A Figura 2 mostra os gráficos das séries temporais dos níveis d'água diários nos poços selecionados na BSA. As séries temporais foram identificadas de P01 a P21 e o nome do respectivo poço está indicado em cada gráfico. As séries em cor vermelha são dos poços do Sistema Aquífero Médio, e os gráficos em cor azul são dos poços do Sistema Aquífero Inferior.

As séries temporais mostradas na Figura 2 exibiram diferentes padrões, como rebaixamentos e variações periódicas dos níveis d'água. Observou-se que a maior parte das séries temporais apresentou um rebaixamento do nível d'água, considerando o final da série em relação ao início. O maior rebaixamento ocorreu na série P08, equivalendo a 20,6 m. Por outro lado, apenas em um poço foi observado um aumento do nível ao se comparar os valores inicial e final da série temporal, referente à série P13, com valor igual a 0,93 m. Este resultado corrobora os achados de outros estudos. Segundo o Boletim de Poços Monitorados no Cariri da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará – COGERH, os poços monitorados pelo órgão também apresentaram rebaixamentos expressivos dos níveis, em relação aos valores iniciais, considerando-se o comparativo de 10 anos de monitoramento, de 2009 a 2019 (COGERH, 2019).



Autores como Silva *et al.* (2021) destacam que apesar da importância da água subterrânea para a região do Cariri, os aquíferos da BSA encontram-se em situação de vulnerabilidade.

Figura 2 – Séries temporais de níveis diários de água subterrânea (medidos em metros) na bacia sedimentar do Araripe, segundo sistema aquífero: médio (cor vermelha) e inferior (cor azul)



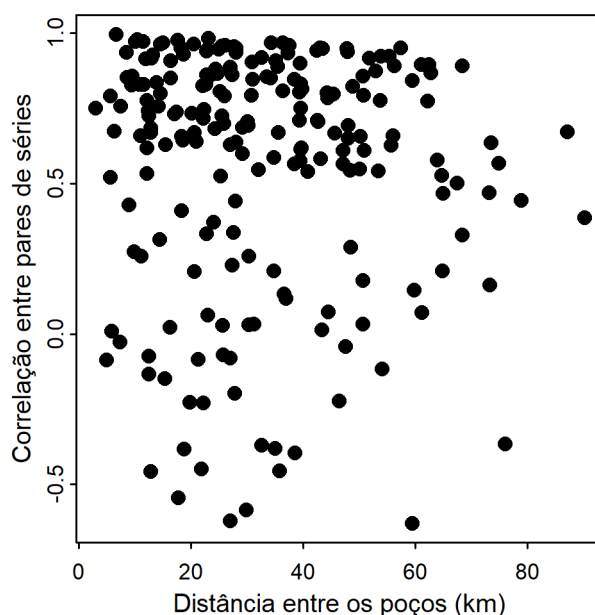
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).



4.2 Análise de associação

A análise de correlação foi realizada para avaliar a forma como as séries temporais estão associadas entre si, utilizando-se o coeficiente de correlação linear de Pearson (R). Considerando as 21 séries do conjunto de dados, foram obtidos 210 valores de R . No geral, identificou-se associação linear entre as séries analisadas, de forma que os valores de R variaram de -0,629 a 0,996, sendo positiva a maior parte das correlações entre pares de séries. Em seguida, a distribuição espacial das correlações entre as séries temporais na área de estudo foi avaliada. Para isto, considerou-se as distâncias geográficas entre pares de poços e as correlações entre as respectivas séries temporais em cada par de poços. A Figura 3 mostra o gráfico de dispersão do coeficiente de Pearson entre pares de séries e as respectivas distâncias entre os poços.

Figura 3 – Gráfico de dispersão dos coeficientes de correlação de Pearson entre pares de séries temporais de níveis diários de água subterrânea e as respectivas distâncias (medidas em km) entre os poços na bacia sedimentar do Araripe



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

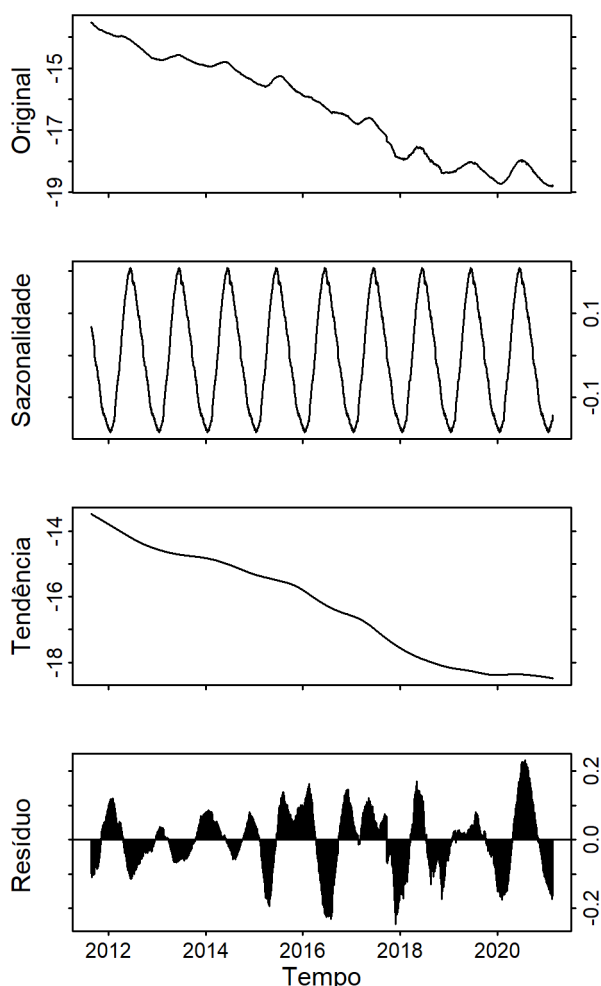
Calculou-se o coeficiente de correlação linear de Pearson para os pontos dispostos na Figura 3, obtendo-se o valor de -0,04. Este valor próximo de zero indica não haver correlação linear entre os pontos. Isto sugere que as variações temporais dos níveis de água subterrânea na BSA não estão associadas à distribuição espacial dos poços. Em outras palavras, poços mais próximos geograficamente não necessariamente apresentam correlação linear entre as variações temporais dos níveis d'água. Em estudos de Roshni *et al.* (2020), foram achados resultados semelhantes. Para a modelagem da água subterrânea, tais autores recorreram a técnicas de agrupamento de séries temporais em lugar de uma abordagem baseada em vizinhos mais próximos.



4.2 Análise de tendência e sazonalidade

Foi utilizada a decomposição STL para a identificação e análise das componentes de tendência e sazonalidade das séries temporais de níveis de água subterrânea na bacia sedimentar do Araripe (BSA). A Figura 4 mostra como exemplo a decomposição STL obtida para a série temporal P01, do poço Sítio Santana III. Na figura, a série original é exibida juntamente com as componentes de tendência, sazonalidade e resíduo.

Figura 4 – Decomposição de sazonalidade e tendência (STL) da série temporal P01



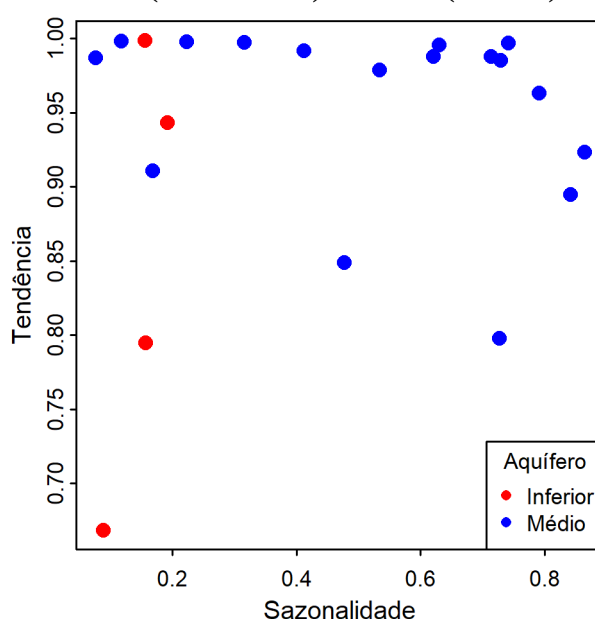
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Uma vez obtidas as componentes de todas as séries temporais, foi possível quantificar a tendência e a sazonalidade por meio da relação entre as variâncias das componentes, usando as Equações (2) e (3), respectivamente. A Figura 5 mostra o gráfico de dispersão dos valores de tendência (FT) e sazonalidade (FS) para cada série temporal. O eixo horizontal da figura mede



a sazonalidade e no eixo vertical estão dispostos os valores de tendência. Os pontos estão classificados segundo o sistema aquífero na BSA.

Figura 5 – Gráfico de dispersão dos valores de tendência e sazonalidade obtidos por meio da decomposição STL para todas as séries temporais de níveis diários de água subterrânea, segundo sistema aquífero: médio (cor vermelha) e inferior (cor azul) na BSA



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Considerando todas as séries temporais analisadas, os valores observados da tendência apresentaram-se variando de 0,67 a 0,99. Os valores da tendência obtidos relativamente elevados e próximos de 1 indicam que as séries temporais estudadas mostraram fortes padrões de tendência. Por outro lado, a sazonalidade mostrou uma maior variação, com valores entre 0,08 e 0,86. Isto sugere que algumas séries manifestaram variações sazonais enquanto outras mostraram um fraco padrão de sazonalidade.

A tendência identificada nas séries temporais reflete o rebaixamento do nível nos poços analisados, enquanto a sazonalidade observada pode estar associada à recarga do lençol freático. Segundo Manzione (2015), a recarga é um complexo fenômeno que sofre influência de diversos fatores, tais como as características do subsolo, o uso e ocupação do solo e a precipitação, entre outros. Como visto em algumas séries na Figura 2, as elevações periódicas dos níveis ocorreram no primeiro semestre de cada ano, sendo o período chuvoso na região.

Os poços do aquífero inferior apresentaram valores baixos para a sazonalidade, variando entre 0,09 e 0,19. Particularmente, isso sugere que não houve recarga anual significativa dos níveis d'água nos poços de monitoramento instalados sobre o aquífero inferior, mas apenas



rebaixamento dos níveis. Quanto aos poços do aquífero médio, pode-se observar valores elevados de sazonalidade. Isto indica haver recarga anual dos níveis nos poços do aquífero médio, apesar de a tendência ainda ser a principal componente nas séries temporais.

Os fortes padrões de tendência e o rebaixamento expressivo das séries temporais dos níveis podem estar relacionados ao consumo de água subterrânea na região de estudo (SILVA *et al.*, 2021). De fato, a água subterrânea é a principal fonte de água para a região do Cariri, no Estado do Ceará, sendo o aquífero médio o mais explorado (COGERH, 2009). Apesar de não haver bombeamento das suas águas, muitos dos poços de monitoramento analisados estão localizados em áreas urbanas. O rebaixamento observado nos poços selecionados pode indicar a situação geral de vulnerabilidade do estado quantitativo dos sistemas de água subterrânea BSA.

Um outro fator que pode estar associado ao rebaixamento dos níveis identificado trata-se da seca extrema que ocorreu na região semiárida do Brasil no período de 2010 a 2017 (BURITI *et al.*, 2020). Segundo São José *et al.* (2021), a referida seca pode ter sido causada por anomalias nas temperaturas superficiais nos oceanos Pacífico e Atlântico. Por outro lado, autores como Ashraf *et al.* (2021) apontam que as secas hidrológicas e meteorológicas podem impulsionar e intensificar o processo de rebaixamento dos níveis de água subterrânea.

5. Conclusões

No presente estudo, foi realizada uma análise dos dados de água subterrânea na bacia sedimentar do Araripe, no Estado do Ceará, Brasil. Observou-se rebaixamento dos níveis na maioria dos poços de monitoramento considerados. As séries temporais do conjunto de dados apresentaram correlação linear e as variações dos níveis mostraram-se independentes da distribuição espacial dos poços na área de estudo. O método de decomposição STL permitiu a identificação e caracterização das componentes de tendência e sazonalidade das séries temporais de níveis diários de água subterrânea. Os resultados obtidos podem contribuir para a caracterização e gestão dos recursos hídricos subterrâneos na região. Como trabalhos futuros, é interessante avaliar a aplicação de outros testes estatísticos para análise de tendência e sazonalidade de séries temporais de níveis na área de estudo.

7. Referências bibliográficas

ABDELKARIM, B.; TELAHIGUE, F.; AGOUBI, B. Assessing and delineation of groundwater recharge areas in coastal arid area southern Tunisia. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 18, p. 100760, 2022.

ASGHARINIA, S.; PETROSELLI, A. A comparison of statistical methods for evaluating missing data of monitoring wells in the kazeroun plain, fars province, Iran. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 10, p. 100294, 2020.

ASHRAF, S.; NAZEMI, A.; AGHAKOUCHAK, A. Anthropogenic drought dominates groundwater depletion in Iran. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 1-10, 2021.



BALACCO, G.; ALFIO, M. R.; PARISI, A.; PANAGOPOULOS, A.; FIDELIBUS, M. D. Application of short time series analysis for the hydrodynamic characterization of a coastal karst aquifer: the Salento aquifer (Southern Italy). **Journal of Hydroinformatics**, v. 24, n. 2, p. 420-443, 2022.

BOX, G. E.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C.; LJUNG, G. M. **Time series analysis**: forecasting and control. John Wiley & Sons, 2015.

BURITI, C. O.; BARBOSA, H. A.; PAREDES-TREJO, F. J.; KUMAR, T. V. L.; THAKUR, M. K.; RAO, K. K. Un Siglo de Sequías: ¿Por qué las Políticas de Agua no Desarrollaron la Región Semiárida Brasileña? **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 683-688, 2020.

COGERH. **Plano de Monitoramento e Gestão dos Aquíferos da Bacia do Araripe**: Estado do Ceará. Fortaleza, CE, 2009.

COGERH. **Boletim de Monitoramento dos Poços com Datalogger no Cariri - CE (Ano de 2019)**: Estado do Ceará. Fortaleza, CE, 2019.

CLEVELAND, R. B.; CLEVELAND, W. S.; MCRAE, J. E.; TERPENNING, I. STL: A seasonal-trend decomposition procedure based on loess. **Journal of Official Statistics**, v. 6, n. 1, p. 3–33, 1990.

CLEVELAND, W. S.; DEVLIN, S. J. Locally weighted regression: an approach to regression analysis by local fitting. **Journal of the American statistical association**, v. 83, n. 403, p. 596–610, 1988.

COLYER, A.; BUTLER, A.; PEACH, D.; HUGHES, A. How groundwater time series and aquifer property data explain heterogeneity in the Permo-Triassic sandstone aquifers of the Eden Valley, Cumbria, UK. **Hydrogeology Journal**, v. 30, n. 2, p. 445-462, 2022.

FAMBRINI, G. L.; SILVESTRE, D. C.; BARRETO JUNIOR, A. M.; SILVA-FILHO, W. F. Estratigrafia da bacia do araripe: estado da arte, revisão crítica e resultados novos. **Geologia USP. Série Científica**, v. 20, n. 4, p. 169–212, 2020.

FEITOSA, F. A. C. **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

HYNDMAN, R. J.; ATHANASOPOULOS, G. **Forecasting**: principles and practice. Melbourne, Australia: OTexts, 2018.

HYNDMAN, R.; KANG, Y.; MONTERO-MANSO, P.; TALAGALA, T.; WANG, E.; YANG, Y.; O'HARA-WILD, M. **tsfeatures**: Time Series Feature Extraction, 2020.



IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades@**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 15 jul. 2022.

KARAMOUZ, M.; NAZIF, S.; FALAHI, M. **Hydrology and hydroclimatology**: principles and applications. CRC Press, 2012.

LAFARE, A. E. A.; PEACH, D. W.; HUGHES, A. G. Use of seasonal trend decomposition to understand groundwater behaviour in the Permo-Triassic Sandstone aquifer, Eden Valley, UK. **Hydrogeology Journal**, v. 24, n. 1, p. 141-158, 2016.

MAITY, R. **Statistical methods in hydrology and hydroclimatology**. Springer, 2018.

MANZIONE, R. L. **Águas Subterrâneas**: conceitos e aplicações sob uma visão multidisciplinar. Jundiaí: Paco editorial, 2015.

MORITZ, S.; BARTZ-BEIELSTEIN, T. imputeTS: Time Series Missing Value Imputation in R. **The R Journal**, v. 9, n. 1, p. 207-218, 2017.

ROSHNI, T.; JHA, M. K.; DRISYA, J. Neural network modeling for groundwater level forecasting in coastal aquifers. **Neural Computing and Applications**, v. 32, n. 16, p. 12737–12754, 2020.

SAHU, R. K.; MÜLLER, J.; PARK, J.; VARADHARAJAN, C.; ARORA, B.; FAYBISHENKO, B.; AGARWAL, D. Impact of input feature selection on groundwater level prediction from a multi-layer perceptron neural network. **Frontiers in Water**, v. 2, p. 46, 2020.

SAKIZADEH, M.; MOHAMED, M. M.; KLAMMLER, H. Trend analysis and spatial prediction of groundwater levels using time series forecasting and a novel spatio-temporal method. **Water Resources Management**, v. 33, n. 4, p. 1425–1437, 2019.

SÃO JOSÉ, R. V.; COLTRI, P. P.; GRECO, R.; MELO, H. L. S.; SANTOS, K. A.; SOUZA, I. S. Seca extrema de 2012 no semiárido baiano e seus impactos: informações climáticas difundidas pela mídia. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 29, p. 414–439, 2021.

SILVA, M.; GONÇALVES, A.; LOPES, W.; LIMA, M.; COSTA, C.; PARIS, M.; FIRMINO, P.; DE PAULA FILHO, F. Assessment of groundwater quality in a Brazilian semiarid basin using an integration of gis, water quality index and multivariate statistical techniques. **Journal of Hydrology**, v. 598, p. 126346, 2021.

WANG, X.; SMITH, K.; HYNDMAN, R. Characteristic-based clustering for time series data. **Data mining and knowledge Discovery**, v. 13, n. 3, p. 335-364, 2006.