

Análise exploratória de dados de monitoramento de efluentes urbanos

Exploratory analysis of urban effluent monitoring data

• **Data de entrada:**
28/07/2021


• **Data de aprovação:**
26/12/2022


Augusto Ponciano Barbosa Da Silva^{1*} | Rui De Oliveira¹ | Ruth Silveira Do Nascimento¹ |
Cynthia Sany França Xavier¹ | Fernando Fernandes Vieira¹

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2023.065>


ORCID ID

Silva APB  <https://orcid.org/0009-0006-7768-9100>

Oliveira R  <https://orcid.org/0000-0002-1972-9809>

Nascimento RS  <https://orcid.org/0000-0002-1342-3075>

Xavier CSF  <https://orcid.org/0000-0002-4840-2653>

Vieira FF  <https://orcid.org/0000-0002-1823-6236>

Resumo

No intuito de explorar o comportamento da qualidade de águas residuárias urbanas, o trabalho buscou estabelecer padrões sazonais das relações entre a qualidade dessas águas e fatores ambientais, contribuindo no processo de sua gestão. Foram aplicados métodos de Análise de Agrupamento, Mann-Kendall e Box-Jenkins. Os dados foram obtidos de amostras de águas residuárias coletadas no Interceptor Leste do sistema de esgotamento sanitário de Campina Grande - PB, no período 1977-1989, e analisadas na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários. Foram observadas relações sazonais de indicadores de qualidade de águas residuárias e, a partir da análise de séries temporais, foi possível modelar o comportamento dos dados de precipitação e temperatura, além dos indicadores de qualidade das águas residuárias, com modelos considerados satisfatórios após avaliação de erros e resíduos, também descrevendo efeito sazonal em todas essas variáveis.

Palavras-chave: Mineração de dados. Gestão de recursos hídricos. Séries temporais.

Abstract

In order to explore the behavior of urban wastewater quality, the work sought to establish seasonal patterns of relationships between the quality of these waters and environmental factors, contributing to the management process. Grouping Analysis, Mann-Kendall and Box-Jenkins methods were applied. The data were obtained from wastewater samples collected in the East Interceptor of the sanitary sewage system of Campina Grande – PB, in the period 1977-1989, and analyzed in the Experimental Station of Biological Treatment of Sanitary Sewage. Seasonal relationships of wastewater quality indicators were observed and, based on the analysis of time series, it was possible to model the behavior of precipitation and temperature data, in addition to the wastewater quality indicators, with models considered satisfactory after evaluating errors and residues. , also describing the seasonal effect on all these variables.

Keywords: Data mining. Water resources management. Time series.

¹ Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) - Campina Grande - Paraíba - Brasil.

* **Autor correspondente:** augustopbds@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Devido ao processo deficiente da gestão de recursos hídricos existente na sociedade atual, faz-se necessário um conhecimento mais aprofundado e particular para cada bacia de drenagem, a fim de obter um diagnóstico sobre a qualidade dos seus recursos hídricos, tornando esse conhecimento uma ferramenta de extrema importância, uma vez que, a partir dessas informações, é possível inferir sobre as condições da bacia hidrográfica como um todo (QUEIROZ et al., 2010).

O monitoramento e a avaliação das águas são procedimentos que permitem a caracterização e a análise de tendências em bacias hidrográficas, sendo essenciais para atividades como planejamento, outorga, cobrança e enquadramento dos recursos hídricos (ANA, 2019). As características das águas residuárias variam sazonalmente e, também, de acordo com os hábitos e as situações socioeconômicas da população de cada região, requerendo a aplicação de métodos específicos de análise da variação de medidas de indicadores de qualidade em relação a fatores ambientais, econômicos e sociais, bem como fatores operacionais dos sistemas de esgotamento sanitário.

A monitoração da qualidade dessas águas residuárias por longos períodos produz grandes bancos de dados cuja complexidade também tem relação com o caráter estocástico de variações ao longo de séries de dados históricos. A análise dessas séries de dados pode requerer abordagens exploratórias com vistas à extração de informações específicas, compreensíveis e de utilidade para a gestão da qualidade dessas águas.

Métodos estatísticos multivariados têm sido citados como uma excelente ferramenta exploratória para a interpretação desses complexos conjuntos de informações. Trindade (2013) afirma que são comuns trabalhos empregando algumas dessas técnicas para extrair informações sobre as similaridades e as diferenças entre períodos e

pontos de amostragem da qualidade da água, reconhecer os fatores responsáveis pelas variações e tendências espaciais e temporais dessa qualidade, identificar as fontes de poluição de diferentes pontos de um corpo d'água, identificar e analisar as relações entre química da água, uso e ocupação do solo e geologia.

Para estudar séries temporais que sofrem influência das condições climáticas, Ferrari (2013) cita o teste de Mann-Kendall que, normalmente, é utilizado para verificar a ocorrência de tendências estatisticamente significativas em séries temporais. Uma das técnicas quantitativas mais difundidas para o estudo de séries temporais é a metodologia de Box-Jenkins, que parte da ideia de que cada valor da série temporal pode ser explicado por valores prévios, a partir do uso da estrutura de correlação temporal que geralmente há entre os valores da série.

Portanto, o estudo sobre a variação temporal da qualidade das águas residuárias, neste trabalho, representa uma contribuição científica relevante no âmbito da aplicação de técnicas multivariadas associadas a séries temporais para avaliar e desenvolver conhecimento sobre o comportamento das águas residuárias ao longo de uma série de treze anos, no município de Campina Grande, fornecendo, assim, subsídios técnicos consistentes que podem servir de orientação para estudos futuros.

2 OBJETIVO

Esse trabalho teve por objetivo desenvolver conhecimento sobre a variação temporal da qualidade de águas residuárias urbanas, por meio do levantamento de padrões de variação de dados com base em análise exploratória de dados históricos e da identificação dos principais fatores hidrológicos relacionados à variação do conjunto amostral de forma que fosse possível avaliar o desempenho de modelos de interpretação da variação da qualidade dessas águas.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo analisada será a porção do sistema de esgotamento sanitário da cidade de Campina Grande, estado da Paraíba, situada na bacia urbana do Prado, que possui uma área de 37,15 km² e um perímetro de 43,78 km, sendo composta por 9 sub-bacias, abrangendo, parcial ou totalmente, 22 bairros. As águas residuárias dessa bacia são transportadas pelo Interceptor Leste (Interceptor da Depuradora), do sistema de esgotamento sanitário de Campina Grande.

3.2 Evolução do sistema de esgotamento sanitário de Campina Grande

De acordo com CAGEPA (1985a e 1985b), o primeiro projeto de esgotamento sanitário de Campina Grande data de 1935, o qual era um sistema de separação absoluta e escoamento por gravidade, atendendo às regiões dos bairros da Prata, São José e Centro. Além do sistema de esgotamento, um projeto de uma estação de tratamento secundário de esgoto foi apresentado, denominada Estação Depuradora, já que nas imediações de Campina Grande não existe rio de elevada vazão capaz de suportar o lançamento direto dos despejos.

Entre os anos de 1969 e 1972, a CAGEPA contratou uma empresa para a elaboração de um novo projeto compreendendo a ampliação da rede de esgotamento, o reforço do sistema já existente, a construção dos interceptores da Depuradora e Bodocongó e a construção de uma estação de tratamento (CAGEPA, 1985). Segundo Almeida (2007) e Gomes (2013), o projeto foi dividido em duas etapas; a primeira teve início em 1973 e fim em 1974, sendo concluídos parcela da rede coletora, o Interceptor Leste ou da Depuradora, o emissário e duas lagoas aeradas. Na segunda etapa, realizada em 1984, foram iniciadas as obras do Interceptor Oeste ou do Bodocongó. Em

1985 uma segunda empresa foi contratada pela CAGEPA a fim de aprimorar a rede de esgotamento de Campina Grande, para atender, prioritariamente, 10 áreas até então não cobertas pelo sistema de esgotamento sanitário.

3.3 Dados obtidos para a análise da qualidade das águas residuária

As amostras que deram origem aos dados da série temporal de 13 anos (1977 a 1989), que foi analisada neste trabalho, tiveram como ponto de coleta um poço de visita do referido interceptor, no interior da Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários, localizada no município de Campina Grande - PB.

Estão dispostas nesse banco de dados 607 observações, em média, para cada um dos seguintes indicadores de qualidade de águas residuárias: DBO, nitrogênio amoniacal e sólidos suspensos totais.

O estudo hidrológico histórico da área se deu por meio da análise de dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a exemplo dos dados de precipitação e temperatura, tendo sido obtido um banco de dados com 225 observações registradas pela estação 82795 situada na cidade de Campina Grande, no bairro Centenário, com data de observação inicial em 28 de fevereiro de 1963 até 31 de dezembro de 1984.

3.4 Processo de análise do comportamento dos dados

Em uma abordagem inicial, os dados foram encontrados de forma desordenada no tempo e, para se ter uma homogeneidade nas amostras e facilidade nas análises, os mesmos foram distribuídos em médias mensais e os intervalos de tempo que não apresentavam análise alguma foram retirados da série, dando, assim, continuidade

de à metodologia com dados em médias mensais e com os intervalos de dados presentes.

A primeira intervenção no sentido interpretativo dos dados foi a estatística descritiva que colaborou na compreensão do comportamento, da tendência central e a dispersão dos dados. Essa etapa foi realizada com o auxílio do *software* Action. Na análise da série como um todo e de como as variáveis podiam estar relacionadas com os registros da evolução histórica foi realizada a análise de agrupamento para a verificação de comportamentos semelhantes de variáveis diferentes e de uma mesma variável em espaços de tempos distintos.

Simultaneamente a essa análise foi realizado o levantamento da tendência da série a fim de corroborar o entendimento do comportamento e a formulação de teorias a respeito do comportamento da série. Os dois métodos foram aplicados com o auxílio do *software* STATISTICA 12.

3.5 Metodologia das séries temporais

Ao adotar o método Box-Jenkins para analisar as séries temporais, pôde-se verificar o gráfico de autocorrelação (FAC), que indica a ordem da componente média móvel e se resume à comparação do dado atual com valores do passado, levando em conta a correlação de todos os valores significativos de um período, e o de autocorrelação parcial (FACP), que aponta a ordem da componente auto regressiva, e também é a comparação do valor atual com o valor passado, mas levando em conta apenas a correlação do valor mais significativo do período, do modelo ARIMA.

Caso os gráficos FAC e FACP apresentem sazonalidade significativa, as mesmas componen-

tes de média móvel e autorregressiva podem ser encontradas para a parte sazonal da série, tornando-se então um modelo SARIMA. Após o levantamento dos modelos possíveis, os mesmos serão avaliados de acordo com o AIC, MAE e MAPE para verificar o modelo que melhor se adequa, e posteriormente será realizada uma análise dos resíduos para verificar a interferência dos mesmos na modelagem da série e, por fim, é feita a previsão com o modelo escolhido. Toda a análise de séries temporais foi realizada com o auxílio do *software* R.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Processo de análise do comportamento dos dados da precipitação e da temperatura

Os dados de precipitação medidos pela estação OMM:82795 e de temperatura média mensal, para o período 1977 a 1984, foram fornecidos pelo INMET, e utilizando parâmetros estatísticos descritivos foi possível verificar que entre o 1º e 3º quartil, o que representa 75% do total dos dados amostrais, os dados de precipitação estão entre 14 e 85,4 mm, com temperatura variando entre 22,6 e 24,9°C.

Além disso, foi possível observar um desvio padrão de 53,6mm para a precipitação, indicando que os valores amostrais estão mais dispersos em torno da média. Por outro lado, o desvio padrão para temperatura foi de 1,4 °C; nesse caso, os dados estão mais próximos da média. Com base nos valores médios mensais, foram construídos os dendrogramas de similaridade para os meses do período estudado e os gráficos da precipitação e temperatura, ilustrados respectivamente pelas Fig. 1 e 2.

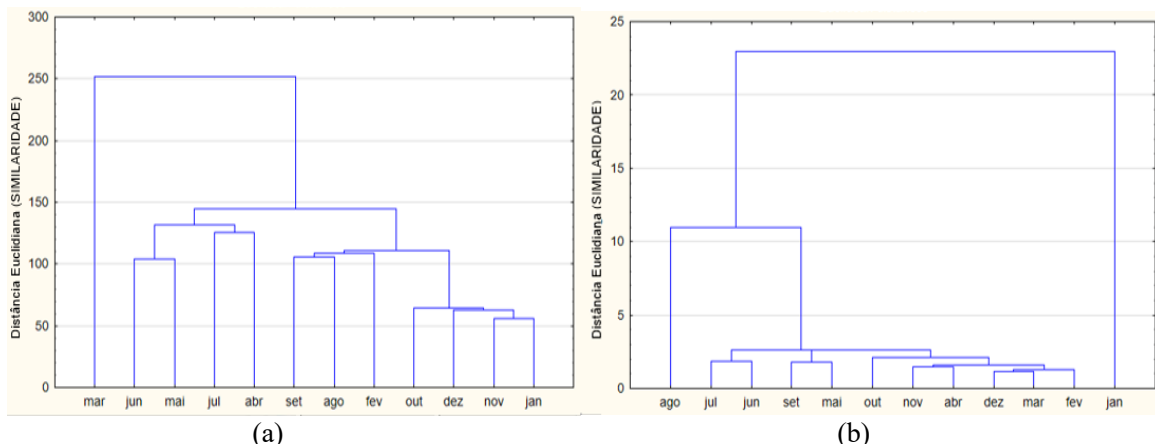


Figura 1 - Dendrograma referente aos anos de 1977 e 1984: (a) precipitação (b) temperatura

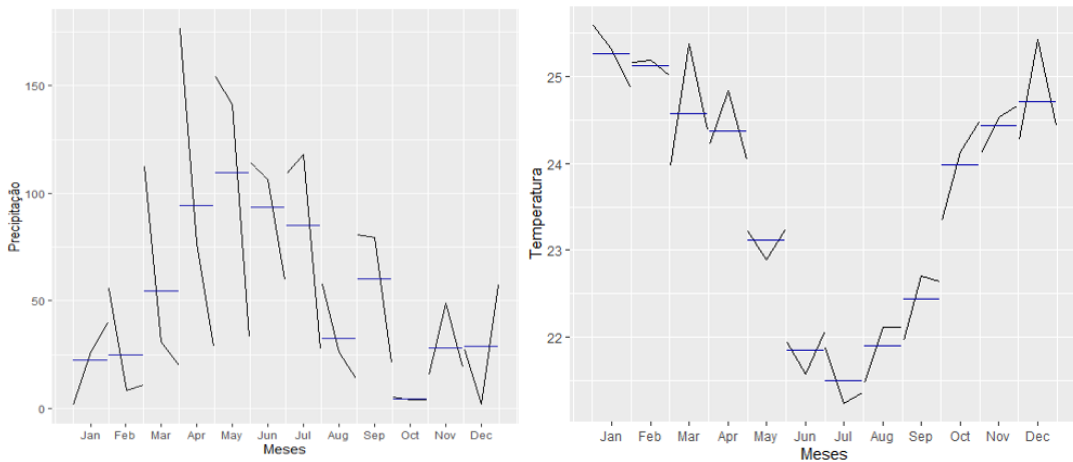


Figura 2 - Gráfico da precipitação média mensal e da temperatura entre os anos 1977 e 1984.

Analisando o dendrograma da precipitação, Fig. 1(a), é possível observar a formação de dois grupos distintos bem formados. O primeiro grupo corresponde aos meses que vão de abril a julho, que de acordo com o gráfico da precipitação média mensal são caracterizados por um período mais chuvoso; já o segundo grupo representa os meses que vão de agosto a fevereiro, apresentando características de menores índices de precipitação mensal. Por outro lado, o dendrograma da Fig. 1(b) não possibilitou a caracterização de uma divisão muito clara das estações do ano. Contudo, o gráfico da temperatura média ao longo dos meses (Fig. 2) para o período de anos estudado indica uma baixa na temperatura entre

os meses de junho a setembro, que compreende o período de inverno da região, seguido por um período em que a temperatura permanece constante ao longo dos meses do ano.

Cavalcante, Lucena e Moura (2019) descrevem o clima do agreste paraibano, com base na classificação de Köppen, como clima semiárido, apresentando elevadas temperaturas entre os meses de dezembro a maio e temperaturas mais amenas nos meses de junho, julho e agosto. Diniz (2013) realizou o estudo da variabilidade da precipitação no município de Campina Grande, por análise dos coeficientes de correlação, e observou que as maiores médias mensais de precipitação são verificadas entre os meses de maio e

julho, o que possivelmente explicaria os meses de menores temperaturas na região.

Na aplicação do teste de Mann-Kendall, exposto na Tabela 1, a presença de uma tendência estatisticamente significativa é avaliada utilizando o valor do índice ZMK. Além disso, um valor positivo de ZMK indica um aumento de tendência, enquanto um valor para ZMK negativo indica uma tendência decrescente.

Tabela 1 - Resultado do teste de Mann-Kendall para a precipitação e temperatura

	Precipitação	Temperatura
ZMK	-0,109543011	0,06024636
P-Valor	0,116652489	0,388883352

Com a aplicação do teste de Mann-Kendall ao analisar o p-valor do teste, é possível afirmar que em ambos os casos o p-valor calculado foi maior que o nível de significância ($\alpha = 0,05$), portanto a hipótese nula é aceita, indicando que não há tendência significativa na série, ou seja, não há mudança significativa no comportamento dos dados ao longo dos anos. Além disso, é possível

verificar que o teste indica uma tendência decrescente para a precipitação, de acordo com o valor do ZMK negativo, e uma tendência crescente para a temperatura.

Esse resultado pode ser explicado, possivelmente, em função de eventos meteorológicos comumente presentes na região analisada, como as modificações no uso do solo e as altas taxas de crescimento urbano experimentadas pelas cidades brasileiras de médio a grande porte causando alterações nos índices de precipitação.

Dantas, Santos e Olinda (2015) afirmam em seu trabalho que as temperatura mínima e máxima têm aumentado gradativamente ao longo das últimas décadas em Campina Grande, fato possivelmente relacionado à intensa expansão urbana na região associada ao aumento do número de ruas com pavimentação asfáltica e redução de áreas com cobertura vegetal.

Como o teste de Mann-Kendall é um teste não paramétrico e que não é influenciado por pequenas alterações nos dados, analisaram-se os gráficos da decomposição, conforme demonstrado na Fig. 3.

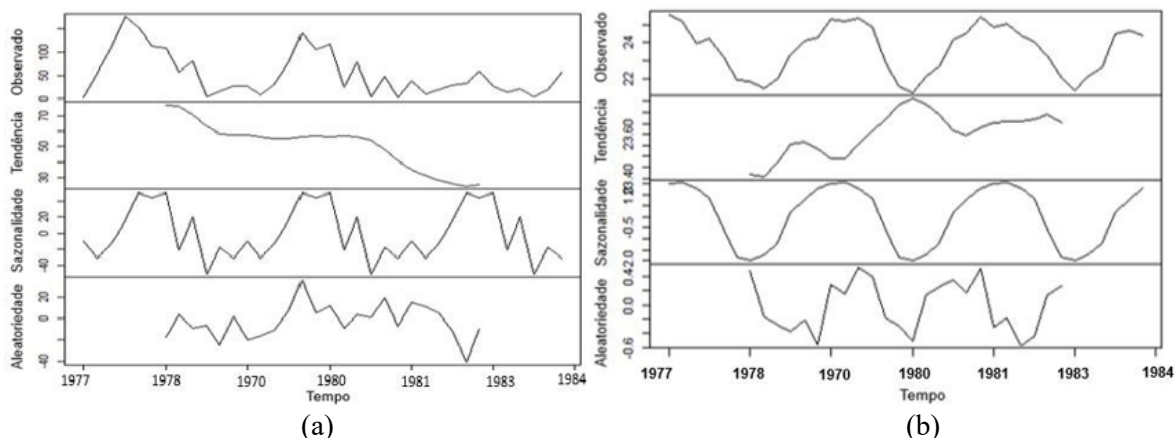


Figura 3 - Gráficos da decomposição: (a) dados de precipitação (b) dados de temperatura

Ao decompor a série temporal, observa-se o efeito da tendência decrescente para precipitação (Fig. 3a) e uma tendência com comportamento crescente para a temperatura ao longo do tempo, mas com certa estabilidade durante o ano de 1979 indicando pouca variabilidade dos dados e o efeito sazonal característico da série (Fig. 3b). O efeito sazonal da temperatura apresenta uma diminuição nos períodos de maior precipitação mensal indicando possível correlação entre as variáveis.

Dantas, Santos e Olinda (2015) realizaram uma pesquisa envolvendo as tendências anuais e sazonais nos extremos de temperatura do ar e precipitação na cidade de Campina Grande - PB entre os anos de 1975 e 2011 e detectaram que a precipitação não apresentava tendência estatisticamente significativa para o resultado encontrado. Além disso, verificaram que a ausência

de tendências com valor significativo para os índices anuais de precipitação pode estar relacionada à irregularidade das chuvas sobre a região estudada, apresentando alta variabilidade espaço-temporal.

Observando os gráficos FAC e FACP da série temporal do indicador precipitação (Fig. 4a), e sabendo pelo teste Dickey-Fuller aumentado que a série só se torna estacionária após a primeira diferenciação com p-valor igual a 0,03 e comparando os resultados do AIC, MAE e MAPE de cada modelo, chegou-se a um melhor ajuste no modelo SARIMA (3,1,1) (0,1,0)₁₂. Por outro lado, os gráficos FAC e FACP da série temporal para temperatura (Fig. 4b) indicam que a série já é estacionária em p-valor igual a 0,01. E, nesse caso, o modelo mais ajustado aos dados foi o SARIMA (1,0,0)(1,1,0)₁₂.

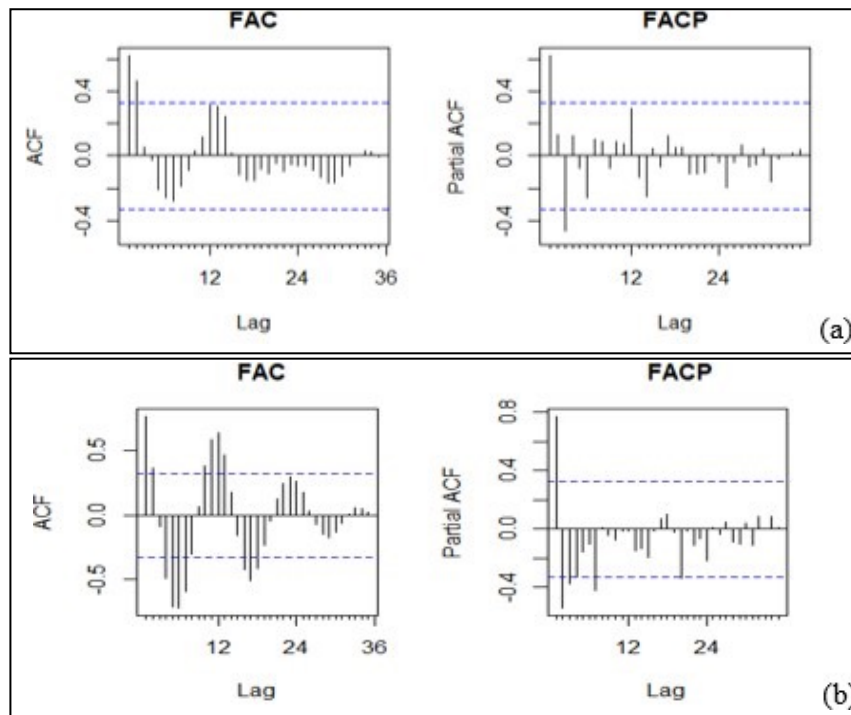


Figura 4 - Gráficos do FAC e FACP para os dados de: (a) precipitação (b) temperatura.

Por fim, foi realizada a análise dos resíduos do modelo SARIMA (3,1,1) (0,1,0)₁₂ e SARIMA (1,0,0)(1,1,0)₁₂, bem como a previsão com o mo-

delo proposto para a precipitação e temperatura, dos seis meses seguintes, demonstradas nas Fig. 5 e 6, respectivamente.

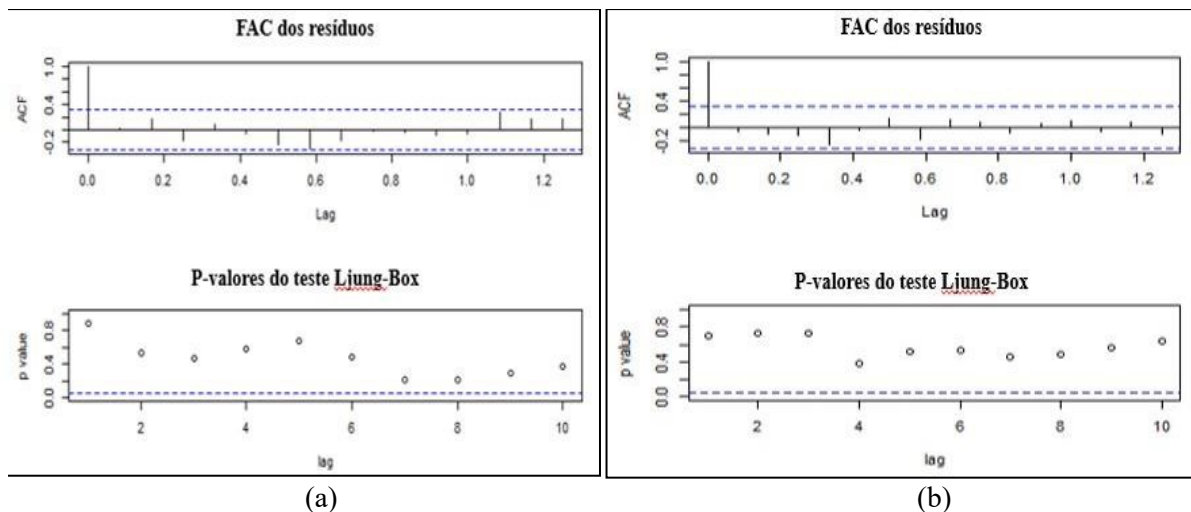


Figura 5 - Análise dos resíduos do modelo proposto para os dados de: (a) precipitação (b) temperatura

Analisando o gráfico 5a e 5b, é possível verificar que os resíduos do modelo não evidenciam nenhum padrão, ou seja, não apresentam autocorrelação, o que é reforçado pelo teste estatístico de Ljung-Box.

Conclui-se que os resíduos são não autocorrelacionados, confirmando a boa adequação do modelo à série em questão. Logo, ambos os modelos podem ser utilizados para fazer previsões futuras.

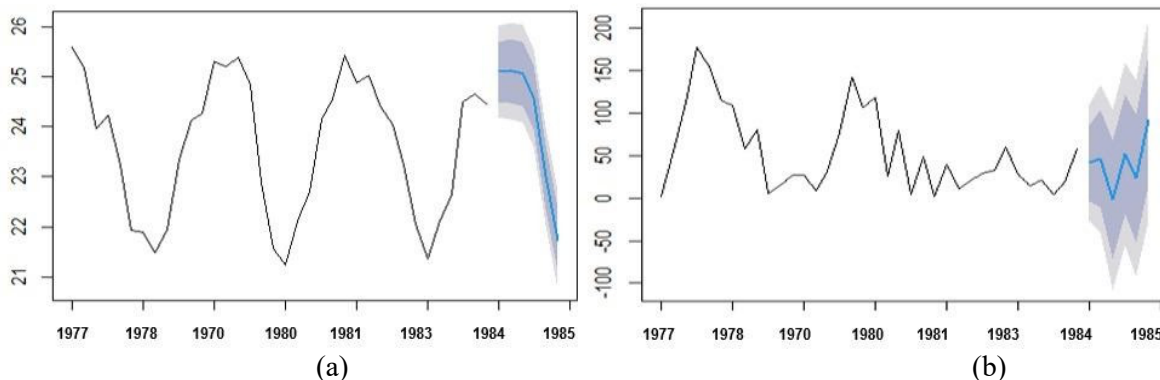


Figura 6 - Previsão com o modelo proposto para os dados de: (a) precipitação (b) temperatura

Na Fig. 6a temos a série temporal do indicador precipitação e, em destaque, as previsões para os 6 meses seguintes, seguindo o modelo SARIMA (3,1,1) (0,1,0)₁₂. Por outro lado, na Fig. 6b está apresentada a série temporal do indicador temperatura, em que se pode perceber um decaimento de temperatura média mensal nos seis meses seguintes.

O período de seis meses foi adotado tomando como base o planejamento para ações em curto prazo, lembrando que, quanto maior o período de previsão, mais distorcido o valor pode ser do valor real. É possível verificar que as previsões geradas pelo modelo fornecem estimativas razoáveis.

4.1 Análise do comportamento dos dados de qualidade de águas residuárias urbanas

A partir dos parâmetros estatísticos descritivos para os valores dos dados de DBO, nitrogênio amoniacal e Sólidos Suspensos Totais (SST) do período compreendido de 1977 a 1989, verificou-se que entre o 1º e 3º quartil os dados de DBO, nitrogênio amoniacal e SST apresentaram

um desvio padrão de 90,4 mg.L⁻¹, 10,1 mgN.L⁻¹ CaCO₃.L⁻¹ e de 99,2 mg.L⁻¹, respectivamente, indicando a alta dispersão dos valores amostrais em torno da média amostral.

Com base nos valores anuais foi construído o dendrograma de similaridade para período estudado, como pode ser verificado na Fig. 7.

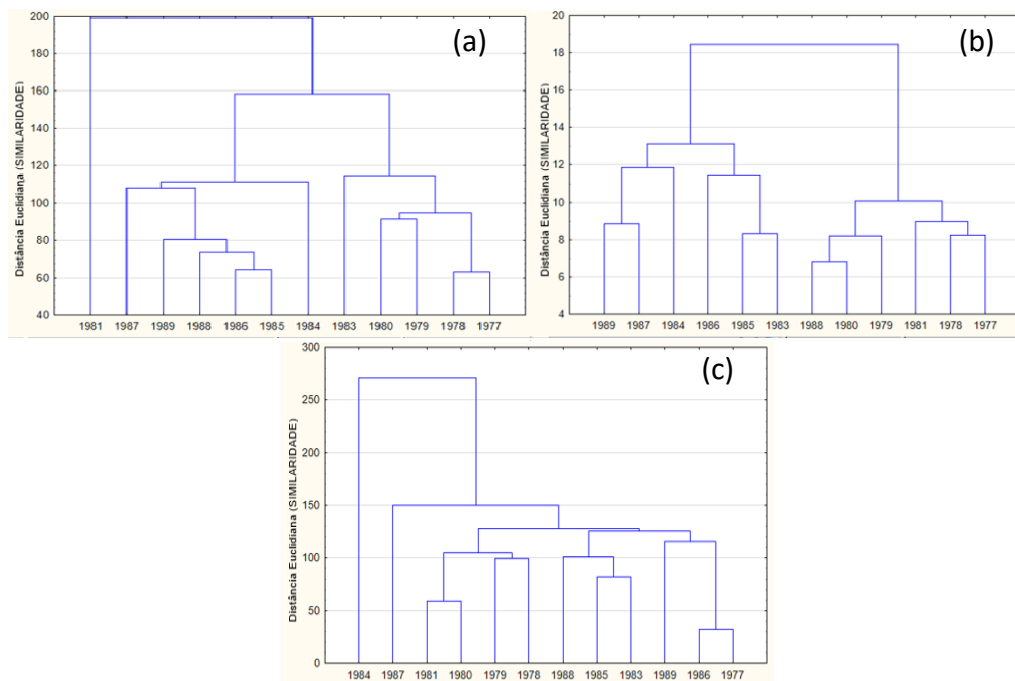


Figura 7 - Dendrograma referente ao período de 1977 a 1989 para: (a) DBO (b) nitrogênio amoniacal (c) SST.

A análise de agrupamentos (clusterização) para os dados do indicador de qualidade DBO permite a observação de dois grupos distintos, em que o primeiro grupo compreende os anos de 1984 a 1989 e o segundo grupo os anos de 1977 a 1980 e o ano de 1983. Para os dados do indicador nitrogênio amoniacal foram observados dois grupos distintos. O primeiro grupo é formado pelos anos de 1983 a 1987 e o ano de 1989, e no segundo grupo estão os anos de 1977 a 1981 e o ano de 1988. Na clusterização dos dados para indicador SST é possível perceber a formação de 3 grupos distintos. O primeiro grupo apresenta os anos de 1978 a 1981; o segundo grupo, os anos de 1983,

1985 e 1988; e o terceiro grupo é formado pelos anos 1977, 1986 e 1989. É importante notar que dentro dos grupos ainda existem particularidades que deixam um ano ligado ao outro de forma mais próxima, indicando que eles apresentam características semelhantes entre si. Por seu turno, a distinção entre alguns grupos de anos pode ser atribuída a alterações na malha de transporte desses efluentes, a exemplo de expansões na rede, com a integração de novas contribuições.

De forma semelhante, foi realizado o dendrograma das médias mensais das variáveis para o mesmo período analisado (Fig. 8).

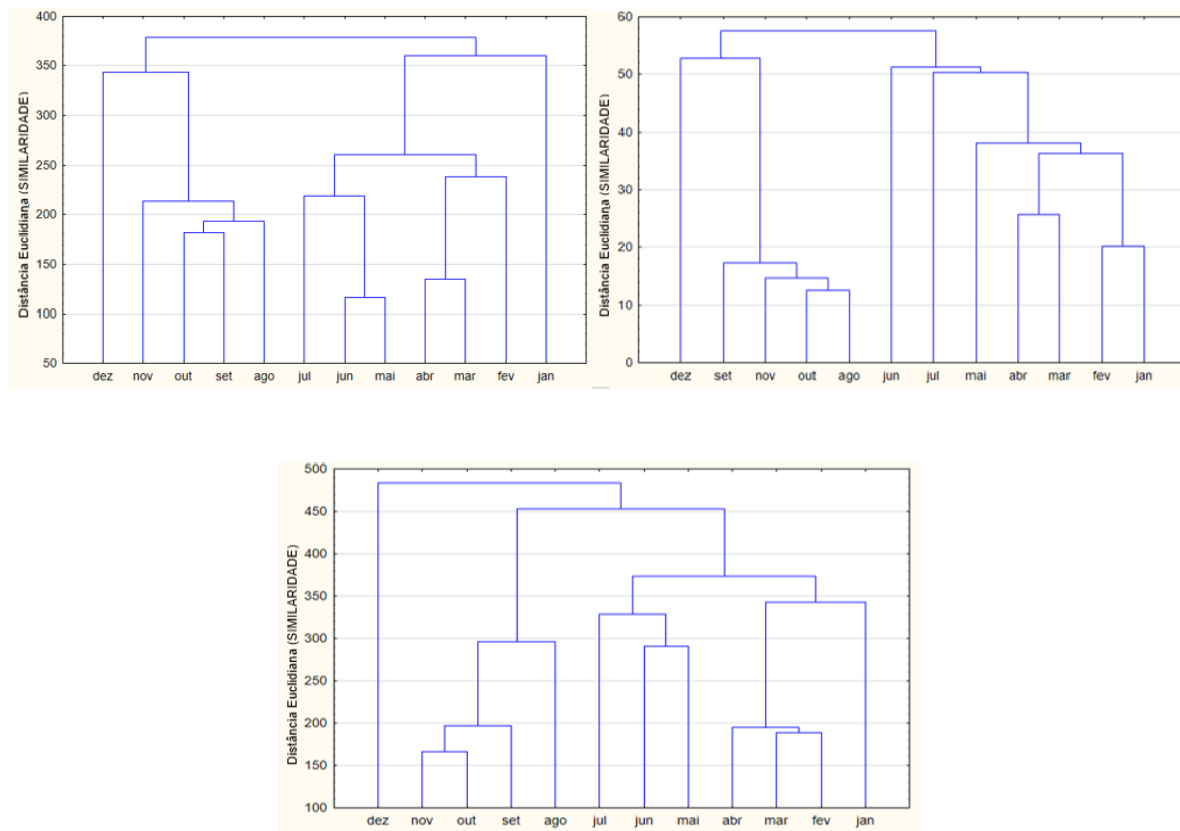


Figura 8 - Dendrograma das médias mensais da DBO no período de 1977 a 1989.

A análise do comportamento médio dos indicadores de qualidade ao longo dos meses indica uma leve diminuição da DBO e do nitrogênio amoniacal nos períodos de maior precipitação, como nos meses de maio, junho e julho devido à diluição dos esgotos por água pluvial que tem acesso à rede coletora. Por outro lado, o comportamento médio dos sólidos suspensos totais ao longo dos meses indicou uma elevação dos valores no período do inverno, que na região varia de julho a setembro, ocorrendo, como previsto, o aumento dos sólidos suspensos devido ao aumento das chuvas e ao carreamento de materiais para a rede coletora.

A aplicação do teste de Mann-Kendall analisa o p-valor e nos permite verificar que o p-valor calculado é menor que o nível de significância ($\alpha = 0,05$); dessa forma, para todos os indicadores de qualidade analisados, a hipótese alternativa é aceita, em que há existência de tendência significativa na série, ou seja, há mudança significativa no comportamento dos dados ao longo dos anos. Além disso, os valores negativos para ZMK indicam a existência de tendências significativas decrescentes da concentração de DBO, nitrogênio amoniacal e SST, o que pode ser comprovado pela curva de regressão linear da Fig. 9, confirmando o teste de Mann-Kendall.

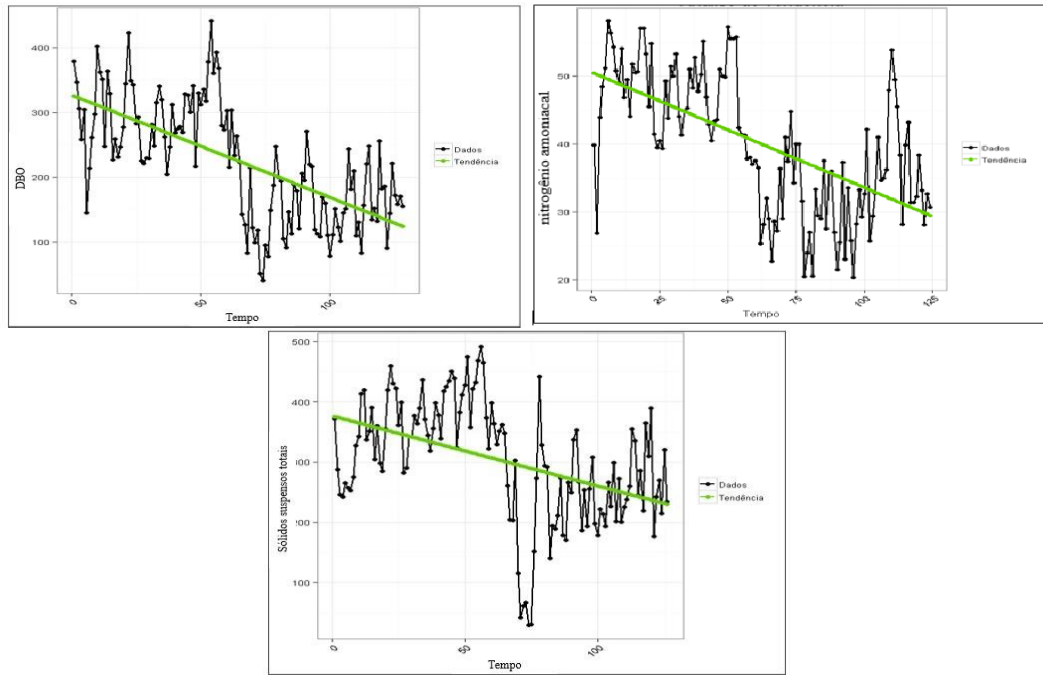


Figura 9 - Gráfico da análise de tendência da DBO

Sabendo que o teste de Mann-Kendall não é influenciado por pequenas alterações nos dados,

foi realizada a análise dos gráficos da decomposição (Fig. 10).

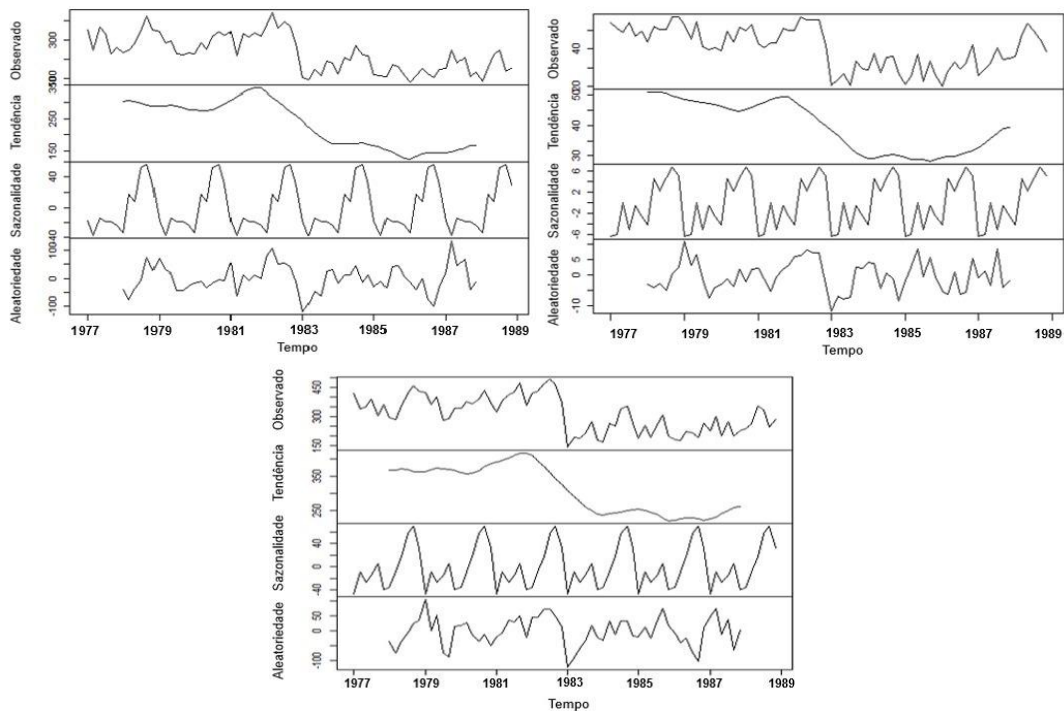


Figura 10 - Gráficos da decomposição para os dados de DBO.

Com relação à decomposição da série temporal do indicador DBO, identifica-se um comportamento de queda da tendência iniciada no segundo semestre de 1981, indicando possível diluição, por ação antrópica ou modificação do sistema, e um comportamento sazonal característico de elevação dos valores da DBO iniciando-se no meio cada ano e finalizando no início do ano seguinte.

A diminuição da DBO ao longo dos anos pode ser explicada a partir do aumento do sistema de esgotamento sanitário, iniciado em 1984, segundo Gomes (2013), causando a autodepuração ou a diluição do efluente a partir de novas colaborações ao sistema. Comportamento similar ao do nitrogênio amoniacal, tanto com relação à tendência como à sazonalidade, apresentando uma diminuição dos valores no segundo semestre de

1981 e uma elevação no segundo semestre de cada ano, indicando a possível relação entre elas e a diluição do efluente iniciada em 1981.

A análise da decomposição da série temporal do indicador sólidos suspensos totais, ilustrada na Fig. 10, mostra uma tendência que permanece constante até o segundo semestre de 1981 e em seguida decai até o segundo semestre de 1983, onde volta a ficar constante, indicando possível diluição do efluente nesse período específico. Já a sazonalidade apresenta picos de concentração entre o terceiro e o quarto trimestre de cada ano.

Analizando os gráficos FAC e FACP da série temporal dos indicadores, apresentados na Fig.11, e sabendo pelo teste Dickey-Fuller aumentado que a série só se torna estacionária após a sua primeira diferenciação (p-valor = 0,01), foram obtidos modelos SARIMA.

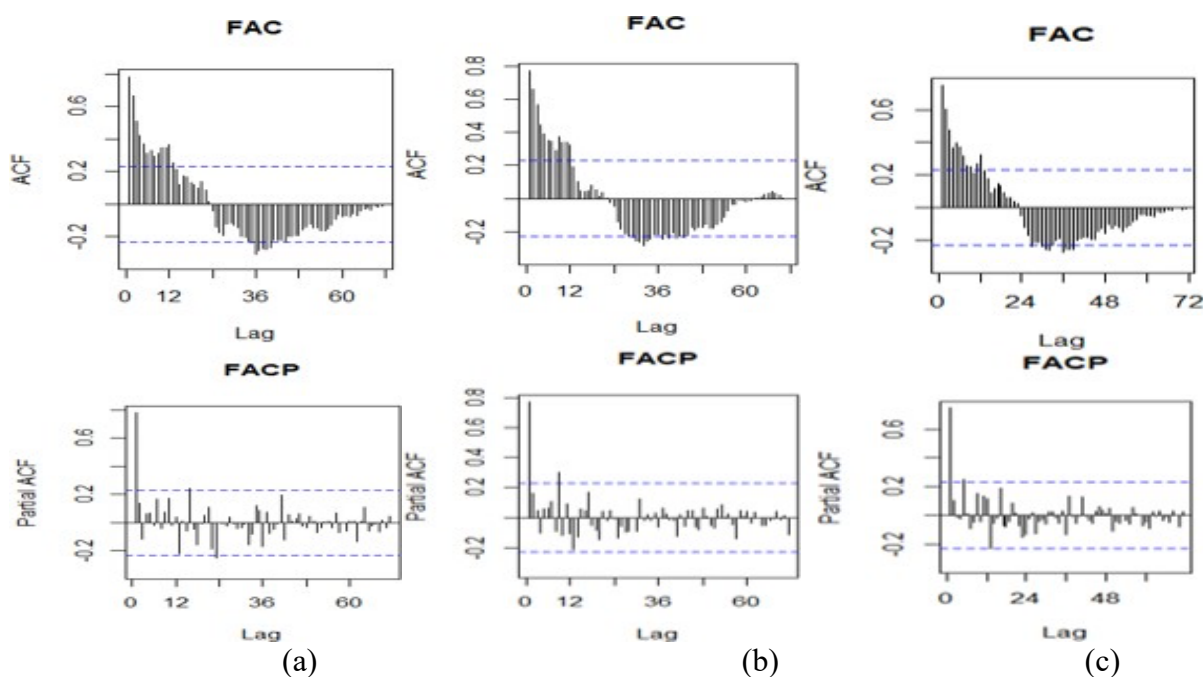


Figura 11 - Gráficos do FAC e FACP para os dados de: (a) DBO (b) nitrogênio amoniacal e (c) SST

Comparando os resultados do AIC, MAE e MAPE para cada modelo, chegamos a um melhor ajuste no modelo SARIMA(1,1,1)(1,0,0)12 para DBO,

SARIMA (1,1,1)(1,1,1)12 para nitrogênio amoniacal e SARIMA (1,1,1)(0,1,0)12 para SST. O levantamento dos resíduos dos modelos foi re-

alizado utilizando o *software* R como auxiliador, bem como a previsão com o modelo proposto

para os seis meses seguintes, como pode ser verificado, respectivamente, nas Fig. 12 e 13.

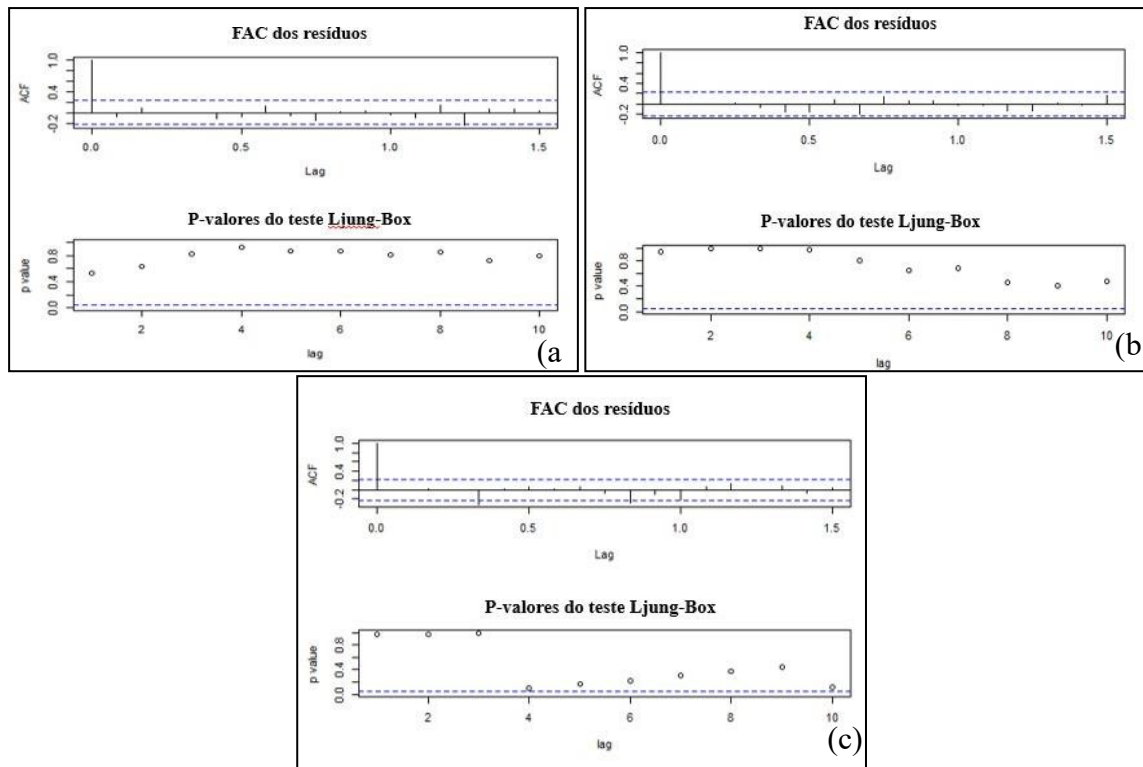


Figura 12 - Análise dos resíduos do modelo proposto para os dados de: (a) DBO (b) nitrogênio amoniacal e (c) SST.

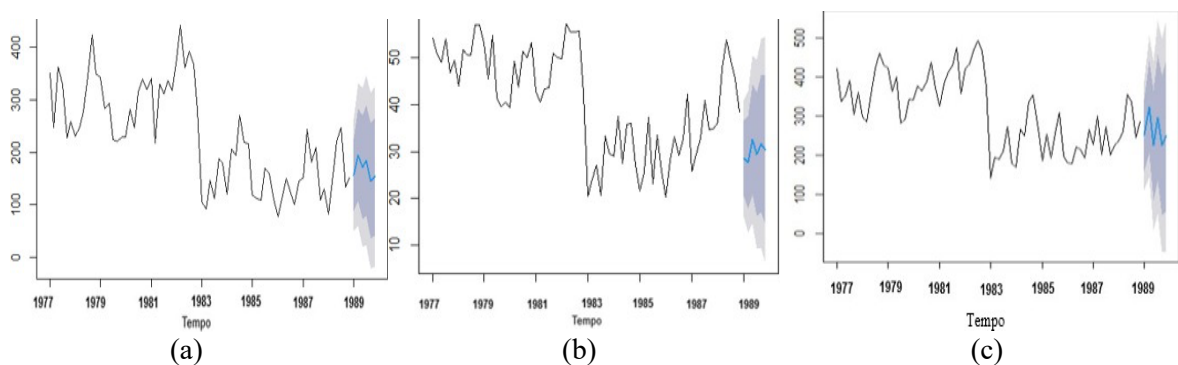


Figura 13 - Previsão com o modelo proposto para os dados de: (a) DBO (b) nitrogênio amoniacal e (c) SST.

A análise do gráfico da Fig. 12 indica que não há autocorrelação significativa, e os p- valores do teste Ljung-Box não são significativos. Com isso definimos que os resíduos não interferem na modelagem da série.

A previsão com os modelos propostos para os indicadores analisados indica que os 6 meses seguintes fornecem estimativas razoáveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer deste trabalho foram observadas relações sazonais de indicadores de qualidade de águas residuárias como: DBO, nitrogênio amoniacal e sólidos suspensos totais, relacionados com os fatores hidrológicos precipitação e temperatura.

Verificou-se que a análise da série temporal para os dados de precipitação, bem como para a temperatura, não foi capaz de demonstrar uma tendência significativa dessas variáveis hidrológicas ao longo do período estudado; no entanto, foi possível identificar uma relação inversa entre precipitação e temperatura, possivelmente ocasionada devido à diminuição da temperatura em períodos de maiores índices de precipitação.

Já com relação à análise do comportamento da tendência dos indicadores de qualidade foi possível observar padrões de mudanças relacionados, tanto a diluição das águas residuárias durante o período chuvoso como a expansão do sistema de esgotamento sanitário para integração de novas e diversificadas contribuições entre os anos de 1984 e 1985.

Por fim, a análise de séries temporais pelo método Box-Jenkins nos permitiu modelar o comportamento dos dados de precipitação e temperatura, além dos indicadores de qualidade das águas residuárias, com modelos ditos satisfatórios após avaliação de erros e resíduos, também descrevendo efeito sazonal em todas essas variáveis, assim, dando ideia do comportamento futuro dessas variáveis.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. A. B. **Contribuição à aplicação de coeficientes de consumo em projetos de abastecimento de água e**

esgotamento sanitário em comunidades urbanas de baixa renda no nordeste do Brasil – Estudo de caso. 85 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. ANA. Portal da Qualidade das Águas. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/rede/rede_avaliacao.aspx>. Acesso em: 01 de Abril de 2019.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DA PARAÍBA. CAGEPA. **Projeto Técnico Complementar do Sistema de Esgotamento Sanitário de Campina Grande-PB** (Relatório Parcial) – TECNOSAN ENGENHARIA S/A. Campina Grande-PB, Janeiro 1985a.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DA PARAÍBA. CAGEPA. **Projeto Técnico Complementar do Sistema de Esgotamento Sanitário de Campina Grande-PB Volume I** – Memorial Descritivo-TECNOSAN ENGENHARIA S/A. Campina Grande-PB, Julho 1985b.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DA PARAÍBA. CAGEPA. **Sanesa -Saneamento de Campina Grande S/A Esgotos** (Relatório e Orçamentos) Escritório Saturnino de Brito, 1962. Campina Grande, PB, 1964.

DANTAS, L. G.; SANTOS, C. A. C.; OLINDA, R. A. Tendências anuais e sazonais nos extremos de temperatura do ar e precipitação em Campina Grande – PB. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 30, n. 4, 423 – 434, 2015. DINIZ, J. M. T. Variabilidade da precipitação e do número de dias com chuvas em duas cidades distintas da Paraíba. *Holos*, v. 3, p. 171- 180, 2013.

FERRARI, A. L.; COLABONE, R. O.; LUCAS, L. A.; LIMA, C. G.; VECCHIA, F. A. S. Análise estatística comparativa das condições meteorológicas de nevoeiro, temperatura e umidade relativa do ar em Pirassununga – SP. *Revista da UNIFA (Impresso)*, v. 26, p. 59- 64, 2013.

GOMES, E. F. **Perdas de vazão e seus efeitos na operação do sistema de esgotamento sanitário de Campina Grande-PB.** 84 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande, 2013.

QUEIROZ, M. M. F.; IOST, C.; GOMES, S. D.; VILAS BOAS, M. A. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Mossoró, v. 5, n. 4, p. 200-210, 2010.

TRINDADE, A. L. C. **Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais da porção mineira da Bacia do Rio São Francisco.** 181 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.