

SMART WATER MANAGEMENT: VARIABILIDADE TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA EM UM SMART CAMPUS

INTRODUÇÃO

A poluição das águas urbanas é um problema mundialmente conhecido que requer atenção e análise de remediação e conservação desses ambientes, bem como seu monitoramento (Jiang et al. 2020; Ji, Chen & Guo, 2022). O esgoto não tratado é uma das principais fontes de poluição da água no Brasil, o que representa uma grande ameaça aos governos nacional, estadual e municipal, uma vez que apenas 51,2% de todo o esgoto gerado é tratado (Brasil, 2022). Apesar da poluição em rios e lagos, o esgoto também pode colocar em risco as águas subterrâneas, que são a principal fonte de água para diversos países (Mabrok et al., 2022) e a população de regiões áridas e semiáridas, que representam 12% do território brasileiro e 28 milhões de pessoas (da Silva et al., 2023).

A qualidade da água diz respeito às características físicas, biológicas e químicas da água de acordo com parâmetros de segurança, de forma que seu monitoramento desempenha um papel importante na sustentabilidade da sociedade contemporânea, mas seu design continua sendo um desafio crítico para países em todo o mundo (Nguyen et al., 2019; Ji, Chen & Guo, 2022; Asgari & Nemati, 2022). As empresas brasileiras de água produziram um volume de 17,3 bilhões de m³/ano para abastecer 84% da água potável do país, atingindo um consumo per capita médio de 150,7 litros diários (Brasil, 2022). No entanto, a água perdida na distribuição representa 40,3% causada por ligações clandestinas, vazamentos e outros problemas de infraestrutura (Brasil, 2022).

Abordagens inteligentes foram testadas ou já aplicadas para avaliar efetivamente a qualidade da água que vai além do gerenciamento eficiente de recursos ou sensores em lagos e rios, chegando até mesmo a sistemas inteiros de abastecimento de água e estações de tratamento de águas residuais (Ji, Chen & Guo, 2022; Asgari & Nemati, 2022; Garrido-Momparler & Peris, 2022). Os sistemas de monitoramento de água têm parâmetros de qualidade e podem usar Machine Learning (Bhardwaj et al., 2022), Internet das Coisas (IoT) e tecnologia de comunicação sem fio (Yan et al., 2022; Garrido-Momparler & Peris, 2022), Green IoT, redes neurais profundas e LoRa (Philip & Singh, 2022), Inteligência Artificial (Xiang et al., 2021), Blockchain (Asgari & Nemati, 2022) e outras tecnologias e dispositivos.

Assim, pretendemos analisar os parâmetros físico-químicos e biológicos da qualidade da água no canal de uma universidade brasileira e propor soluções de smart campus com base em uma revisão sistemática da literatura. Nosso estudo traz implicações teóricas relacionadas à dimensão do smart environment em uma universidade e soluções práticas para gestores em universidades e cidades, que poderiam usar isso em um projeto de maior escala. Como um artigo de métodos mistos, usamos técnicas quantitativas para coletar dados do canal e análise de conteúdo qualitativa para analisar e discutir nossos resultados.

MÉTODOS

O estudo foi conduzido nas dependências da Universidade Federal de Campina Grande – PB (UFCG), no Campus Campina Grande – PB (Campus I). As coletas de amostras de água foram realizadas em dois períodos distintos: o primeiro em setembro e dezembro de 2021 e março e junho de 2022, e os subsequentes em agosto, setembro e outubro de 2023, para observar a variabilidade temporal da qualidade da água dos riachos, comparando os dois períodos. Para a caracterização da água, as amostras foram analisadas nos Laboratórios de Irrigação e Salinidade (LIS) e no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES), ambos pertencentes à UFCG, Campus I. Os procedimentos de coleta e transporte das amostras de água foram realizados com base no Guia Nacional de Amostragem e Conservação de Amostras (Brandão et al., 2011).

O objeto de estudo trata-se de um córrego que percorre no interior da UFCG, contribuinte do açude de Bodocongó, que é utilizado na irrigação das plantas que configuram a paisagem universitária e como objeto de pesquisas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola. O ponto de coleta de água está situado nas proximidades das casas de vegetação pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA/CTRN/UFCG), com coordenadas 7°12'56.1" Sul e 35°54'25.5" Oeste. Também identificamos e analisamos manifestações patológicas existentes na estrutura do canal

As principais características do canal foram determinadas por meio de visitas in loco, nas quais a profundidade, o comprimento e a largura foram medidas mediante uma trena. Os parâmetros físico-químicos avaliados em ambos os períodos incluíam pH, Condutividade Elétrica (CE), Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Carbonatos, Cloretos e Sulfatos. Além disso, foram analisados a condutividade elétrica (CE), toxicidade (níveis de sódio e cloreto) e a Razão de Adsorção de Sódio (RAS). Em relação aos parâmetros biológicos, foram examinadas a presença e a quantidade de Coliformes Totais e *Escherichia coli*.

Utilizando os valores médios dos parâmetros, a água investigada foi categorizada conforme estudos de Ayres e Westcot (1999), Richards (1954) e Nakayama e Bucks (1986), juntamente com a Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, que traça a classificação dos corpos d'água e as diretrizes ambientais para sua avaliação.

Uma revisão sistemática da literatura foi realizada nas bases de dados Web of Science e Scopus usando as diretrizes PRISMA e SPIDER para melhorar nossa confiabilidade (Cooke, Smith, & Booth, 2012; Moher et al., 2009; Alexandre, 2021). Fizemos a busca usando a consulta "smart water management" AND "smart campus" no título, resumo, palavra-chave e tópico dos artigos. Usando o aplicativo Rayyan para gerenciar o processo, coletamos 18 artigos e, após remover 6 duplicatas, consideramos 12 artigos no processo de triagem. De acordo com nossos critérios de exclusão: (1) artigos sem definição ou intervenção de um recurso ou projeto do Smart Campus e (2) artigos focados em instituições de ensino diferentes de universidades ou faculdades; selecionamos 8 artigos para a revisão de texto completo, dos quais 7 foram incluídos na amostra final.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nossa amostra compreendeu sete artigos teóricos e empíricos em vários cenários e universidades para propor sistemas, estruturas técnicas, modelos baseados em ontologia, estudos de caso e técnicas de análise estatística. Alguns autores (Barroso et al., 2023; Alrashed, 2020; Oberascher et al., 2022; Ertekin et al., 2020) entendem as universidades de acordo com o conceito de Smart Campus, principalmente com base na adoção e uso de tecnologia para melhorar a eficácia dos serviços e recursos para criar um ambiente sustentável que também pode servir como uma cidade de pequena escala e avaliar projetos de smart cities. Alharbi et al. (2020) adotam o conceito de smart campus relacionado ao conforto e economia de recursos por meio do uso e gerenciamento de tecnologia. Outros (Nagowah et al., 2023; Al- Dmour, 2023) o compreendem como um Smart Green Campus ou Green Smart university campus que se tornam a vanguarda para abordar os desafios ambientais por meio da implementação de práticas sustentáveis e ecológicas eficazes em vários componentes das universidades.

As universidades geralmente dispõem de campi de grande porte com edifícios, espaços naturais, lojas, processos e outros que se assemelham a cidades funcionais de pequena escala com potencial adequado para desenvolver projetos inteligentes (Alrashed, 2020; Nagowah et al., 2023; Ertekin et al., 2020; Oberascher et al., 2022; Barroso et al., 2023). Apesar do interesse crescente, não há uma definição comum para o smart campus, no entanto, ele se relaciona a tecnologias inteligentes, arquitetura de sistema, recursos educacionais e engajamento da comunidade para integrar a infraestrutura e os serviços da universidade (Alrashed, 2020;

Ertekin et al., 2020; Barroso et al., 2023). Além da conectividade contínua fornecida por inúmeras tecnologias, como a Internet das Coisas (IoT), Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), Inteligência Artificial (IA) e outras, o smart campus também emprega diferentes métodos de ensino, proteção ambiental, segurança, transporte e outras dimensões relacionadas à qualidade de vida das partes interessadas (Barroso et al., 2023; Alrashed, 2020).

O conceito de green smart campus é baseado na sustentabilidade e inclui uma diversidade de componentes, como redução de resíduos, edifícios verdes e transporte sustentável para promover uma vida saudável no campus (Al- Dmour, 2023; Nagowah et al., 2023). Portanto, apesar da inteligência tecnológica aplicada a uma universidade, ela também visa integrar ações ecologicamente corretas para atingir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Nagowah et al., 2023; Barroso et al., 2023). Assim, ele incentiva práticas para criar um ambiente universitário sustentável que estenda o foco da eficiência dos recursos naturais para impactar as necessidades dos alunos, a imagem da universidade e o bem-estar no campus (Al- Dmour, 2023).

O Smart water management é essencial na criação de smart campus. Alharbi et al. (2020) propõem um sistema de irrigação inteligente que usa módulos sem fio alimentados por energia solar e sensores para monitorar a umidade do solo e as condições ambientais, otimizando o uso da água e reduzindo o consumo de mão de obra e energia. Nagowah et al. (2023) enfatizam o gerenciamento da água em um campus verde habilitado para IoT, com foco na coleta de água da chuva e sistemas de irrigação inteligentes monitorados por sensores para garantir o uso eficiente dos recursos. Barroso et al. (2023) discutem o uso do SmartPoliTech, um Sistema Cibernético-Físico (CPS) que emprega IoT e modelos preditivos para reduzir o desperdício de água por meio de monitoramento em tempo real e detecção de vazamentos.

Alrashed (2020) identifica KPIs para gerenciamento inteligente da água, como redução do consumo de água e aumento da reutilização, como chave para dar suporte a operações universitárias sustentáveis. Oberascher et al. (2022) destacam a extensa rede de monitoramento do projeto Smart Campus para distribuição de água e águas residuais, integrando sistemas baseados em IoT, como coleta de água da chuva e sensores de umidade do solo para otimizar a irrigação e detectar vazamentos. Para melhorar a sustentabilidade, Ertekin et al. (2020) descrevem as estratégias de gerenciamento de água da METU, incluindo aplicações SCADA, bombeamento com eficiência energética e tratamento avançado de águas residuais. Por fim, Al-Dmour (2023) destaca como iniciativas verdes inteligentes, incluindo gerenciamento de água, aumentam a reputação da universidade e o engajamento dos alunos.

A Tabela 1 apresenta os valores médios de cada parâmetro físico-químico e biológico avaliado nos dois períodos de estudo (2021/2022 e 2023) da água do córrego localizado no interior da UFCG.

Tabela 1 - Valores médios dos parâmetros físico-químicos e biológicos das amostras de água coletadas no canal da UFCG

Parâmetro	Unidade	Média (2021)	Média (2023)
pH	-	7,8	7,51
Condutividade elétrica	(dS.m ⁻¹)	1.101	1.508
Cálcio	(mg L ⁻¹)	61,8	81,0
Magnésio	(mg L ⁻¹)	28,6	52,60
Sódio	(mg L ⁻¹)	157,7	160,31
Potássio	(mg L ⁻¹)	25,0	21,06
Carbonatos	(mg L ⁻¹)	0,0	0,0
Cloretos	(mg L ⁻¹)	160,8	205,32
Sulfatos	(mg L ⁻¹)	Presente	Presente

Taxa de adsorção de sódio (RAS)	-	4,2	3,69
Classificação da água	-	C3S1	C3S1
Coliformes totais	NPM/100ml	$>1,01 \times 10^3$	$>1,01 \times 10^3$
Escherichia coli	NPM/100ml	$>1,01 \times 10^3$	$>1,01 \times 10^3$

Fonte: autores.

A análise da água em dois períodos mostra valores de pH consistentes entre 7,5 e 8,0, indicando um risco moderado de obstrução do emissor em sistemas de irrigação localizados, pois o pH está dentro da faixa que pode afetar a química do solo e a função do emissor (Franca et al., 2022; Nakayama e Bucks, 1986). Os valores de condutividade elétrica foram próximos entre os períodos (1,101 dS /m e 1,508 dS /m), classificando a água como C3, o que significa alta salinidade com restrições moderadas de irrigação (Ayres e Westcot, 1999). Os valores da Razão de Adsorção de Sódio (4,2 e 3,69) classificam a água como S1, indicando baixa concentração de sódio. Conseqüentemente, a água é categorizada como C3S1 de acordo com a classificação de Richards (1954).

Em ambos os períodos analisados, a água não apresentou carbonatos, mas sulfatos estavam presentes, o que pode causar incrustações e entupimentos em sistemas de irrigação (Nascimento, 2020). Os níveis de cloreto aumentaram em 44,52 mg/L, passando de 160,8 mg/L para 205,32 mg/L, aproximando-se do limite de 250 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005) para uso em irrigação. O excesso de cloreto pode levar à toxicidade nas plantas, causando necrose e queimaduras nas pontas das folhas (Cavalcante et al., 2020). A água também continha altos níveis de coliformes totais e Escherichia coli, excedendo $1,01 \times 10^3$ NMP/100 ml. A água flui por um canal UFCG, que apresentou problemas estruturais, como manchas e eflorescências, com algumas melhorias observadas entre as duas análises.

CONCLUSÕES

O conceito de smart cities é baseado em três pilares principais: Sustentabilidade, Tecnologia e Comunidade que engloba nove Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especificamente os ODS 2, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 14 e 15 (Silva-da-Nóbrega et al., 2023). O monitoramento de córregos, lagos, rios e águas subterrâneas pode gerar inúmeros benefícios potenciais para cidades, estados e até mesmo outras gestões organizacionais, como universidades. Vendo as universidades como pequenas cidades, elas podem servir como projetos modelo para cidades inteligentes e auxiliar na implementação de projetos futuros maiores (Silva-da-Nóbrega et al., 2022). Assim, fatores relacionados ao canal da UFCG podem ser gerenciados para atender aos requisitos de um ambiente inteligente, considerando soluções inteligentes para, por exemplo, transformar os canais em fontes de irrigação para jardins e áreas verdes do campus. Tal modelo, se criado, poderia servir de modelo para todos os campi da universidade em estudo, bem como para outros de tamanho semelhante.

As limitações deste trabalho incluem o uso exclusivo do UFCG como fonte de estudo, bem como coleta de dados individuais. Recomenda-se que estudos futuros expandam isso conduzindo coletas regulares ao longo de um período definido para uma análise mais robusta no local, bem como acessando informações específicas da universidade para desenvolver soluções mais personalizadas e próximas da realidade como um projeto interno. Além disso, propomos futuras vias de pesquisa com foco no desenvolvimento sustentável de campi inteligentes, incluindo a incorporação de redes inteligentes para gerenciamento de recursos dentro das universidades, iniciativas educacionais para aumentar a conscientização entre as partes interessadas, projetos de extensão para envolver a comunidade local e o envolvimento das partes interessadas em processos de tomada de decisão sobre a utilização de recursos.

Agradecimentos: Agradecemos ao CNPQ e à CAPES pelo apoio em nossa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Al-Dmour, H. (2023). Green-Smart University Campuses: The Mediating Role of Student Engagement in Enhancing Corporate Image. *SAGE Open*, 13(4), 21582440231219591.
- Alexandre, L. M.; Brito, A. P. M. De; Santos, I. M. De; Silva, F. D. B. Da; Sousa, G. G. De; Nogueira, R. Da S. (2021). Espacialização da qualidade da água subterrânea destinada a irrigação na comunidade agrícola de Barreiros, Aratuba-CE. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.15, n. 1, p.36-47.
- Alharbi, Y. M., Soliman, M. S., Salem, F. A., Alahmadi, A. A., Abeida, H., & Khraisat, Y. S. (2020). Design a Wireless Automated Solar Powered Irrigation Control System for Smart Universities Green Areas Water Management. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 13(5), 891-899.
- Alrashed, S. (2020). Key performance indicators for Smart Campus and Microgrid. *Sustainable cities and society*, 60, 102264.
- Asgari M and Nemati M (2022) Application of Distributed Ledger Platforms in Smart Water Systems—A Literature Review. *Front. Water* 4:848686. doi: 10.3389/frwa.2022.848686
- Ayers, R. S.; Westcot, D.W. (1999). A qualidade de água na agricultura. 29 ed. Traduzido por: H. R. Gheyi, J. F. Medeiros E F. A.V. Damasco. Campina Grande: UFPB.
- Barroso, S., Bustos, P., & Nunez, P. (2023). Towards a cyber-physical system for sustainable and smart building: a use case for optimising water consumption on a smartcampus. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14(5), 6379-6399.
- Bhardwaj, A., Dagar, V., Khan, M. O., Aggarwal, A., Alvarado, R., Kumar, M., ... & Proshad, R. (2022). Smart IoT and machine learning-based framework for water quality assessment and device component monitoring. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(30), 46018-46036.
- Brandão, C.J. (2011). Guia nacional de coleta e preservação de amostras: Água, sedimentos, comunidade aquáticas e efluentes líquidos. CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Brasília: ANA.
- Brasil (2022). Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto: Visão Geral.
- BRASIL, Resolução N° 357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Disponível em:< <https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br>> Acesso em: abr. 2022.
- Cavalcante, K. L.; Maciel, W. M.; Maciel, H. M.; Nogueira, D. H.; Pereira, S. M. (2020). Análise Físico-Químico da Qualidade de Efluentes para Fins de Reuso na Irrigação no Município de Iguatu –CE. *Brazilian Journal of Development* v.6, n.10, p.81778-81794.
- Cooke, A., Smith, D., & Booth, A. (2012). Beyond PICO: The SPIDER tool for qualitative evidence synthesis. *Qualitative Health Research*, 22(10), 1435-1443. <https://doi.org/10.1177/1049732312452938>
- da Silva, M. I., Lima, M. T. V., da Costa, C. T. F., Firmino, P. R. A., Menezes, J. M. C., Del Carmen Paris, M., & de Paula Filho, F. J. (2023). Groundwater quality assessment in a peri-urban Brazilian semi-arid microbasin. *Environmental Earth Sciences*, 82(3), 73. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10752-2>
- Ertekin, Ş., Keysan, O., Göl, M., Bayazıt, H., Yıldız, T., Marr, A., ... & Özkavaf, S. (2020). METU Smart Campus Project (iEAST). In *New Technologies, Development and Application II 5* (pp. 287-297). Springer International Publishing.
- Franca, C. L. E.; Amorim, M. C. C. De; Olszewski, N.; Belém, C. Dos S. (2022). Uso de água cinza tratada na irrigação de frutícola no semiárido: Aspectos legais e qualidade do solo. *Revista Verde*, v. 17, n. 3, p. 167-177.

Garrido-Momparler, V., & Peris, M. (2022). Smart sensors in environmental/water quality monitoring using IoT and cloud services. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, e00173. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2022.e00173>

Ji, X., Chen, J., & Guo, Y. (2022). A Multi-Dimensional Investigation on Water Quality of Urban Rivers with Emphasis on Implications for the Optimization of Monitoring Strategy. *Sustainability*, 14(7), 4174.

Mabrok, M. A., Saad, A., Ahmed, T., & Alsayab, H. (2022). Modeling and simulations of Water Network Distribution to Assess Water Quality: Kuwait as a case study. *Alexandria Engineering Journal*, 61(12), 11859-11877. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.05.038>

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Altman, D., Antes, G., ... Tugwell, P. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>

Nagowah, S. D., Sta, H. B., & Gobin-Rahimbux, B. A. (2023). Modelling Sustainability for an IoT-enabled Smart Green Campus using an Ontology-based Approach.

Nakayama, F.S.; Bucks, D.A. (1986). Trickle irrigation for crop production Phoenix: Agricultural Research Service, U.S. Water Conservation Laboratory. 383 p.

Nascimento, D. M. (2020). A importância da qualidade da água para seu uso na irrigação. *Boletim do Tempo Presente*, 9(1), 70-92.

Nguyen, T.H., Helm, B., Hettiarachchi, H., Caucci, S., Krebs, P. (2019). The selection of design methods for river water quality monitoring networks: a review. *Environ. Earth Sci.* 78 (3), 96.

Oberascher, M., Kinzel, C., Kastlunger, U., Schöpf, M., Grimm, K., Plaiasu, D., ... & Sitzenfrie, R. (2022). Smart water campus—a testbed for smart water applications. *Water Science & Technology*, 86(11), 2834-2847.

Philip, M. S., & Singh, P. (2022). An energy efficient algorithm for sustainable monitoring of water quality in smart cities. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 35, 100768.

Richards, L. A. (1954). (ed): Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils. Washington D. C.: United States Salinity Laboratory Staff. 166 pg., USDA. Agriculture Handbook n° 60.

Silva-da-Nóbrega, P. I., Chim-Miki, A. F., & Castillo-Palacio, M. (2022). A Smart Campus Framework: Challenges and Opportunities for Education Based on the Sustainable Development Goals. *Sustainability*, 14(15), 9640. <https://doi.org/10.3390/su14159640>

Silva-da-Nóbrega, P. I., Vasconcelos, T. B., Melo, L. S. A. D., Nascimento, J. L. F., & Martins, M. D. F. (2024). Smart cities as drivers for the achievement of sustainable development goals. *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, 18(4), 381-403.

Xiang, X., Li, Q., Khan, S., and Khalaf, O. I. (2021). Urban water resource management for sustainable environment planning using artificial intelligence techniques. *Environ. Impact Assess.* 86. doi: 10.1016/j.eiar.2020.106515

Yan, T., Shen, S. L., & Zhou, A. (2022). Indices and models of surface water quality assessment: Review and perspectives. *Environmental Pollution*, 308, 119611.