

Fórum: Perspectivas Práticas


Uso da tecnologia *blockchain* nas contratações públicas sustentáveis de obras rodoviáriasGuilherme Gonçalves Giamberardino ¹Tatiana Maria Cecy Gadda ¹André Nagalli ¹¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) / Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Curitiba – PR, Brasil

A dificuldade de incorporar a variável ambiental nos processos de contratação é recorrente no mundo. Nesse contexto, as contratações públicas sustentáveis são um instrumento importante para reduzir o impacto ambiental das organizações. No Brasil, há incapacidade para incorporar instrumentos que permitam uma atividade pública mais eficaz e eficiente. Em contrapartida, as tecnologias digitais, como a *blockchain*, podem ser a solução para problemas complexos no setor público. Nos últimos anos, governos têm adotado a *blockchain* em diversas áreas, sendo que, no âmbito internacional, a tecnologia é utilizada em bancos de dados de alguns países. No sentido de facilitar a implantação dos critérios ambientais nos procedimentos de licitação, este estudo propõe um modelo conceitual de aplicação da *blockchain* para contratações públicas sustentáveis de obras rodoviárias. Com base na análise de conteúdo de 25 processos de licitação, foi realizado o mapeamento das principais atividades, o que permitiu propor uma solução integrada ao Portal Nacional de Contratações Públicas. A principal contribuição do estudo é apresentar as potenciais aplicações referentes aos aspectos ambientais para *blockchain* nas contratações públicas e demonstrar a viabilidade da implementação dessa tecnologia. Diante das novas perspectivas para otimizar a gestão dos processos licitatórios e prover a sustentabilidade ambiental na administração pública, entende-se que a *blockchain* pode auxiliar na promoção de uma estrutura de licitação confiável, descentralizada, transparente e ambientalmente sustentável.


Palavras-chave: *blockchain*; contratações públicas sustentáveis; licitação; critérios ambientais; obras rodoviárias.

Uso de la tecnología *blockchain* en la contratación pública sostenible de obras viales

La dificultad de incorporar la variable ambiental en los procesos de contratación es recurrente en todo el mundo. En este contexto, la compra pública sostenible es un importante instrumento para reducir el impacto ambiental de las organizaciones. En Brasil hay incapacidad para incorporar instrumentos que permitan una actividad pública más efectiva y eficiente. Por otro lado, las tecnologías digitales como la *blockchain* pueden ser una solución a problemas complejos en el sector público. En los últimos años, los gobiernos han adoptado la *blockchain* en varias áreas y, a nivel

DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-761220230073>ISSN: 1982-3134 

Artigo submetido em 02 de março de 2023 e aceito para publicação em 06 de novembro de 2023.

Editora-chefe:Alketa Peci (Fundação Getulio Vargas, Rio de Janeiro / RJ – Brasil) **Editor adjunto:**Sandro Cabral (Insper Instituto de Ensino e Pesquisa, São Paulo / SP – Brasil) **Pareceristas:**Daniel da Silva Almeida (Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão / SE – Brasil) Vera Cristina Caspari Monteiro (Fundação Getulio Vargas, São Paulo / SP – Brasil) 

Um dos pareceristas não autorizou a divulgação de sua identidade.

Relatório de revisão por pares: o relatório de revisão por pares está disponível neste [link](#).

internacional, la tecnología se utiliza en bases de datos en algunos países. Con el fin de facilitar la implementación de criterios ambientales en los procedimientos de licitación, este estudio propone un modelo conceptual para la aplicación de la *blockchain* a las contrataciones públicas sostenibles de obras viales. A partir del análisis de contenido de 25 procesos de licitación, se mapearon sus principales actividades, lo que permitió proponer una solución integrada al Portal Nacional de Contrataciones Públicas. La principal contribución del estudio es la presentación de aplicaciones potenciales relacionadas con aspectos ambientales para la *blockchain* en la contratación pública, así como demostrar la viabilidad de implementar esta tecnología. Ante las nuevas perspectivas para optimizar la gestión de los procesos de licitación y dotar de sostenibilidad ambiental a la administración pública, se entiende que la *blockchain* puede ayudar a promover una estructura de licitación confiable, descentralizada, transparente y ambientalmente sostenible.

Palabras clave: *blockchain*; contrataciones públicas sostenibles; licitación; criterios ambientales; obras viales.

Using blockchain technology for sustainable public procurement of road works

Governments worldwide face recurrent challenges in incorporating environmental variables into bidding processes. In this context, sustainable public procurement is an important tool for reducing the environmental impact of public organizations. Despite the emergence of digital technologies such as blockchain, which offers potential solutions to complex public sector problems, and the existing implementation of blockchain in databases by some countries, the Brazilian government has not developed the capability to adopt such instruments to improve environmental effectiveness and efficiency. This study proposes a conceptual model for the application of blockchain in sustainable public procurement of road works to facilitate the incorporation of environmental criteria into bidding procedures. Through a content analysis of 25 bidding processes related to road works, the research mapped out key activities, providing insights to propose an integrated solution for the Brazilian National Public Procurement Portal to address environmental issues in procurement processes. The study's main contribution lies in outlining potential applications of blockchain in public procurement to embrace environmental aspects, demonstrating the feasibility of implementing this technology. Given the emergence of new perspectives to optimize bidding process management and foster environmental sustainability in public administration, the research provides evidence that blockchain can help promote a reliable, decentralized, transparent, and environmentally sustainable bidding structure.

Keywords: blockchain; sustainable public procurement; bidding; environmental criteria; road works.

1. INTRODUÇÃO

As preocupações em relação ao meio ambiente se tornaram destaque no cenário global e têm levado ao aumento da consciência ambiental por parte das pessoas e das organizações. No contexto dos órgãos rodoviários, diante dos impactos ambientais gerados pelas rodovias, é evidente a necessidade de submetê-las ao adequado tratamento ambiental desde a fase de planejamento, compreendendo, assim, os processos de licitações públicas.

Com o objetivo de incorporar questões de sustentabilidade ambiental nas aquisições governamentais, as contratações públicas ecológicas (CPE), também denominadas contratações públicas sustentáveis ou licitações sustentáveis, são definidas pela Comissão Europeia (CE, 2008) como um processo mediante o qual as autoridades públicas procuram adquirir bens, serviços e obras com um impacto ambiental reduzido em todo o seu ciclo de vida, em comparação com bens, serviços e obras com a mesma função primária e que seriam de outro modo adquiridos.

As autoridades públicas, como consumidores de produtos, serviços e obras em grande escala, movimentam recursos de aproximadamente 14% do Produto Interno Bruto (PIB) nos países da União Europeia (2019) e 12% no Brasil (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada [Ipea], 2021).

A dificuldade de incorporar a variável ambiental nos processos de contratação é recorrente no mundo. Cheng et al. (2018) alertam que as práticas de CPE precisam superar desafios significativos, como, carência de conhecimento e conscientização ambiental, objetivos e estrutura, compromisso político e questões financeiras.

No Brasil, a atual gestão pública, muitas vezes, é percebida como lenta e burocrática (Cardoso et al., 2021). Estima-se que de 10% a 20% dos orçamentos de aquisições possam ser desperdiçados, dependendo do grau de corrupção e da ineficiência da gestão pública (Casallas et al., 2020).

Em contrapartida, as tecnologias digitais podem ser vistas como uma solução potencial para problemas complexos no setor público, facilitando a promoção de compras públicas mais sustentáveis. De acordo com Gunasekara et al. (2021), algumas tecnologias permitem a digitalização dos processos, como a *building information modeling* (BIM), a *blockchain*, a *internet of things* (IoT), a tecnologia de *big data*, a realidade aumentada e a construção de padrões de informação. Diante desse contexto, Casallas et al. (2020) avaliam que a tecnologia *blockchain* pode ser aplicada aos entes públicos.

A *blockchain*, que em tradução livre significa cadeia de blocos, é um sistema de registros que contém todas as transações processadas no sistema, sendo um conjunto de informações ligado a blocos de informações anteriores e posteriores. Esses blocos são públicos, pois todos os participantes da rede têm acesso a eles. Porém, quando processados, não podem ser apagados ou alterados. Isso implica nas seguintes características, que tornam a tecnologia *blockchain* promissora na administração pública (Cardoso et al., 2021; Maesi & Mori, 2020; Zhang et al., 2020):

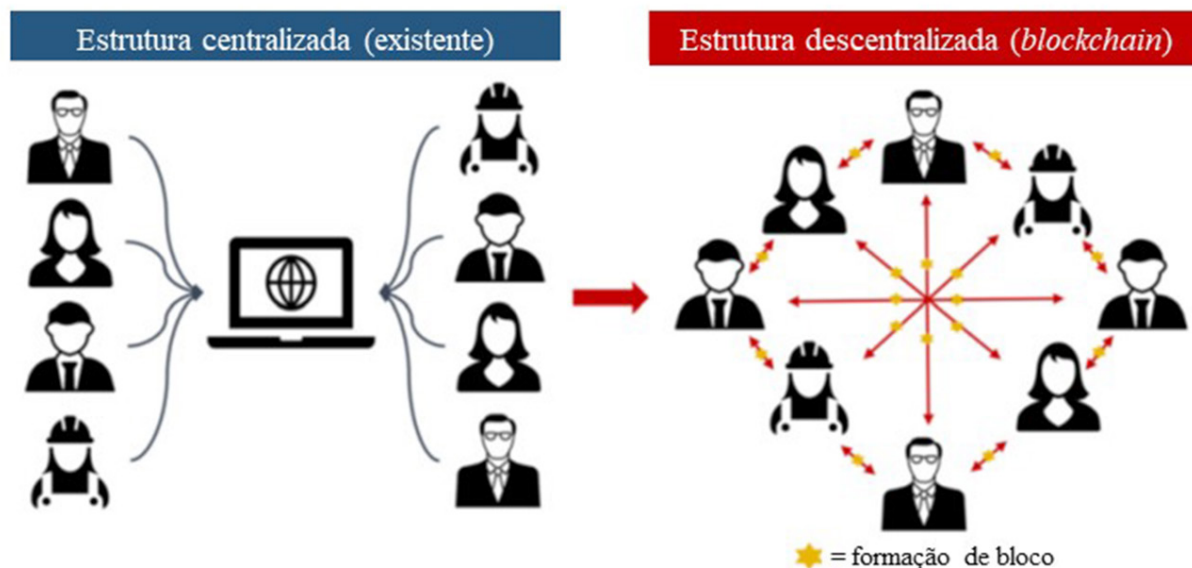
- Segurança/confiabilidade – Sistema imutável e inviolável.
- Descentralização – Sistema compartilhado, em que a rede valida as transações e o sistema.
- Transparência – As regras são aplicadas a todos.

Embora, na administração pública, termos como “governo aberto”, “transparência” e “administração eletrônica” tenham sido trazidos no sentido de prover a modernização da gestão pública, há incapacidade para incorporar instrumentos que permitam uma atividade pública mais eficaz e eficiente (Cardoso et al., 2021; Tribunal de Contas da União [TCU], 2020). Nesse contexto, o presente estudo propõe um modelo conceitual de aplicação da *blockchain* para contratações públicas sustentáveis (CPS) de obras rodoviárias, no sentido de facilitar a implantação dos critérios ambientais nos procedimentos de licitação.

2. **BLOCKCHAIN: CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES NO SETOR PÚBLICO**

O conceito de *blockchain* surgiu com o *whitepaper* da moeda virtual *bitcoin*, escrito por Satoshi Nakamoto, em 2008. A principal característica dessa tecnologia é a estrutura descentralizada e distribuída, que permite que todos os participantes da rede armazenem e verifiquem as informações da transação em conjunto, garantindo integridade e confiabilidade sem ter uma agência central autorizada. Em contraste, na estrutura centralizada, apenas um controlador gerencia a integridade dos dados num banco de dados concentrado (Kim et al., 2020), conforme apresentado na Figura 1.

FIGURA 1 COMPARAÇÃO ENTRE ESTRUTURAS CENTRALIZADA E DESCENTRALIZADA



Fonte: Adaptada de Kim et al. (2020).

A visão de cada participante do banco de dados compartilhado coincide com a visão de todos os outros, o que resolve os problemas de dupla cobrança, duplicação de arquivos ou corrupção dos dados. Por essa razão, as *blockchains* podem facilitar a transferência de ativos e dados sem a necessidade de uma autoridade central confiável. Como resultado, qualquer alteração incorreta dos dados – por exemplo, adulteração por um usuário mal-intencionado – seria imediatamente detectada, rejeitada e inviabilizada por todos os participantes (Cardoso et al., 2021; Zhang et al., 2020). Assim, de acordo com o Tribunal de Contas da União (TCU, 2020), a tecnologia em blocos é indicada quando há necessidade de aumentar a confiabilidade de informações e processos em situações que envolvem muitas partes interessadas e heterogêneas.

Nos últimos anos, governos têm adotado a *blockchain* em diversas áreas, sendo que, no âmbito internacional, a tecnologia é utilizada em bancos de dados de alguns países. A Estônia implantou o sistema denominado e-Estônia, que conecta os sistemas nacionais de justiça, saúde, segurança, legislativo e comercial. No processo legislativo, o país utiliza o sistema e-Law, que, por meio da rede de *blockchain*, possibilita ao público o acesso a informações referentes a projetos de lei enviados desde 2003 (Araújo et al., 2021; Cardoso et al., 2021; Casallas et al., 2020; TCU, 2020). Em 2018, o Canadá conduziu com sucesso o primeiro uso da *blockchain* na gestão pública, a fim de permitir uma administração transparente de contratos (Casallas et al., 2020).

No estado norte-americano de Delaware, foi lançado o Delaware Blockchain Initiative, um programa com ambiente legal e regulatório para o desenvolvimento dessa tecnologia (Casallas et al., 2020; Zhang et al., 2020). No Peru, a agência governamental de compras públicas Perú Compras incluiu a *blockchain*, em 2018, para o registro eletrônico de compras. Desde então, o país registrou cerca de 50 mil pedidos de compras por meio de sua plataforma de catálogos eletrônicos (Casallas et al., 2020).

No Brasil, destacam-se as iniciativas dos governos da Bahia e do Rio Grande do Norte, que desenvolveram a Solução Online de Licitação (SOL), que consiste num aplicativo que permite aos órgãos da administração pública realizar licitações para a compra ou a contratação de bens, serviços e obras. Ele também permite que fornecedores de todo o país enviem propostas e acompanhem o resultado das licitações (SOL, 2023; TCU, 2020).

No contexto da Lei nº 14.133/2021, a Nova Lei de Licitações, um importante passo para a instauração da modernização da administração pública brasileira pode ser evidenciado com a criação do Portal Nacional de Contratações Públicas (PNCP), que, conforme a nova lei, deve servir como uma plataforma digital para a divulgação obrigatória dos procedimentos de compras e contratações eletrônicas, aplicada às esferas dos Poderes Executivo, Legislativo e Judiciário (PNCP, 2023).

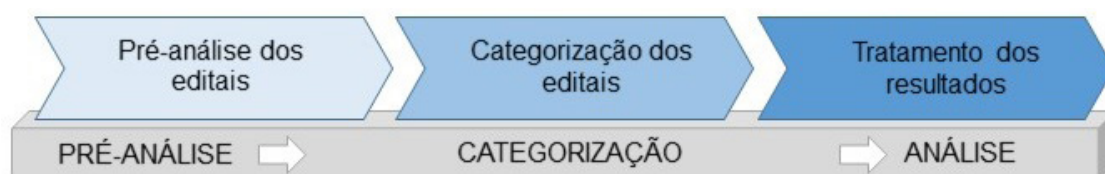
Apesar das diversas iniciativas empregadas no setor público, as *blockchains* enfrentam obstáculos na ampla adoção por organizações, já que seu *status* de regulamentação governamental é incerto. De acordo com o TCU (2020), o número de profissionais com domínio dos aspectos técnicos e conceitos que envolvem *blockchain* ainda é baixo, o que pode ser um limitador na adoção dessa tecnologia pelo governo. Segundo Araújo et al. (2021), a legislação acaba dificultando ao setor público optar por soluções proporcionadas por inovações tecnológicas em licitações e contratos.

Após regulação, possivelmente surgiriam problemas decorrentes de mecanismos automáticos (autoexecução), inserção de dados incorretos, bem como potenciais violações na segurança e descumprimentos de regras, gerando a necessidade de construir uma nova jurisprudência para as sanções administrativas. Segundo Rane e Thakker (2020), resolver aspectos tecnológicos cruciais como velocidade de transação, limites de dados e processo de verificação é um dos desafios da *blockchain*.

3. MÉTODO

A presente pesquisa é de natureza exploratória e observacional, sendo que a técnica usada foi a análise de conteúdo dos documentos de licitação combinada com a revisão bibliográfica do tema em estudo. Conforme apresentado na figura 2, essa técnica consiste nas seguintes fases: pré-análise, categorização e análise (Bardin, 2016). O delineamento metodológico proposto resultou no mapeamento das principais atividades realizadas para a contratação de uma obra pública do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (Dnit).

FIGURA 2 FASES DA ANÁLISE DE CONTEÚDO



Fonte: Adaptada de Bardin (2016).

Para maior compreensão, as fases de pesquisa são detalhadas nas próximas seções.

3.1. Pré-Análise dos editais

Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica do tema em estudo e, na sequência, procedeu-se a um levantamento dos processos de licitação de obras rodoviárias que compreendem a malha federal do Paraná, ocorridos entre 2017 e 2020, gerados com uma ferramenta de gestão de documentos e processos eletrônicos denominada Sistema Eletrônico de Informações (SEI). A amostra de 25 processos de licitação foi obtida junto à entidade licitante e por meio de um banco de dados on-line do Dnit (2021), sob o filtro “SUP. REG. DNIT PARANÁ”, no campo “Sup. Regional”.

3.2. Categorização dos editais

De maneira a facilitar a análise de conteúdo, a categorização é uma operação de classificação em razão das características comuns dos elementos (Bardin, 2016). Assim, os 25 editais selecionados foram categorizados em cinco grupos de processos, de acordo com a similaridade dos tipos de intervenção, conforme o Quadro 1.

QUADRO 1 DESCRIÇÃO DOS GRUPOS DE PROCESSOS

Grupo de processo	Número do edital	Número do processo no SEI	Modalidade da licitação	Tipo de intervenção	Rodovia
Grupo 1	0105/2018-09	50609.000764/2018-61	Pregão eletrônico	Conservação (pista simples)	BR-163 e BR-272
Grupo 1	0274/2018-09	50609.002088/2018-61	Pregão eletrônico	Conservação (pista simples)	BR-487
Grupo 1	0316/2018-09	50609.002182/2018-10	Pregão eletrônico	Conservação (pista simples)	BR-163
Grupo 1	0338/2018-09	50609.002221/2018-89	Pregão eletrônico	Conservação (pista simples)	BR-277 e BR-469
Grupo 1	0341/2018-09	50609.002178/2018-51	Pregão eletrônico	Conservação (pista simples)	BR-163 e BR-280
Grupo 1	0448/2018-09	50609.002142/2018-78	Pregão eletrônico	Conservação (pista simples)	BR-476
Grupo 1	0452/2018-09	50609.002143/2018-12	Pregão eletrônico	Conservação (pista simples)	BR-476
Grupo 1	0459/2018-09	50609.002513/2018-11	Pregão eletrônico	Conservação (pista simples)	BR-153
Grupo 1	0460/2018-09	50609.002539/2018-60	Pregão eletrônico	Conservação (pista simples)	BR-153
Grupo 1	0020/2019-09	50609.002515/2018-19	Pregão eletrônico	Conservação (pista simples)	BR-272
Grupo 1	0307/2019-09	50609.003115/2019-01	Pregão eletrônico	Conservação (pista simples)	BR-376

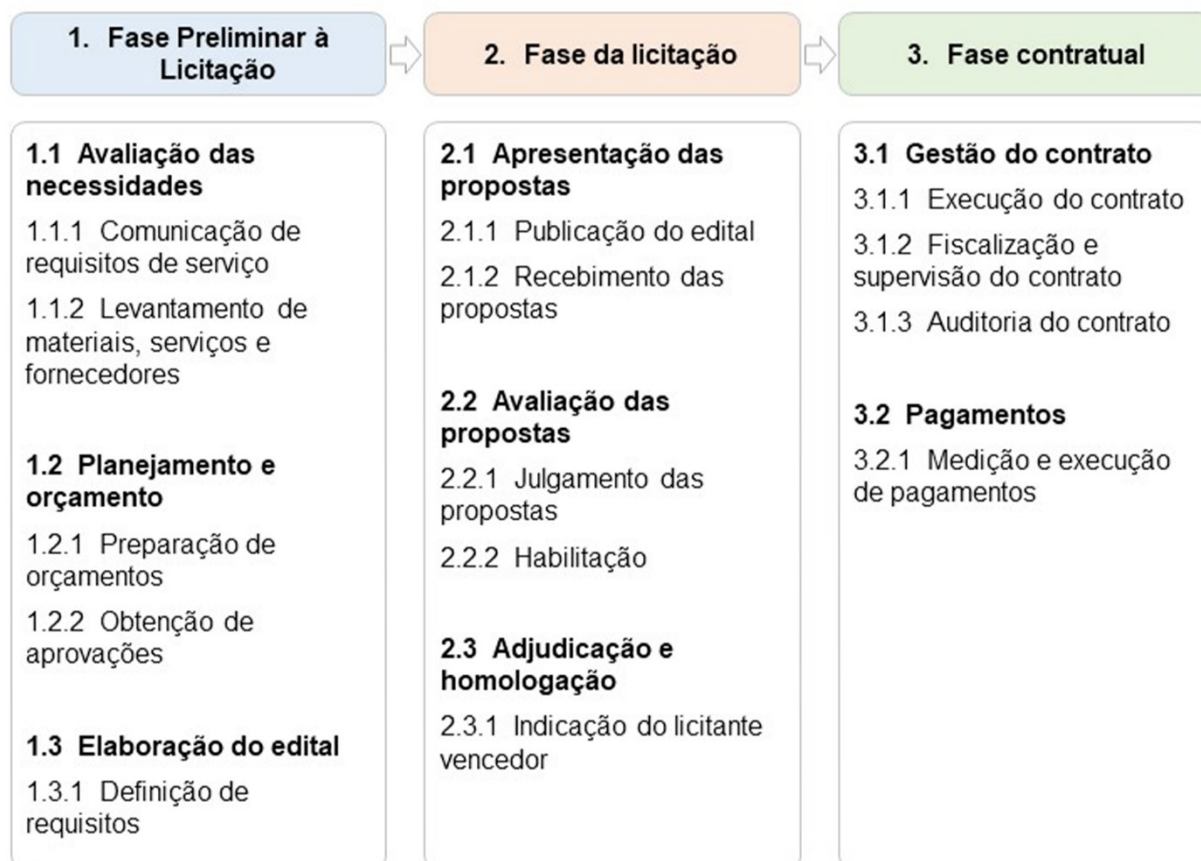
Continua

Grupo de processo	Número do edital	Número do processo no SEI	Modalidade da licitação	Tipo de intervenção	Rodovia
Grupo 1	0371/2019-09	50609.003094/2019-16	Pregão eletrônico	Conservação (pista simples)	BR-158 e BR-373
Grupo 1	0340/2020-09	50609.003047/2019-72	Pregão eletrônico	Conservação (pista simples)	BR-476
Grupo 1	0486/2020-09	50609.001572/2020-97	Pregão eletrônico	Conservação (pista simples)	BR-153
Grupo 2	0488/2017-09	50609.500879/2017-71	Pregão eletrônico	Conservação (pista dupla)	BR-116 e BR-376
Grupo 2	0145/2018-09	50609.000953/2018-34	Pregão eletrônico	Conservação (pista dupla)	BR-163 e BR-467
Grupo 2	0396/2018-09	50609.003191/2018-28	Pregão eletrônico	Conservação (pista dupla)	BR-163
Grupo 2	0018/2019-09	50609.002146/2018-56	Pregão eletrônico	Conservação (pista dupla)	BR-116, BR-277, BR-376 e BR-476
Grupo 2	0023/2020-09	50609.003945/2019-21	Pregão eletrônico	Conservação (pista dupla)	BR-116 e BR-376
Grupo 2	0044/2021-09	50609.002288/2020-38	Pregão eletrônico	Conservação (pista dupla)	BR-153
Grupo 3	0010/2018-09	50609.920003/2017-47	Pregão eletrônico	Restauração	BR-272
Grupo 3	0089/2018-09	50609.000603/2018-78	Pregão eletrônico	Restauração	BR-163
Grupo 4	0028/2018-09	50609.000863/2018-43	Pregão eletrônico	Supervisão	Toda malha do Paraná
Grupo 5	0189/2020-09	50600.012194/2018-32	Pregão eletrônico	Obra de arte especial	BR-163
Grupo 5	0049/2021-09	50600.028803/2020-90	Pregão eletrônico	Obra de arte especial	BR-158, BR-163, BR-280 e BR-373

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3. Tratamento dos resultados

Segundo Bardin (2016), é nessa fase que os resultados são tratados e ocorrem a condensação e a ênfase das informações para análise, resultando nas interpretações inferenciais. Com base na análise de conteúdo dos documentos gerados nos respectivos grupos de processos no SEI e na estrutura proposta por Gunasekara et al. (2021), foi realizado o levantamento das principais atividades para a contratação de uma obra pública do Dnit, conforme a figura 3.

FIGURA 3 PRINCIPAIS ATIVIDADES DO PROCESSO DE CONTRATAÇÃO DE OBRA PÚBLICA DO DNIT

Fonte: Adaptada de Gunasekara et al. (2021).

O mapeamento das atividades dos processos de licitação, em conjunto com o referencial teórico estabelecido, permitiu a proposição de uma lista de aplicações da tecnologia *blockchain* relacionadas com os aspectos ambientais para as fases do processo de contratação pública. As soluções propostas foram consolidadas por um modelo conceitual a ser estruturado numa plataforma de *blockchain* inserida no processo de licitações ambientalmente sustentáveis.

4. RESULTADOS

4.1. Aplicações da tecnologia *blockchain* relacionadas com os aspectos ambientais nos processos de contratação pública

O Quadro 2 mostra as aplicações da tecnologia *blockchain* nos processos de contratação pública, entre as quais se destacam em negrito aquelas que se referem diretamente aos aspectos ambientais.

QUADRO 2 APLICAÇÕES DA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN NOS PROCESSOS DE CONTRATAÇÃO PÚBLICA

Etapa do processo de contratação	Aplicação
1. Fase preliminar à licitação	
	1.1.1. Comunicação de requisitos de serviço
	Sistema único de mensagens
1.1. Avaliação das necessidades	1.1.2. Levantamento de materiais, serviços e fornecedores
	Banco de dados de materiais, serviços e fornecedores ambientalmente sustentáveis
	Banco de dados de boas práticas ambientais dos setores licitantes
	Sistema integrado a um <i>dashboard</i> sobre aquisições ambientalmente sustentáveis
1.2. Planejamento e orçamento	1.2.1. Preparação de orçamentos
	Banco de dados de custos ambientais
	1.2.2. Obtenção de aprovações
	Automatização dos processos de aprovação
1.3. Elaboração do edital	1.3.1. Definição de requisitos
	Banco de dados de critérios ambientais
2. Fase da licitação	
2.1. Apresentação das propostas	2.1.1. Publicação do edital
	Envio de edital como uma transação via <i>blockchain</i>
	2.1.2. Recebimento das propostas
	Uso do mecanismo de criptografia
2.2. Avaliação das propostas	2.2.1. Julgamento das propostas
	Descentralização da avaliação das propostas
	2.2.2. Habilitação
	Mecanismo de autenticação do compromisso ambiental das concorrentes
2.3. Adjudicação e homologação	2.3.1. Indicação do licitante vencedor
	Uso de chaves públicas
3. Fase contratual	
	3.1.1. Execução do contrato
	Automatização de contratos usando <i>smart contracts</i>
	Inserção de critérios ambientais
3.1. Gestão do contrato	3.1.2. Fiscalização e supervisão do contrato
	Automatização da fiscalização e supervisão ambiental
	3.1.3. Auditoria do contrato
	Automatização da auditoria ambiental
3.2. Pagamentos	3.2.1. Medição e execução de pagamentos
	Pagamentos eletrônicos automáticos

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em consonância com o Quadro 2, são apresentadas abaixo as aplicações relacionadas diretamente com os aspectos ambientais.

- a) Banco de dados de materiais, serviços e fornecedores ambientalmente sustentáveis: Trata-se de um tipo de banco de dados que permite que vários usuários compartilhem informações e possam modificá-las de forma segura e confiável. A possibilidade de rastrear

um produto desde sua produção até o descarte pela *blockchain* dá melhor visibilidade e controle sobre os processos, permitindo facilitar o cálculo do valor de todo o ciclo de vida do produto e criar uma base com estimativas cada vez mais seguras (A. Luttenberger & L. Luttenberger, 2017).

- b) Banco de dados de boas práticas ambientais dos setores licitantes: Dados históricos de desempenho e sustentabilidade dos fornecedores podem ser disponibilizados, facilitando aos funcionários o exame de práticas e registros internos de economia de energia e redução de poluição, por exemplo, a fim de determinar a proatividade relativa das práticas ambientais dos fornecedores (Silveira & Costa, 2020).
- c) Sistema integrado a um *dashboard* sobre aquisições ambientalmente sustentáveis: O desenvolvimento da *blockchain* integrada à *dashboard* sobre aquisições ambientalmente sustentáveis fornece um painel visual que apresenta, de maneira centralizada, um conjunto de informações, indicadores e métricas para monitorar até que ponto as despesas com aquisições estão alcançando metas de sustentabilidade especificadas.
- d) Banco de dados de custos ambientais: Propõe-se a integração a um painel de preços, por meio do fornecimento de catálogo de tabelas referenciais de preços e composições de custos, relacionados com o grupo orçamentário de serviços ambientais.
- e) Banco de dados de critérios ambientais: Propõe-se a integração à lista padrão de critérios relativos aos contratos públicos ecológicos da CE (Garbarino et al., 2016). A lista padrão da CE estabelece critérios ambientais claros, verificáveis, justificáveis e ambiciosos para produtos e serviços, numa abordagem de ciclo de vida e com base em evidências científicas.
- f) Mecanismo de autenticação do compromisso socioambiental das empresas licitantes: Os dados solicitados pelos órgãos podem ser disponibilizados pela *blockchain* pela própria administração, garantindo a veracidade das informações ali contidas, de forma acessível e rápida (Araújo et al., 2021).
- g) Inserção de critérios ambientais: Muitos dos impactos ambientais surgem somente ao longo da execução do contrato. Assim, sugere-se a inserção de instruções digitais nos *smart contracts*, na forma de critérios e requisitos ambientais, como:
 - utilização eficiente de recursos e gestão dos resíduos nos canteiros de obra;
 - comunicação de informações sobre problemas ambientais verificados na execução do contrato e na adoção de medidas corretivas;
 - redução das emissões de CO₂ ou de outros gases de efeito estufa associados ao transporte de materiais.
- h) Automatização da fiscalização e supervisão ambiental: Na etapa de fiscalização e supervisão do contrato, é possível automatizar o monitoramento de documentos, dados e processos relativos às questões ambientais. Na hipótese de alguma cláusula contratual

ter sido desrespeitada, é possível programar um comportamento autoexecutável que seja adotado pela administração pública, gerando advertências, multas e suspensões (Araújo et al., 2021).

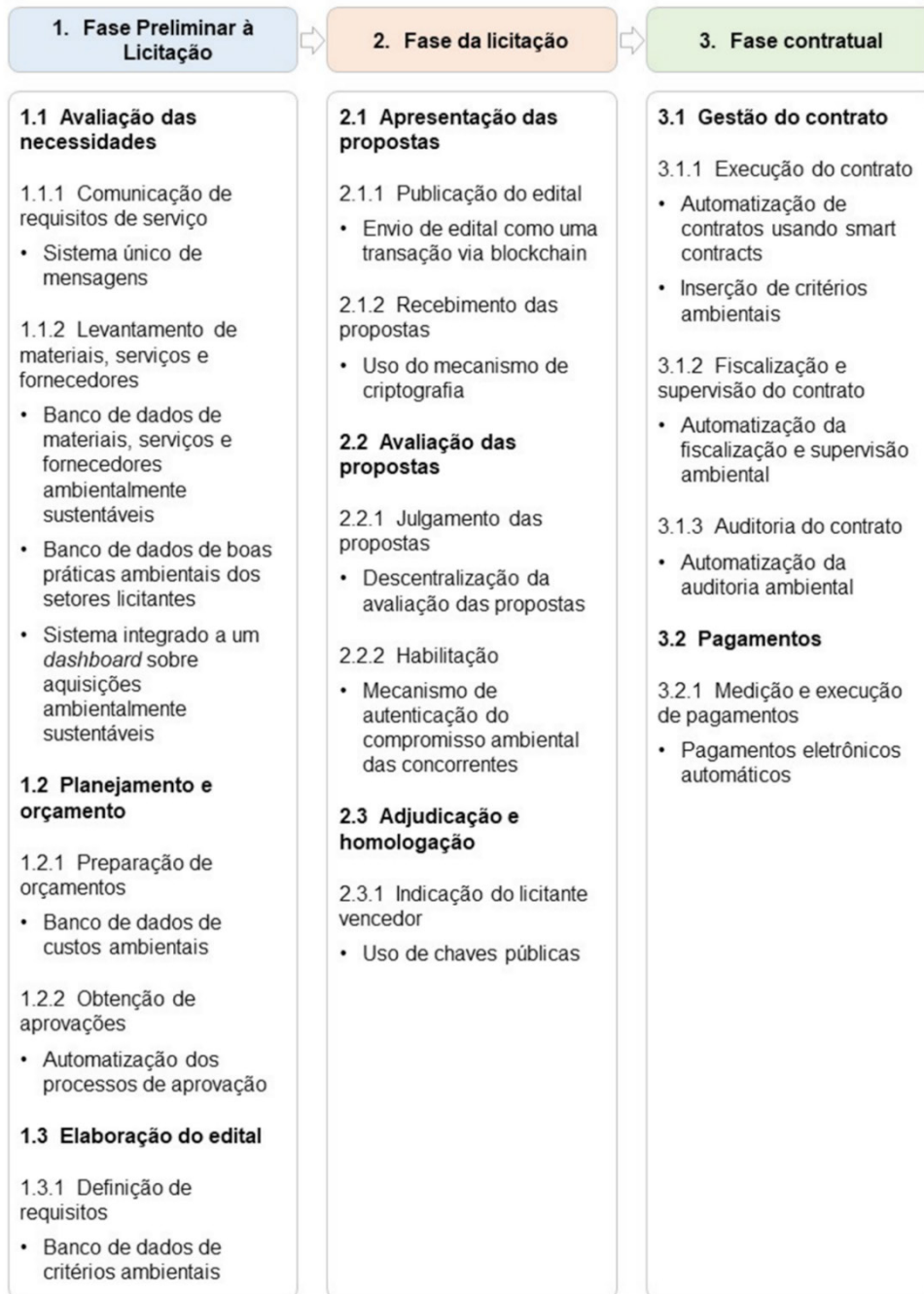
- i) Automatização da auditoria ambiental: A automatização da auditoria pode ser uma ferramenta de gestão de suma importância para a melhoria do desempenho da gestão ambiental, pois serve para o rastreamento de atividades e processos destinados à proteção ambiental, bem como apoio para a tomada de decisão.

4.2. Modelo conceitual de uso da tecnologia *blockchain* nas contratações públicas sustentáveis de obras rodoviárias

Após o mapeamento das principais atividades do processo de licitação no Dnit e a apresentação das aplicações da *blockchain*, propõe-se a consolidação dessas soluções por meio do modelo conceitual de uso da tecnologia de *blockchain* no processo de CPS de obras rodoviárias, conforme a Figura 4.

A aplicação do modelo conceitual deve ser desenvolvida pelos gestores públicos e pelos setores técnicos de engenharia, em conjunto com uma equipe especializada em gestão da tecnologia da informação (TI), visto que as soluções apresentadas dependem inicialmente do fornecimento de uma interface com base na plataforma *blockchain*. Assim, do ponto de vista técnico, é necessário que as transações das partes envolvidas no processo de contratação e os mecanismos de validação e restrição sejam desenvolvidos num sistema *blockchain* integrado ao PNCP para a divulgação dos procedimentos de compras e contratações eletrônicas, com a garantia da identidade dos participantes, da imutabilidade e da confiabilidade dos documentos introduzidos, bem como dos dados compartilhados.

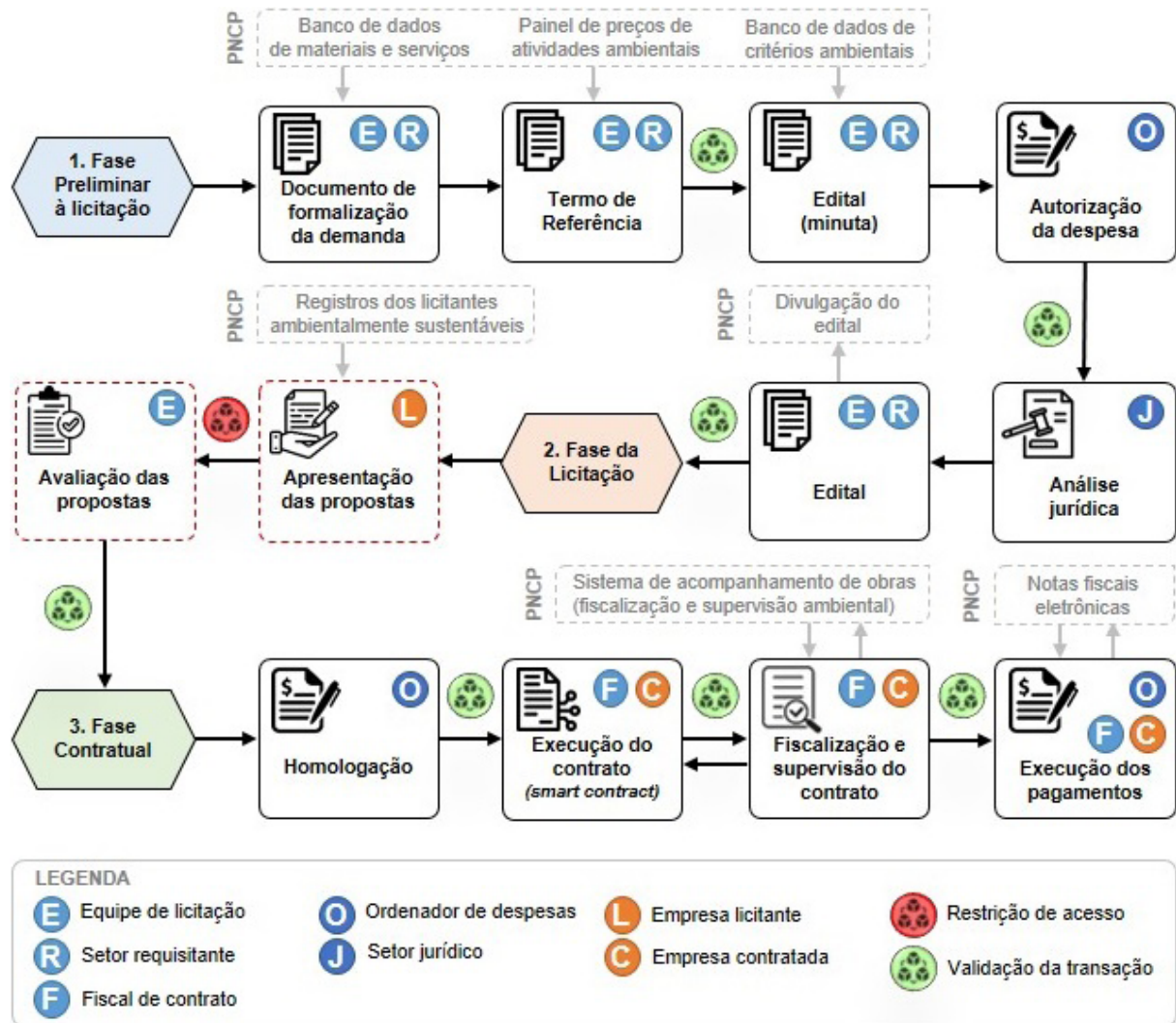
FIGURA 4 MODELO CONCEITUAL DE USO DA TECNOLOGIA *BLOCKCHAIN* NAS CONTRATAÇÕES PÚBLICAS SUSTENTÁVEIS DE OBRAS RODOVIÁRIAS



Fonte: Elaborada pelos autores.

De forma a elucidar a solução proposta em termos operacionais, na Figura 5 se apresenta um fluxograma processual em plataforma *blockchain*.

FIGURA 5 FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE CONTRATAÇÃO PÚBLICA EM PLATAFORMA *BLOCKCHAIN*



Fonte: Elaborada pelos autores.

O processo de contratação se inicia na formalização da demanda por parte do setor requisitante, de forma colaborativa à equipe de planejamento do órgão licitante. A plataforma *blockchain*, interligada ao PNCP, conteria todas as informações necessárias para a elaboração do termo de referência (TR), por meio do acesso aos bancos de dados de materiais, serviços e registros cadastrais dos licitantes ambientalmente sustentáveis e de preços de atividades ambientais. Com base no TR e nos dados de critérios ambientais disponíveis na rede, seria possível a formulação do instrumento convocatório (edital de licitação) por parte do órgão licitante.

O ordenador de despesas daria a autorização por meio de chave eletrônica e a encaminharia para apreciação da área jurídica do órgão. Dada a aprovação, o edital seria liberado para divulgação no PNCP e os licitantes receberiam o aviso do edital e cadastrariam suas propostas. Na etapa de avaliação das propostas, as restrições de acesso poderiam ser adotadas por meio de chaves criptográficas, em que somente a equipe responsável pelo julgamento poderia tratar informações confidenciais até definir o vencedor da licitação (homologação), etapa em que o aceite final seria feito pelo ordenador de despesas.

Na sequência, o contrato inteligente (*smart contract*) seria formulado em observância às regras pactuadas na contratação. A execução do contrato seria auditável tanto por quem está sendo contratado quanto pelo órgão responsável por gerir e fiscalizar o contrato. A execução dos pagamentos se daria automaticamente a partir da entrega do produto e da validação pelo órgão gestor. A auditoria e o controle do processo podem ser realizados a qualquer momento pelos órgãos de controle.

Com a finalidade de garantir a integridade e a confiabilidade das informações, o modelo proposto deve ser aplicado sob às seguintes condições:

- Os dados devem estar disponíveis para todos os participantes, a qualquer tempo.
- Os dados nunca são alterados ou excluídos, sendo que novas informações são pensadas à rede.
- A integridade dos dados é garantida por técnicas de criptografia, com a utilização de algoritmos criptográficos de chaves públicas, funções de *hash* e assinaturas digitais.
- A gravação e o tratamento dos dados devem ser restritos a um conjunto pré-selecionado de participantes, de acordo com a etapa do processo licitatório, mesmo que a leitura esteja aberta a qualquer participante. As permissões de gravação devem ser preestabelecidas pelo órgão licitante (gestor dos dados).
- O gestor dos dados deve garantir a legitimidade das informações disponibilizadas (qualidade dos dados).

Ao fim, a plataforma *blockchain* deverá ser um sistema único, integrado e descentralizado, permitindo a operacionalização e o controle de diversas etapas ao longo do ciclo de vida da compra pública, em que aqui se destacam as compras compartilhadas entre diversos entes públicos, visando à aquisição de produtos e serviços sustentáveis. Assim, é possível a gestores e servidores públicos, fornecedores, órgãos de controle e cidadãos uma maior interação no sistema, aliada ao provimento de aspectos como segurança, confiabilidade, descentralização e transparência aos processos de licitação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além dos benefícios inerentes da tecnologia *blockchain*, quanto ao provimento de aspectos como segurança, confiabilidade, descentralização e transparência aos processos de licitação, os resultados revelam que existe um grande potencial no uso da *blockchain* relacionado com as questões ambientais das obras rodoviárias.

A principal contribuição desta pesquisa é apresentar as potenciais aplicações ligadas aos aspectos ambientais para *blockchain* nas contratações públicas e demonstrar a viabilidade da implementação dessa tecnologia por meio da proposição de um modelo conceitual.

No sentido de garantir a implantação e o aprimoramento do modelo conceitual proposto, considera-se que a integração entre os setores técnicos da administração pública e os profissionais de TI é essencial. Para tanto, sugere-se inicialmente a implantação da solução com abordagem experimental, integrada ao PNCP, para a divulgação dos procedimentos de compras e contratações eletrônicas.

Pode-se considerar uma limitação deste estudo o fato de não se levar em consideração a opinião dos envolvidos nos processos de licitação, visto que seria importante combinar o uso de análise de conteúdo e entrevistas para identificar as dificuldades encontradas pelas organizações licitantes e suas percepções em relação ao tema abordado.

Ao introduzir a tecnologia *blockchain* nos procedimentos administrativos do setor público, deve-se ter em mente que a falta de um ambiente regulatório favorável, bem como de aspectos tecnológicos como velocidade de transação, limites de dados e potenciais violações na segurança, pode constituir entraves para a aplicação da *blockchain*. Apesar desses obstáculos, acredita-se ser apenas uma questão de tempo para que as entidades públicas comecem a utilizar uma estrutura de licitação baseada na tecnologia de *blockchain*.

Diante das novas perspectivas para otimizar a gestão dos processos licitatórios e prover a sustentabilidade ambiental na administração pública, as características intrínsecas da *blockchain* podem auxiliar na resolução de alguns dos problemas detectados nas diversas atividades dos processos de contratações públicas, em direção à promoção de uma estrutura de licitação confiável, descentralizada, transparente e ambientalmente sustentável.

REFERÊNCIAS

- Araújo, V. S., Freitas, M. G., & Martin, M. V. A. (2021). *Blockchain e o futuro dos contratos administrativos*. *Revista Quaestio Iuris*, 14(1), 481-503. <https://doi.org/10.12957/rqi.2021.48956>
- Bardin, L. (2016). *Análise de conteúdo*. Edições 70.
- Brasil (2021). *Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021*. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14133.htm
- Cardoso, H. R., Cerqueira, R. S., & Andrade, A. B. (2021) A aplicabilidade da tecnologia *blockchain* às licitações públicas. *Revista do Cejur*, 9(1), 1-24. <https://doi.org/10.37497/revistacejur.v9i1.368>
- Casallas, J. A., Lovelle, J. M., & Molano, J. I. (2020). Smart contracts with blockchain in the public sector. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 6(3), 63-72. <https://doi.org/10.9781/ijimai.2020.07.005>
- Cheng, W., Appolloni, A., D'Amato A., & Zhu, Q. (2018). Green public procurement, missing concepts and future trends: a critical review. *Journal of Cleaner Production*, 176, 770-784. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.027>
- Comissão Europeia. (2008). *Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comitê Econômico e Social Europeu e ao Comitê das Regiões*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52008DC0400&from=PT>
- Comissão Europeia. (2016). *Critérios relativos aos contratos públicos ecológicos da UE para concepção, construção e manutenção de estradas*. <https://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/toolkit/roads/PT.pdf>
- Comissão Europeia. (2019). *Painel de avaliação do mercado único: desempenho por área política. Licitação pública*. https://ec.europa.eu/internal_market/scoreboard/performance_per_policy_area/public_procurement/index_en.htm
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2021). *Consulta: editais de licitações*. <http://www1.dnit.gov.br/editais/consulta/editais2.asp>
- Garbarino, E., Quintero, R. R., Donatello, S., Caldas, M. N., & Wolf, O. (2016). *Revision of green public procurement criteria for road design, construction and maintenance: technical report and criteria proposal*. https://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/report_gpp_roads.pdf
- Gunasekara, H. G., Sridarran, P., & Rajaratnam, D. (2021). Effective use of blockchain technology for facilities management procurement process. *Journal of Facilities Management*, 20(3), 452-468. <https://doi.org/10.1108/JFM-10-2020-0077>
- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. (2021). *Cadernos Brasil na OCDE: compras públicas*. https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/210707_cb_ocde_compras_publicas.pdf
- Kim, K., Lee, G., & Kim, S. (2020). A study on the application of blockchain technology in the construction industry. *KSCE. Journal of Civil Engineering*, 24, 2561-2571. <https://doi.org/10.1007/s12205-020-0188-x>
- Luttenberger, A., & Luttenberger, L. (2017) Sustainable procurement and environmental life cycle costing in maritime transport. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 16, 219-231.
- Maesi, D., & Mori, P. Blockchain 3.0 applications survey (2020). *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 138, 99-114. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2019.12.019>
- Portal Nacional de Contratações Públicas. (2023). *Sobre o PNCP*. <https://www.gov.br/pncp/pt-br>
- Rane, S. B., & Thakker, S. V. (2020). Green procurement process model based on blockchain - IoT integrated architecture for a sustainable business. *Management of Environmental Quality. An International Journal*, 31(3), 741-763. <https://doi.org/10.1108/MEQ-06-2019-0136>
- Silveira, V., & Costa, S. (2020). Percepção de gestores públicos acerca da utilização de sistemas informatizados baseados em *blockchain* como facilitador para compras sustentáveis. In *Anais do 8º Simpósio de Engenharia de Produção*, Caruaru, PE, Brasil. <https://doi.org/10.5151/viisimep-251532>
- Solução Online de Licitação. (2023). *Inovação para o Estado: conheça o Sol*. <https://www.sol-app.net/>

Tribunal de Contas da União. (2020). *Sumário executivo: levantamento da tecnologia blockchain*. https://portal.tcu.gov.br/data/files/59/02/40/6E/C4854710A7AE4547E18818A8/Blockchain_sumario_executivo.pdf

Zhang, R, Xue, R, & Liu, L. (2020). Security and privacy on blockchain. *ACM Computing Surveys*, 52(51), 1-34. <https://doi.org/10.1145/3316481>

Guilherme Gonçalves Giamberardino

Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR); Analista em Infraestrutura de Transportes no Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). E-mail: giamberardinog@gmail.com

Tatiana Maria Cecy Gadda

Doutorado em Ciências Ambientais Humanas e da Terra pela Universidade de Chiba; Pós-doutorado no programa urbano do Instituto de Estudos Avançados da Universidade das Nações Unidas (UNU IAS); Mestre em Planejamento Físico pelo Royal Institute of Technology (KTH); Professora pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). E-mail: tatianagadda@utfpr.edu.br

André Nagalli

Doutor em Geologia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR); Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR); Professor pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). E-mail: nagalliutfpr@gmail.com

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Guilherme Gonçalves Giamberardino: Conceituação (Liderança); Análise formal (Liderança); Investigação (Liderança); Metodologia (Liderança); Supervisão (Liderança); Escrita - rascunho original (Liderança); Escrita - revisão e edição (Liderança).

Tatiana Maria Cecy Gadda: Conceituação (Liderança); Análise formal (Liderança); Investigação (Suporte); Metodologia (Liderança); Supervisão (Liderança); Escrita - rascunho original (Suporte); Escrita - revisão e edição (Suporte).

André Nagalli: Conceituação (Suporte); Análise formal (Suporte); Investigação (Suporte); Metodologia (Suporte); Supervisão (Suporte); Escrita - rascunho original (Suporte); Escrita - revisão e edição (Suporte).

DISPONIBILIDADE DE DADOS

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo está disponível mediante solicitação ao autor correspondente (Guilherme Gonçalves Giamberardino). O conjunto de dados não está publicamente disponível por conter informação que compromete a privacidade dos participantes da pesquisa.