

Proposta de Gestão do Ciclo de Vida de Equipamentos de TI com *Appendable-block Blockchain**

Rodrigo Wetzel Silveira¹, Roben C. Lunardi², Avelino Francisco Zorzo¹

¹Escola Politécnica – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)
Porto Alegre – RS – Brazil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS)
Porto Alegre – RS – Brazil

Abstract. *Blockchain technology has been successfully applied to various fields that require secure and decentralized storage of information. One such area is product lifecycle management, which traditionally relies on centralized storage. However, using conventional blockchains in this context presents certain challenges, mainly related to performance and latency issues. To address these concerns, new chain topologies have been developed that aim to improve these properties by changing the structure of the chain. One such innovation is the appendable-block blockchain, which separates the insertion of transactions from the block insertion process, allowing new data to be added to an auxiliary chain from the main block. This paper seeks to expand on the studies of this new model by exploring possible contributions and improvements in its storage, persistence, and efficient data access. The paper will also investigate the process of retrieving information from the same context using a case study involving a patent that addresses the storage and retrieval of device lifecycle data.*

Resumo. *Blockchain tem sido aplicada em diversas áreas que exigem armazenamento seguro e descentralizado de informações. Uma dessas áreas é a gestão do ciclo de vida de dispositivos, que normalmente utiliza um modelo de armazenamento centralizado. No entanto, a aplicação de blockchains tradicionais neste contexto apresenta desafios, especialmente relacionados à latência e desempenho. Como resultado, novas topologias de blockchain têm sido desenvolvidas para melhorar essas propriedades, modificando a sua estrutura. Um exemplo de nova tecnologia é a appendable-block blockchain, que remove a inserção de transações da inserção de blocos, permitindo que novos dados sejam adicionados a uma cadeia auxiliar a partir do bloco principal. Este trabalho tem como objetivo ampliar os estudos neste novo modelo, abordando possíveis contribuições e melhorias na etapa de armazenamento, persistência e acesso eficiente aos dados, além de estudos sobre o processo de recuperação de informações do mesmo contexto,*

*O presente trabalho foi realizado com apoio da PUCRS, da HP Inc., do IFRS, da SOF-TEX, Chamada INCT – MCTI/CNPq/CAPES/FAPs nº 16/2014; CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Código de financiamento 001), CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa Científica - 465450/2014-8) e FAPERGS (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul - 17/2551-0000520-1).

utilizando como estudo de caso uma patente que trata do armazenamento e recuperação de dados do ciclo de vida de dispositivos.

1. Introdução

Em 1994, o empresário Charles B. Wang referiu-se ao Gerenciamento em Tecnologia da Informação como: “uma força fundamental na reformulação das organizações, aplicando investimentos em computação e comunicações para promover vantagem competitiva, atendimento ao cliente e outros benefícios estratégicos” [Wang 1994]. A gestão em TI permite que empresas gerenciem os seus recursos, provendo as ferramentas necessárias para acesso e armazenamento das informações essenciais para o seu gerenciamento, ou ao fornecer um serviço [Bryan 2010].

Gerenciamento em Tecnologia da Informação [Berdik et al. 2021] é um grande guarda-chuva que engloba diversas áreas da computação. Uma delas é a gestão de eventos de ciclo de vida de dispositivos. Eventos *lifecycle* são todos os acontecimentos de uma máquina, desde a sua montagem, até o seu descarte. A coleta dessas informações é fundamental para as companhias verificarem o estado de seus produtos, principalmente quando em posse do usuário final, a fim de perceber falhas e eventuais melhoras. Esse armazenamento apresenta inúmeros desafios de segurança e condescendência que devem ser tratados com cada vez mais relevância. Com essa finalidade, as empresas costumam adotar o padrão Information Technology Infrastructure Library (ITIL) [Gërvalla et al. 2018], utilizado como um conjunto de boas práticas para o gerenciamento de serviços habilitados pela tecnologia da informação. Portanto, gerenciamento em TI “abrange todas as formas de tecnologia envolvidas na captura, manipulação, comunicação, apresentação e uso de dados (e dados transformados em informações)” [Brown et al. 2012].

Sendo assim, surgiu a necessidade de um modelo que garanta disponibilidade, segurança, transparência e armazenamento imutável e distribuído dos dados. A *blockchain* foi desenvolvida para esse propósito, provendo tais características em um sistema criptograficamente seguro, possibilitando que entidades desconhecidas confiem na mesma rede sem a necessidade de uma terceira parte controladora. Essa confiança é assegurada por meio de um mecanismo de consenso [Tschorsch and Scheuermann 2016]. Muitas propostas utilizam *blockchain* em diferentes tipos de sistemas, tornando-a cada vez mais comum nos últimos anos, por exemplo nas área de Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) [Zorzo et al. 2018], finanças [Treleaven et al. 2017], assistência médica [da Conceição et al. 2018], educação [Turkanović et al. 2018], sistemas de votação eletrônica [Hjalmarsson et al. 2018], entre outros.

Dessa forma, *blockchain* vem se tornando um modelo muito utilizado para o armazenamento seguro de dados em diversos tipos de aplicações, sendo uma delas para a gestão de tecnologia da informação. Em 2019, Rafael Zotto propôs uma patente [Zotto 2021] na qual sugere o armazenamento de dados e de informações coletadas de máquinas HP (computadores, impressoras e *notebooks*, por exemplo) em uma *blockchain* distribuída. Dessa maneira, seria possível criar um sistema para a gestão das informações sobre o ciclo de vida das máquinas *on demand* pelo usuário final, com a finalidade de descobrir o estado do seu aparelho e prevenir uma eventual

falha. Todavia, o modelo proposto não possui uma aplicação em uma *blockchain* específica e nem indica um modelo para a sua implementação.

Adicionalmente, o modelo de *appendable-block blockchain* da *Speedychain* [Michelin et al. 2018], parece ser uma solução interessante para o armazenamento das informações do ciclo de vida de TI. Em especial, por facilitar a recuperação dessas informações a partir de um outro dispositivo conectado a mesma *blockchain*. Portanto, esse trabalho busca discutir uma proposta para o armazenamento de dados do Ciclo de Vida de dispositivos, de forma segura e resiliente.

Para isso, será explorado como caso de uso a estrutura proposta pela patente *Lifecycle change cryptographic ledger* [Zotto 2021], determinando os ganhos em gestão de ciclo de vida de dispositivos ao utilizar uma estrutura de armazenamento descentralizada. Para isso, busca-se apresentar os possíveis avanços para área de gestão dos dados, por meio de armazenamento e recuperação de dados eficiente em um modelo de *appendable-block blockchain*. Como contribuição, esse artigo propõe aprimoramentos na *appendable-block blockchain*, em especial na forma como os dados são mantidos e acessado no contexto do Ciclo de Vida de TI.

2. Trabalhos Relacionados

Devido à crescente oferta de dispositivos como serviço (*Device-as-a-Service*) por diferentes empresas [Hruby and Scheller 2019], faz-se necessário o gerenciamento de forma segura de mudanças do ciclo de vida dos dispositivos utilizados [dos Santos et al. 2011]. Em especial, algumas propostas sugerem a adoção de *blockchains* para auxiliar no gerenciamento. Nas próximas subseções são detalhadas as principais propostas.

2.1. *Product Lifecycle Management* (PLM) para indústria inteligente

O objetivo desse artigo [Chen et al. 2021] é fornecer um roteiro que possa orientar a pesquisa e a implementação de *blockchain* na gestão de PLM. O trabalho aborda que, de acordo com as características e propriedades da *blockchain*, essa estrutura aparenta ser de grande valia para o gerenciamento desse tipo de dado, provendo confiabilidade para as partes envolvidas e segurança do que é armazenado. Esse modelo acaba servindo como uma estrutura ideal para organizar as aplicações de *blockchain* na indústria inteligente e interconectada. A pesquisa apresentada aborda uma estrutura organizada em cinco métricas com a finalidade de determinar se a aplicação de PLM alvo é adequada para ser resolvida utilizando-se de um modelo em *blockchain*.

A primeira métrica é a segurança dos dados. Muitas empresas possuem o objetivo de proteger os dados contra modificações, divulgação e destruição. Por isso, existe a necessidade do armazenamento seguro e imutável das informações. A segunda métrica visa mostrar se os dados são considerados uma propriedade da empresa. Caso a empresa compartilhe os dados ou o serviço, as informações devem ser protegidas por direitos autorais. *Blockchain* pode ser aplicada nesse contexto, garantindo a troca de dados para conduzir, otimizar e personalizar sua prestação de serviços. A terceira refere-se à necessidade do consenso. Se os negócios têm um grande número de partes envolvidas em operações gerenciadas de maneira distribuída, chegar em um consenso é ideal para garantir a igualdade no sistema. A

quarta tenta observar se a rastreabilidade dos dados é benéfica. *Blockchain* é útil em aplicações que devem garantir que todo o histórico do produto esteja disponível a qualquer momento. Devido a sua estruturação em cadeia de *hashes*, é possível garantir a imutabilidade dos dados, sendo adequada para rastrear as informações históricas do produto. A quinta métrica abrange a necessidade de transações automatizadas em prol da eficiência e produtividade dos negócios. À medida que o volume de transações continua aumentando, os contratos inteligentes em *blockchain* podem ser utilizados para automatizá-las, reduzindo significativamente o custo e os recursos.

O artigo também discute possíveis aplicações em cada uma das etapas do gerenciamento de ciclo de vida do produto (fabricação, uso e reciclagem). Na etapa de utilização, é demonstrado o uso de *blockchain* para o compartilhamento de produtos. Como os usuários estão em constante mudança, torna-se difícil determinar o uso do produto e cobrar as taxas correspondentes. Além disso, os produtos são frequentemente danificados devido ao uso indevido, algo que é difícil de manter o registro. *Blockchain* pode ser usada para registrar as informações de cada usuário, incluindo duração de uso, consumo de energia e desgaste do dispositivo. Com base nas informações coletadas, as taxas de utilização podem ser calculadas e liquidadas automaticamente por *smart contracts*. Em segundo lugar, os usuários podem compreender o histórico completo de uso do produto antes de decidir se desejam compartilhar ou utilizar o dispositivo. Por fim, o registro de crédito do usuário pode ser estabelecido por meio da *blockchain*. Certos comportamentos de danos podem ser registrados para cada usuário e *smart contracts* podem ser usados para impor medidas corretivas, gerenciando o comportamento do usuário.

2.2. *Product Lifecycle Management (PLM) industrial*

Um dos trabalhos mais detalhados nesse tema é o artigo de Liu *et al.* [Liu et al. 2020], o qual apresenta estudos sobre uma estrutura de PLM industrial baseada em *blockchain* para facilitar a troca de dados e o compartilhamento de serviços no ciclo de vida do produto. Os autores propõem uma maneira de registrar toda a vida do produto, desde a criação (BOL), passando pela distribuição e utilização (MOL) até a reciclagem ou reutilização (EOF). No artigo é demonstrado em detalhes a estrutura criada para esse propósito. Na etapa de MOL, é discutido o processo necessário para coletar e armazenar os dados dos produtos para realizar a manutenção deles de maneira proativa.

As tecnologias IoT, como os sensores e RFID, são usadas para monitorar e coletar os dados de máquinas e *product embedded information devices* (PEID). Essas informações são enviadas para um *blockchain information service* (BIS), que pode armazenar esses dados na nuvem (*Cloud DB*) ou em um *enterprise information systems* (EIS). Também, nessa etapa, o bloco é criado de acordo com as especificações do BIS e as características da *blockchain*. *Smart contracts* também podem ser utilizados conforme a necessidade da manutenção para operar automaticamente alguma tarefa, por exemplo: monitoramento e diagnóstico de máquinas, alerta de manutenção, chamada de serviço de manutenção. Além disso, cada estado da máquina e cada registro de manutenção serão armazenados na *blockchain*. De acordo com os autores, esse conceito não só ajudará os mantenedores a conhecer o histórico da

máquina/produto, mas facilitará os gerentes a tomarem decisões, como atualizar um produto ou substituí-lo, com base na condição da máquina em tempo real.

2.3. Steamchain

Outro trabalho relacionado é o da empresa Steamchain [Hoske 2018], fundada em 2017. A Steamchain criou um sistema baseado em *blockchain* para gerenciar pagamentos e descentralizar informações, facilitando a interação entre os fabricantes do equipamento original (OEMs) e os usuários. Essa tecnologia é fornecida como um serviço para outras empresas que buscam armazenar as informações dos seus produtos usados pelos usuários, facilitando a comunicação entre ambas partes. Portanto, as empresas que contratam o serviço podem utilizar o software baseado em *blockchain* para medir uma variedade de parâmetros críticos de produtividade da máquina em tempo real e usá-los de acordo com suas necessidades.

Um dos casos de uso mais significativos da Steamchain é um serviço de controle de frota para máquinas utilizadas como *machine-as-a-service* (MaaS). O MaaS tem a ideia de proporcionar que empresas aluguem determinadas máquinas ao invés de comprar, sendo cobradas pela utilização, diminuindo o custo final para o contratante. O problema, porém, é a grande dificuldade em acompanhar o desempenho da máquina e vinculá-la a um processo de pagamento em tempo real, o que é facilitado com o uso da *blockchain*.

De acordo com Michael Cromheecke, um dos fundadores da Steamchain, um fornecedor poderia emitir um *smart contract* na plataforma para especificar quantidade, preço, data de disponibilidade e condições de envio e pagamento de cada máquina alugada. Um fabricante pode, também, pesquisar automaticamente a *blockchain* em busca de *smart contracts* que atendam aos seus requisitos, verificando a reputação do vendedor quanto à qualidade e à pontualidade com base na rede de dados e, em seguida, concluir a transação, sem a necessidade de um pedido de compra gerado manualmente.

2.4. *Machine-as-a-service* (MaaS)

O trabalho de V. H. Tran *et al.* [Tran et al. 2022], assim como na Seção 2.3, aborda o uso de *blockchain* em conjunto com *machine-as-a-service* para o gerenciamento de frota das máquinas de uma empresa. Como as máquinas são alugadas ao invés de adquiridas, o seu ciclo de vida é tratado por um ecossistema de “atores” especializados. À medida que a quantidade desses atores, clientes e provedores envolvidos no sistema MaaS cresce, manter relações de confiança mútua entre as partes envolvidas e a gerência das operações de maneira centralizada torna-se intratável.

Por causa disso, o artigo apresenta uma abordagem baseada em *blockchain* que fornece MaaS em ambientes industriais em que as máquinas alugadas são equipadas com sensores IoT. As informações coletadas pelos sensores no ambiente MaaS são orquestradas de forma transparente, descentralizada e escalável usando uma coleção de *smart contracts* implantados em uma infraestrutura que combina a Ethereum e serviços descentralizados do InterPlanetary File System (IPFS).

A ideia principal dos autores é garantir que todos os “atores” envolvidos confiem nos dados armazenados e possam verificar com exatidão a contabilidade

dessas informações. Com isso, se ocorrer uma falha em alguma máquina, deve ser possível determinar a causa desse problema, conseguindo identificar o responsável por o resolver, e qual o ator deverá cobrir os custos desse reparo. O fabricante do equipamento original (OEM) fornece as máquinas alugadas para o cliente e valida os responsáveis pelas manutenções. Com esse sistema, existe a possibilidade de integrar empresas de manutenção terceirizadas em um processo automatizado em que esses mantenedores podem realizar as operações de reparo nas máquinas com falha a partir dos dados delas. Os clientes podem selecionar o melhor mantenedor entre os disponíveis na rede de acordo com seus próprios critérios e com a validação dos OEMs.

No artigo, os dados de telemetria não são armazenados na própria *blockchain* por razões de escalabilidade e desempenho, pois coletar e armazenar os dados em intervalos pré-definidos saturaria a capacidade de processamento de transações dos sistemas em *blockchains* atuais. Ao invés disso, os dados são armazenados *off-chain* nos nós de armazenamento do IPFS, enquanto aproveitam a *blockchain* para verificação de integridade e validade. O IPFS é um sistema de armazenamento descentralizado que permite armazenar objetos de dados imutáveis e opera de maneira ponto a ponto. Os dados são armazenados nessa estrutura na forma de um *Merkle Directed Acyclic Graph* (MDAG). Cada objeto é criptografado utilizando uma função hash e ligado como uma árvore de grafos acíclicos. A raiz dessa árvore é armazenada na *blockchain*, fornecendo maior velocidade de armazenamento.

A infraestrutura de *blockchain* utilizada é privada, o que significa que apenas os participantes da rede MaaS estão envolvidos nas operações da *blockchain*, como disseminar transações e gerar novos blocos. Como a cadeia é implementada com a Ethereum, o sistema usufrui das capacidades de *smart contracts* para garantir a integridade das operações. Foram criados três contratos: o primeiro é o contrato de máquina, com o objetivo de lidar com o seu *lifecycle*, suas configurações e implantações. Outro contrato é o de fatura, que gerencia os pagamentos e compensações conforme definidos ao contratar o serviço de aluguel. Por fim, o contrato de manutenção, que orquestra o fluxo de trabalho de solicitação de manutenções e operações de serviço.

2.5. Comparativo entre os trabalhos relacionados

Os trabalhos relacionados discutidos nesta seção abordam as fases críticas para uma aplicação em *blockchain* na área de gerenciamento de ciclo de vida de produtos, como coleta e armazenamento de dados. Do mesmo modo, discutem a utilização de contratos inteligentes para melhorar a aplicação desenvolvida, fornecendo aos usuários e funcionários das empresas uma maneira de aprimorar a gestão das informações armazenadas. No caso da empresa Steamchain [Hoske 2018], devido a questões de privacidade e segurança de suas propriedades intelectuais, não existem detalhes sobre a forma como elas realizam as operações fundamentais de coleta, armazenamento e recuperação dos dados. O artigo [Chen et al. 2021] apresenta informações importantes para uma avaliação estruturada da aplicabilidade de *blockchain* no contexto de PLM. É possível compreender os ganhos da utilização desse modelo com base nas suas propriedades

Por outro lado, os artigos sobre *Product Lifecycle Management*

[Liu et al. 2020] e *machine-as-a-service* [Tran et al. 2022] apresentam diversos detalhes sobre esse tipo de aplicação em *blockchain*. Diferentemente da nossa proposta, a coleta dos dados é feita com dispositivos IoT. Outro diferencial é que as informações são armazenadas fora da cadeia (*off-chain*) por questões de escalabilidade, algo que deve ser estudado ao desenvolver o modelo proposto. Entretanto, nenhum dos trabalhos relacionados discute o funcionamento da etapa de recuperação dos dados armazenados. Outro ponto não detalhado é o armazenamento de informações de uma mesma máquina, visto que esses dados são correspondentes e devem, em teoria, estar conectados de uma maneira coesa dentro da cadeia, facilitando a recuperação de toda o ciclo de vida do produto.

Dessa forma, o presente trabalho visa suprimir a carência dessas etapas pouco discutidas na construção desse tipo de *blockchain*. Além de utilizar os conceitos discutidos nos trabalhos anteriores, o estudo desse modelo na Speedychain aprimorará a estrutura de armazenamento padrão utilizando as cadeias encadeadas da *appendable-block blockchain*. Assim, as informações de uma mesma máquina ficarão associadas em uma mesma cadeia secundária. Com isso, a recuperação desses dados será mais simples e eficiente, já que a partir do endereço armazenado na cadeia principal, será possível ter acesso a todo o histórico da máquina de uma só vez. Outro ponto importante desse novo tipo de estrutura é que, caso ocorra uma troca de componentes entre máquinas, o histórico dos eventos pode ser disponibilizado na nova cadeia, ajudando na consistência, imutabilidade e transparência dos dados.

O processo de recuperação das informações também não é detalhado nos trabalhos citados, abrindo espaço para novos mecanismos ainda não discutidos nesse tipo de modelo. Portanto, esse trabalho busca diferenciar-se dos demais trabalhos ao utilizar diferentes métodos para a recuperação das informações a qualquer momento. Portanto, o próprio usuário pode consultar os eventos de ciclo de vida do seu dispositivo, conferindo a saúde do seu sistema. Como também, utilizar um aparelho autenticado, pertencente a mesma rede, para recuperar a vida útil do dispositivo, por meio de um programa especialmente projetado para esta finalidade.

3. Proposta de Solução

Esse trabalho tem como objetivo explorar o uso de *blockchain* para o gerenciamento de dados do ciclo de vida de dispositivos. Para isso, são necessários avanços na área de armazenamento, gestão e recuperação de dados na Speedychain [Michelin et al. 2018]. Além desses avanços, buscaremos demonstrar a viabilidade e funcionalidade da patente de Rafael Zoto[Zotto 2021], principalmente as implementações que envolvem *blockchain* e todo o seu contexto. A Speedychain implementa um modelo de *appendable-block blockchains* com a possibilidade de uso de *smart contracts* [Nunes et al. 2020]. Serão utilizados diversos trabalhos relacionados, desenvolvidos nessa mesma área [Lunardi et al. 2022] [Lunardi et al. 2020] [Michelin et al. 2018] [Lunardi et al. 2019]. Também será avaliado o desenvolvimento de uma forma de recuperação desses eventos de maneira descentralizada. Busca-se enumerar os desafios desse tipo de estrutura, avaliando a melhora na gestão dos eventos de ciclo de vida desde o armazenamento até a recuperação.

A proposta desse trabalho tem como conceito principal implementar o exem-

plo de *blockchain* de *appendable-block blockchain* da Figura 1, no contexto da patente. Nesse modelo, a *blockchain* possui uma cadeia principal em que cada transação armazenada é um “ponteiro” para uma outra *blockchain* com os eventos *lifecycle* para aquele componente específico. O exemplo proposto busca realizar alterações na Speedychain apresentada na Figura 2, de forma a conseguir armazenar os novos dados obtidos. A Speedychain possui um mecanismo para armazenar novas transações em blocos já inseridos na *blockchain*, o que facilita a implementação do novo modelo proposto na patente [Zotto 2021]. Foram realizados estudos de utilização de *smart contracts* nessa cadeia, demonstrando que é possível utilizar esse tipo de aplicação na Speedychain.

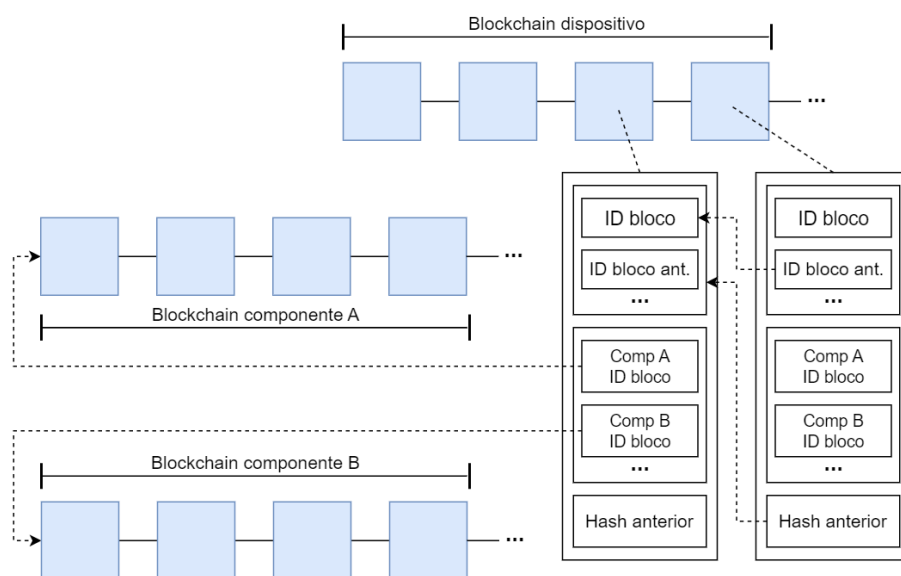


Figura 1. Estrutura da *blockchain* da patente

Para a obtenção dos eventos *lifecycle*, o objetivo é desenvolver uma aplicação para executar chamadas de sistema em um computador, obtendo, assim, o estado das memórias, CPU e outros componentes da máquina. Caso não seja possível, esses valores serão simulados por meio de um banco de dados criado para esse propósito. Com relação à aplicação de recuperação dos eventos *lifecycle*, o objetivo principal é utilizar uma máquina diferente para realizar a recuperação da informação de forma descentralizada. Como a Speedychain funciona a base de máquinas virtuais, será possível simular essa conexão utilizando esse tipo topologia.

3.1. Gerenciamento do Ciclo de Vida de Dispositivos

A gestão em tecnologia da informação é uma área que engloba várias etapas do processo de gerenciamento de máquinas e produtos em uma empresa. Dentre as diversas aplicações de gestão em TI, uma delas é o gerenciamento de infraestrutura de tecnologia, incluindo os eventos *lifecycle* de dispositivos. Eventos de ciclo de vida são as informações que descrevem os dispositivos e os seus componentes (memórias, CPU, *display* etc.) em um determinado momento do tempo no sistema. Todos os dados de telemetria coletados individualmente de cada componente da máquina são

eventos *lifecycle*. Uma troca de algum componente também pode ser considerada um evento. Essas informações são reunidas desde o momento em que a máquina é montada até a sua inutilização, ou seja, durante todo o seu ciclo de vida útil.

Essa proposta busca fornecer os detalhes de todos os aspectos de gestão de eventos de ciclo de vida em tecnologia da informação em *blockchain*, como foram abordados pelos trabalhos relacionados na Seção 2. Apesar de ser um conceito novo, como foi mencionado, existem trabalhos já consolidados que abrangem a utilização de *blockchain* para esse propósito. A contribuição que esse trabalho busca proporcionar nessa área é como a utilização desse modelo pode melhorar o gerenciamento e a recuperação dos dados de dispositivos, principalmente quando ocorre a perda completa de uma máquina no usuário final. Como também, verificar a aplicação das diretrizes da última versão do guia ITIL [Gérvalla et al. 2018] na gestão dos eventos, a qual aborda novas tecnologias, como *blockchain*, possuindo seções detalhadas para as boas práticas em gerenciamento de ativos de TI e monitoramento e gerenciamento de eventos [AXELOS 2019].

3.2. SpeedyChain

As *blockchains* tradicionais voltadas a criptomoedas geralmente possuem alguns desafios e problemas, como latência, performance, escalabilidade e restrições de *hardware* e energia. Uma das possíveis soluções para esses problemas é o uso de *appendable-block blockchain* [Michelin et al. 2018]. Nesse artigo é discutida uma arquitetura de *blockchain* orientada à IoT chamada *Speedychain*, a qual apresenta um modelo que retira os dados armazenados nas transações do cabeçalho do bloco, possibilitando uma inserção mais rápida dos dados no bloco [Lunardi et al. 2022]. Ou seja, a inclusão de novos blocos é separada da inclusão das transações, que são adicionadas em paralelo entre os nodos, e após a criação deles [Lunardi et al. 2020]. É formada uma estrutura de “cadeia de cadeias” em que as transações são encadeadas a partir de um bloco na *blockchain* principal, formando cadeias auxiliares, como pode ser visto na Figura 2.

A implementação atual da Speedychain possivelmente facilitará o armazenamento de eventos *lifecycle* de máquinas, pois ela utiliza em seu cabeçalho, tanto da estrutura principal, quanto das transações encadeadas, chaves criptográficas e assinaturas. Na Figura 2 é possível ver essa estrutura, em que *PubK* representa a chave pública para o dispositivo e *Sign.* a assinatura da transação a partir dessa chave. Dessa forma, as informações armazenadas em um bloco são vinculadas a ele por um par de chaves pública e privada. No caso da patente [Zotto 2021], cada componente na máquina pode ter um par de chaves próprio que garanta a sua identidade. Da mesma maneira, a máquina principal também terá o seu par, podendo garantir que cada componente está vinculado a um dispositivo específico. Ao trocar componentes entre máquinas, um novo par de chaves pode ser gerado de forma a manter a segurança dos novos dados, porém deve-se garantir uma maneira de se obter o acesso aos eventos antigos desse componente.

Outro ponto importante de avanço nessa área são as alterações necessárias na Speedychain. De acordo com o seu estado atual, faz-se necessária a realização de estudos para a implementação de um sistema de conservação dos dados. Atualmente,

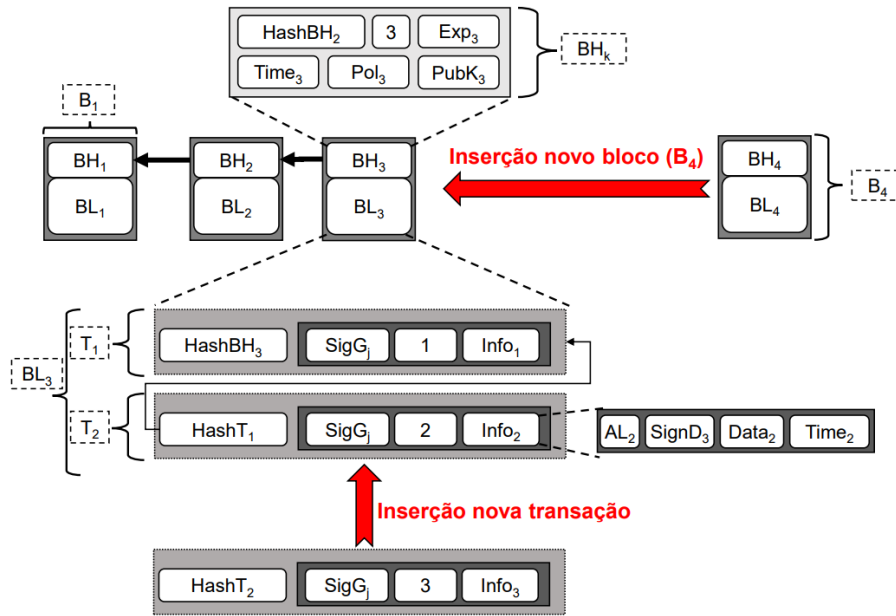


Figura 2. Exemplo de estrutura de uma *appendable-block blockchain* [Lunardi et al. 2020]

as informações são armazenadas apenas em memória durante o seu funcionamento, não havendo mecanismos de consistência dos dados. Portanto, deve-se criar um processo de otimização no armazenamento e acesso às informações. Devido a sua estrutura de máquinas virtuais, é necessário haver um mecanismo de conservação do estado da cadeia de maneira *off-chain*, possivelmente utilizando o *InterPlanetary File System* (IPFS), auxiliando no processo de persistência dos dados. O objetivo principal é demonstrar os ganhos no armazenamento de dados ao se utilizar um modelo distribuído em *appendable-block blockchain* em comparação a uma estrutura consolidada, como o próprio IPFS.

Além dessa melhoria, alterações devem ser feitas nos *smart contracts* da Speedychain, abrindo espaço para a discussão de avanços e novas contribuições nessa área ainda não explorados totalmente na topologia de *appendable-block blockchain*. Outro progresso em que o presente trabalho busca contribuir é no processo de recuperação dessas informações na cadeia por um dispositivo auxiliar. A atual implementação da Speedychain não um mecanismo para realizar esse tipo de recuperação. Portanto, novas contribuições serão feitas ao implementar essa aplicação. Assim, busca-se verificar e documentar os desafios de recuperar os dados em uma estrutura de cadeias encadeadas.

Em relação aos avanços em termos de *blockchain*, esse trabalho tem o objetivo de demonstrar a aplicabilidade do modelo da Speedychain em uma área ainda não explorada pelos seus criadores, sendo fundamental explorar e avaliar as diferentes modificações necessárias para a implementação da gestão de eventos de ciclo de vida de uma máquina em uma topologia de *appendable-block*. Como discutido na Seção 2, ainda não existem trabalhos que abordem o armazenamento de eventos *lifecycle* em uma representação de “cadeia de cadeias” de forma a agrupar os dados de uma

mesma máquina. Com isso, será possível estabelecer e avaliar os impactos desse tipo de aplicação, listando as vantagens e desvantagens do sistema implementado. Como também, analisar os resultados do processo de recuperação das informações de um dispositivo, averiguando se esse tipo de estrutura em *blockchain* é viável para realizar a gestão de TI em uma empresa.

3.3. Patente - *Lifecycle change cryptographic ledger*.

A patente [Zotto 2021] descreve um caso de uso real que aborda a utilização de um modelo semelhante ao de *appendable-block blockchain* no contexto de gerenciamento de ciclo de vida de dispositivos. Com esse novo modelo, seria possível melhorar a atual gestão de TI de uma empresa ao descentralizar o armazenamento de informações úteis aos consumidores, como dados de telemetria dos eventos de ciclo de vida de dispositivos e como computadores e impressoras. Assim, os próprios usuários poderiam recuperar essas informações e verificar a “saúde” dos seus dispositivos a qualquer momento.

O objetivo é utilizar o modelo descrito na patente para demonstrar a funcionalidade dos novos avanços explorados e implementados na Speedychain, principalmente no que diz respeito ao armazenamento e à recuperação das informações, avaliando a viabilidade do modelo proposto pela patente nesse novo contexto, como também o comportamento de toda a estrutura de armazenamento e consistência dos dados. Para isso, serão gerados dados de telemetria de diversas máquinas para simular um ambiente na Speedychain, agrupando as informações de um mesmo dispositivo em uma mesma cadeia, demonstrando a melhora na performance ao recuperar os dados de telemetria de um mesmo contexto.

4. Discussão & Desafios

O trabalho busca abordar, principalmente, os avanços ainda não explorados completamente em *appendable-block blockchains*. Os principais desafios nessa área são as implementações de processos de conservação e consistência dos dados armazenados. Hoje em dia, esse modelo possui uma implementação voltada a máquinas virtuais, cujos dados são armazenados em memória apenas durante o seu processamento. Portanto, alterações serão realizadas para garantir a permanência dos dados para execuções futuras, armazenando as informações em estruturas como o IPFS.

Ademais, otimizações devem ser feitas na atual versão da *appendable-block blockchains* (chamada de SpeedyChain) para garantir a estruturação do armazenamento dos dados de cada componente em cadeias de um mesmo contexto a partir do bloco principal. Como um mesmo dispositivo possui diversos componentes, deve-se modificar a Speedychain para garantir que os eventos de um mesmo dispositivo estejam vinculados a ele, utilizando das informações de assinatura digital com criptografia assimétrica disponível na Speedychain. Atualmente, esse modelo demonstra apenas uma cadeia auxiliar a partir da principal. Devido aos múltiplos componentes, devem ser feitas alterações para garantir o armazenamento de múltiplas cadeias.

Devido a essa nova estruturação, e as mudanças no armazenamento e consistência dos dados, deve-se discutir uma solução para a recuperação das informações a partir de uma entrada pré-definida. Para o contexto do caso de uso abordado, será

discutida a implementação de um mecanismo que, dado um identificador único de um componente ou dispositivo, recupera a sua telemetria. Dessa forma, será possível que todos os usuários possam ter acesso ao histórico de sua máquina em um intervalo de tempo que for conveniente, identificando a saúde do seu dispositivo. Além disso, o conceito de *smart contracts* na Speedychain será revisto, no qual novos contratos serão criados para melhorar a utilização desse modelo. Um dos melhores exemplos para o caso da patente seria, dado os eventos de ciclo de vida coletados, identificar a necessidade de uma manutenção preventiva no componente avariado, alertando ao usuário para realizar uma troca, antes que o dispositivo seja irrecuperável.

5. Considerações Finais

O conceito de *appendable-block blockchain* apresentado na Speedychain é uma inovação recente no universo de *blockchain*, não havendo trabalhos relacionados a esse modelo nas demais pesquisas da área de gerenciamento do ciclo de vida de dispositivos. Portanto, ainda há diversas abordagens para serem pesquisadas e avanços nesse tipo de topologia ainda precisam serem explorados. O trabalho busca discutir sobre as melhorias nas questões de armazenamento e recuperação dos dados armazenados. As contribuições que esses avanços no modelo podem proporcionar vão desde uma melhora na performance até uma diminuição na latência e consumo de energia, tópicos que a própria Speedychain busca melhorar em relação às *blockchains* tradicionais.

Tendo em vista os conceitos e as ideias discutidas no decorrer desse trabalho, os próximos passos para esse estudo começam com as diversas modificações que devem ser realizadas na Speedychain para adequar-se ao modelo proposto de armazenamento do ciclo de vida. As melhorias na conservação dos dados podem garantir execuções consistentes na Speedychain, permitindo avanços em diferentes áreas ainda não exploradas nessa topologia. Ademais, uma comparação deve ser feita ao simular o caso de uso de armazenamento dos eventos *lifecycle* na *appendable-block blockchain*, com as *blockchains* tradicionais e outros serviços de armazenamento como o IPFS. Com isso, será possível determinar os ganhos em relação a gestão de TI e os benefícios que isso trará em sua utilização nas empresas.

Referências

- AXELOS (2019). *ITIL® Foundation, ITIL 4 edition*. TSO (The Stationery Office), England.
- Berdik, D., Otoum, S., Schmidt, N., Porter, D., and Jararweh, Y. (2021). A survey on blockchain for information systems management and security. *Information Processing & Management*, 58(1):102397.
- Brown, C., DeHayes, D., Perkins, W., and Martin, W. (2012). *Managing Information Technology*. Pearson Prentice Hall.
- Bryan, V. (2010). Chapter 14: Information technology management compendium. *M. Moiseichik(Ed.), Management of Park and Recreation Agencies, 3rd Edition*, 14:305–347.

- Chen, S., Cai, X., Wang, X., Liu, A., Lu, Q., Xu, X., and Tao, F. (2021). Blockchain applications in plm towards smart manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 118:1–15.
- da Conceição, A. F., da Silva, F. S. C., Rocha, V., Locoro, A., and Barguil, J. M. M. (2018). Electronic health records using blockchain technology. In *Anais do I Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologias e Aplicações*, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- dos Santos, R. L., Wickboldt, J. A., Lunardi, R. C., Dalmazo, B. L., Granville, L. Z., Gaspar, L. P., Bartolini, C., and Hickey, M. (2011). A solution for identifying the root cause of problems in it change management. In *12th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM 2011) and Workshops*, pages 586–593.
- Gërvalla, M., Preniqi, N., and Kopacek, P. (2018). It infrastructure library (itil) framework approach to it governance. *International Federation of Automatic Control - PapersOnLine*, 51:181–185.
- Hjalmarsson, F., Hreiðarsson, G. K., Hamdaqa, M., and Hjálmtýsson, G. (2018). Blockchain-based e-voting system. In *2018 IEEE 11th International Conference on Cloud Computing (CLOUD)*, pages 983–986.
- Hoske, M. T. (2018). New model optimizes machine metrics. *Control Engineering*, 65(11):10–11.
- Hruby, P. and Scheller, C. V. (2019). Device as a service—an economic model. In *Value Modeling and Business Ontology (VMBO) workshop, Stockholm, Sweden*.
- Liu, X., Wang, W., Guo, H., Barenji, A. V., Li, Z., and Huang, G. Q. (2020). Industrial blockchain based framework for product lifecycle management in industry 4.0. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 63:101897.
- Lunardi, R. C., Alharby, M., Nunes, H. C., Zorzo, A. F., Dong, C., and Moorsel, A. v. (2020). Context-based consensus for appendable-block blockchains. In *2020 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain)*, pages 401–408.
- Lunardi, R. C., Michelin, R. A., Neu, C. V., Nunes, H. C., Zorzo, A. F., and Kanhere, S. S. (2019). Impact of consensus on appendable-block blockchain for iot. In *Proceedings of the 16th EAI International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services, MobiQuitous '19*, page 228–237, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Lunardi, R. C., Michelin, R. A., Nunes, H. C., Neu, C. V., Zorzo, A. F., and Kanhere, S. S. (2022). Consensus algorithms on appendable-block blockchains: Impact and security analysis. *Mob. Netw. Appl.*, 27(4):1408–1420.
- Michelin, R. A., Dorri, A., Steger, M., Lunardi, R. C., Kanhere, S. S., Jurdak, R., and Zorzo, A. F. (2018). Speedychain: A framework for decoupling data from blockchain for smart cities. In *15th EAI International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services, MobiQuitous '18*, pages 145–154, New York, NY, USA. ACM.

- Nunes, H. C., Lunardi, R. C., Zorzo, A. F., Michelin, R. A., and Kanhere, S. S. (2020). Context-based smart contracts for appendable-block blockchains. In *2020 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC)*, pages 1–9.
- Tran, V. H., Lenssens, B., Kassab, A., Laks, A., Rivière, E., Rosinosky, G., and Sadre, R. (2022). Machine-as-a-service: Blockchain-based management and maintenance of industrial appliances. *Engineering Reports*, page e12567.
- Treleaven, P., Gendal Brown, R., and Yang, D. (2017). Blockchain technology in finance. *Computer*, 50(9):14–17.
- Tschorsch, F. and Scheuermann, B. (2016). Bitcoin and beyond: A technical survey on decentralized digital currencies. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(3):2084–2123.
- Turkanović, M., Hölbl, M., Košič, K., Heričko, M., and Kamišalić, A. (2018). Eductx: A blockchain-based higher education credit platform. *IEEE access*, 6:5112–5127.
- Wang, C. (1994). *Techno Vision: The Executive's Survival Guide to Understanding and Managing Information Technology*. Management: MacGraw-Hill. McGraw-Hill.
- Zorzo, A. F., Nunes, H. C., Lunardi, R. C., Michelin, R. A., and Kanhere, S. S. (2018). Dependable iot using blockchain-based technology. In *Latin-American Symposium on Dependable Computing (LADC)*, pages 1–6.
- Zotto, R. D. (2021). Lifecycle change cryptographic ledger. Publisher: Hewlett-Packard Development Company, L.P. (WO2021061146A1).