



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

# **ANÁLISE DO DESEMPENHO DE BLOCKCHAIN NO GERENCIAMENTO DE TRANSAÇÕES EM MICROGRIDS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

Dissertação de Mestrado

Thiago Valença Silva



São Cristóvão – Sergipe

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Thiago Valença Silva

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE BLOCKCHAIN NO  
GERENCIAMENTO DE TRANSAÇÕES EM  
MICROGRIDS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Sergipe como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciência da Computação.

Orientador(a): Edward David Moreno Ordonez

São Cristóvão – Sergipe

2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

---

Ata da Sessão Solene de Defesa da Dissertação do  
Curso de Mestrado em Ciência da Computação-UFS.  
Candidato: Thiago Valença Silva

Em 28 dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte, com início às 10h00min, realizou-se na Sala virtual <https://meet.jit.si/defesaprocc.thiago> da Universidade Federal de Sergipe, na Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, a Sessão Pública de Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato **Thiago Valença Silva**, que desenvolveu o trabalho intitulado: **"Análise do desempenho de blockchain no gerenciamento de transações em microgrids de energias renováveis"**, sob a orientação do Prof. Dr. **Edward David Moreno Ordonez**. A Sessão foi presidida pelo Prof. Dr. **Edward David Moreno Ordonez** (PROCC/UFS), que após a apresentação da dissertação passou a palavra aos outros membros da Banca Examinadora, Prof. Dr. **Ricardo José Paiva de Britto Salgueiro** (PROCC/UFS) e, em seguida, ao Prof. Dr. **Fábio Dacêncio Pereira** (Unimar - Universidade de Marília). Após as discussões, a Banca Examinadora reuniu-se e considerou o mestrando (a) **Aprovado** \_\_\_\_\_ "*(aprovado/reprovado)*". Atendidas as exigências da Instrução Normativa 01/2017/PROCC, do Regimento Interno do PROCC (Resolução 67/2014/CONEPE), Resolução nº 25/2014/CONEPE e da Portaria nº 413 de 27 de maio de 2020 (Banca por videoconferência) que regulamentam a Apresentação e Defesa de Dissertação, e nada mais havendo a tratar, a Banca Examinadora elaborou esta Ata que será assinada pelos seus membros e pelo mestrando.

Cidade Universitária "Prof. José Aloísio de Campos", 28 de agosto de 2020.  
"participação à distância por videoconferência"

Prof. Dr. Edward David Moreno Ordonez  
(PROCC/UFS)  
Presidente

Prof. Dr. Ricardo José Paiva de Britto  
Salgueiro  
(PROCC/UFS)  
Examinador Interno

Prof. Dr. Fábio Dacêncio Pereira  
(Unimar)  
Examinador Externo

Thiago Valença Silva  
Thiago Valença Silva  
Candidato

*Este trabalho é dedicado a todos os familiares e amigos  
que fizeram parte direta ou indiretamente deste processo.*

# Agradecimentos

A Deus, por entre inúmeras outras coisas, a partir da Sua imensa misericórdia me conceder capacidade e perseverança para chegar até aqui. A Ele todo o louvor.

À minha família, por sempre acreditar em mim, me sustentar e apoiar em todos os momentos, pelos conselhos dos meus pais, pela paciência da minha irmã Amanda em me ter dormindo em sua sala por ficar mais próximo do escritório de estudos onde passei boa parte das madrugadas destes últimos meses e pelo carinho da minha irmã caçula Camilly.

À minha noiva Thauanne, por estar sempre me motivando em todos os momentos e me fazendo não desistir quando nem mesmo eu conseguia visualizar que era possível. Por tomar a frente dos preparativos para o nosso casamento durante esse período que precisei me dedicar exclusivamente à finalização desta dissertação.

Ao meu orientador Edward Moreno, por todo o seu empenho e disponibilidade para me orientar durante este processo, até mesmo aceitando marcar reuniões em horários não usuais para acompanhar o progresso do trabalho. Não só o seu conhecimento técnico foi importante para que eu chegasse até aqui, a sua humanidade o fez compreender as minhas limitações e encontrar novos métodos para que o trabalho fosse concluído. Tive o prazer de conviver com todas essas características desde a orientação do TCC na minha graduação.

Aos meus colegas de PROCC, por fazerem parte dos dias em que passei no laboratório. Em especial a Felipe Florêncio por todas as conversas e ajudas com seu conhecimento técnico, a Alana por todas as conversas e conselhos que sempre tornavam o momento um pouco mais leve, a Bruno por deixar o clima nos laboratórios sempre alegre, a Mislene, Felipe Faustino e Alef por fazer dos laboratórios um ambiente amigável.

Aos meus amigos, por me apoiarem sempre que precisei me abster para estudar e desenvolver este trabalho. Em especial a Isaac pela disponibilidade de ajudar ativamente na preparação da simulação, a Mazinho por emprestar os ouvidos quando eu falava sobre algumas preocupações e por ter sempre o melhor conselho, ao Pastor Enilson por sempre me apoiar e se alegrar com minhas conquistas e também por entender o meu momento e me afastar das atividades da igreja durante o processo de finalização do presente trabalho, a Ranilson, Jefferson e William por estarem me apoiando tão ativamente em situações em que eu não poderia assumir durante esse período.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - pelo suporte financeiro. Código de Financiamento 001.

*Os mais poderosos intelectos da Terra não podem compreender a Deus.  
Os homens podem estar sempre a pesquisar, sempre a aprender,  
e ainda há, para além, o infinito.  
(Ellen G. White)*

# Resumo

Desde a criação do Bitcoin por Satoshi Nakamoto em 2009 tem-se proposto a adoção da rede que gerencia suas transações, o Blockchain, para substituição de uma terceira parte de confiança em diversos sistemas por, entre outros benefícios, reduzir os custos que a inclusão da mesma acarreta, como por exemplo o sistema bancário no caso do próprio bitcoin. Apesar de a substituição de um sistema de confiança transparecer uma diminuição nas taxas para o usuário final, isso deve ser estudado mais a fundo para verificar se realmente existem ganhos com essa substituição. Este trabalho realiza um estudo experimental, analisando o comportamento de uma rede de gerenciamento de energia que se utiliza de blockchain para a validação de transações. O experimento é executado realizando o monitoramento de dois ambientes em que usuários solicitam transações dentro do sistema de gerenciamento desenvolvido. Em cada ambiente são alterados o número de contas que solicitam de forma simultânea essas transações enquanto um script acompanha os valores das temperaturas de CPU e GPU, utilização de CPU e GPU e utilização de memória. O primeiro ambiente citado se utiliza de NodeJS para o gerenciamento e valida as transações realizando verificações usuais como a validação de login a partir do cache, o segundo ambiente utiliza NodeJS, assim como o primeiro, para o gerenciamento e valida as transações a partir de smart contracts em uma rede Ethereum. Ao final, o estudo verifica que existe uma maior utilização dos recursos por parte do ambiente que gerencia as transações com blockchain quando comparando ao primeiro ambiente. O trabalho conclui também que o recurso que é mais solicitado pela execução em blockchain é a memória RAM que apresenta altos índices de utilização no segundo ambiente de simulação. Por fim, é verificado que apesar de o blockchain reforçar a segurança dispensando os custos de um intermediário, ele acrescenta custos de hardware para o gerenciamento do mesmo.

**Palavras-chave:** MicroGrid. Energia Renovável. Blockchain. Ethereum. Smart Contracts.

# Abstract

Since creation of Bitcoin by Satoshi Nakamoto in 2009 adopting the network that manages its transactions, Blockchain, has been proposed, for purpose of substituting a third part of trust in many systems for, among other benefits, reducing costs that including it leads, for example a banking system in comparison with bitcoin. Although the fact that the substitution of a trust system appears to minimize taxes for the final user, it must be studied deeply for verifying if gains are really obtained from this swap. This work performs an experimental study, analysing the behavior of an energy management network that uses blockchain for validate transactions. The experiment is executed operating a monitoring of two environments in which users request transactions inside the developed management system. The number of accounts that request in simultaneous way these transactions is changed in which environment while a script keep track of values of CPU and GPU temperature, CPU and GPU utilization and RAM memory utilization. The first cited environment uses NodeJS for managing and validating transactions performing usual verification such as login validation from cache, the second environment uses NodeJs, as the first one, for management and it uses smart contracts in an Ethereum network for validating transactions. At the end, the study verify which system uses further resources, if the one which manages transactions with blockchain in comparison with the first environment. The work conclude also that the resourse most requested by the execucion in blockchain is the RAM memory that shows high indexes of utilization in the second environmento of simulation. Finally, it is verified that although blockchain reinforces security dispensing costs from an intermediate, it adds hardware costs for its management.

**Keywords:** MicroGrid. Renewable Energy. Blockchain. Ethereum. Smart Contracts.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Infraestrutura de um exemplo de sistema IoT que utiliza blockchain. Extraído de (DONG; LUO; LIANG, 2018) . . . . .	29
Figura 2 – Distribuição de artigos disponíveis nas bases por nacionalidade do autor. Os valores foram calculados levando em consideração a nacionalidade de cada autor, não necessariamente o primeiro. . . . .	36
Figura 3 – Distribuição de artigos publicados nas bases por ano de publicação. . . . .	37
Figura 4 – Distribuição de artigos publicados nas bases por aplicação. . . . .	37
Figura 5 – Distribuição de artigos publicados nas bases por plataforma. . . . .	38
Figura 6 – Modelo da simulação do sistema de gerenciamento de energia solar. . . . .	42
Figura 7 – Modelo de produção de energia solar utilizado no trabalho. . . . .	43
Figura 8 – Interface para visualização de casas participantes do sistema de gerenciamento. . . . .	45
Figura 9 – Interface para visualização de leilões do sistema de gerenciamento. . . . .	46
Figura 10 – Diagrama representando o sistema de blockchain utilizado no modelo de simulação escolhido nesse trabalho. (MYUNG; LEE, 2018) . . . . .	47
Figura 11 – Comparação de temperatura de CPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain . . . . .	51
Figura 12 – Comparação de utilização de CPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain . . . . .	51
Figura 13 – Comparação de temperatura da GPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain . . . . .	52
Figura 14 – Comparação de uso de GPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain . . . . .	52
Figura 15 – Comparação de uso de memória entre execução de transações no modelo usual e blockchain . . . . .	53
Figura 16 – Comparação de temperatura de CPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com multiagente . . . . .	54
Figura 17 – Comparação de utilização de CPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com multiagente . . . . .	55
Figura 18 – Comparação de temperatura da GPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com multiagente . . . . .	55
Figura 19 – Comparação de uso de GPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain . . . . .	56
Figura 20 – Comparação de uso de memória entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com multiagente . . . . .	56
Figura 21 – Comparação de temperatura da CPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 1 usuário . . . . .	58

Figura 22 – Comparação de temperatura da CPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 10 usuário . . . . .	59
Figura 23 – Comparação de utilização da CPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 1 usuário . . . . .	59
Figura 24 – Comparação de utilização da CPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 10 usuário . . . . .	60
Figura 25 – Comparação de temperatura da GPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 1 usuário . . . . .	61
Figura 26 – Comparação de temperatura da GPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 10 usuário . . . . .	61
Figura 27 – Comparação de utilização da GPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 1 usuário . . . . .	62
Figura 28 – Comparação de utilização da GPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 10 usuário . . . . .	63
Figura 29 – Comparação de utilização da Memória entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 1 usuário . . . . .	63
Figura 30 – Comparação de utilização da Memória entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 10 usuário . . . . .	64
Figura 31 – Comparação de temperatura da CPU quando variando o número de contas simultâneas em execução de transações no modelo usual e blockchain . . . . .	64
Figura 32 – Comparação de temperatura da CPU quando variando o número de contas simultâneas em execução de transações no modelo usual e blockchain . . . . .	65
Figura 33 – Comparação de temperatura da CPU quando variando o número de contas simultâneas em execução de transações no modelo usual e blockchain . . . . .	66
Figura 34 – Comparação de temperatura da CPU quando variando o número de contas simultâneas em execução de transações no modelo usual e blockchain . . . . .	66
Figura 35 – Comparação de temperatura da CPU quando variando o número de contas simultâneas em execução de transações no modelo usual e blockchain . . . . .	67

# Lista de quadros

Quadro 1 – Comparação entre Algoritmos de Consenso mais utilizados. . . . .	21
Quadro 2 – Comparação entre as plataformas de blockchain. . . . .	26
Quadro 3 – Tabela descrevendo a string de busca geral a qual as strings de cada repositório se basearam. . . . .	35

# Lista de códigos

Código 1 – Código que transforma arquivo .mat em dados legíveis . . . . .	45
Código 2 – Código que transforma arquivo .mat em dados legíveis . . . . .	48
Código 3 – Script shell para captar os dados de temperatura da CPU . . . . .	49
Código 4 – Script shell para captar os dados de utilização da CPU . . . . .	49
Código 5 – Script shell para captar os dados de temperatura da GPU . . . . .	49
Código 6 – Script shell para captar os dados de utilização da GPU . . . . .	50
Código 7 – Script shell para captar os dados de utilização da Memória . . . . .	50

# Lista de abreviaturas e siglas

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CPU	Unidade Central de Processamento
DAG	Directed Acyclic Graph
DCOMP	Departamento de Computação
DER	Decentralized Energy Resource
DPoS	Delegated Proof of Steak
DR	Demand Response
ESS	Energy Store System
EVM	Ethereum Virtual Machine
GPU	Unidade de Processamentos Gráficos
IOT	Internet das Coisas
PBFT	Practical Byzantine Fault Tolerance
PoS	Proof of Steak
PoW	Proof of Work
UNL	Unic Node List
UFS	Universidade Federal de Sergipe

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>14</b>
1.1	Justificativa	15
1.2	Questão de pesquisa	15
1.3	Objetivos	15
1.3.1	Objetivo Geral	15
1.3.2	Objetivos Específicos	16
1.4	Organização da Dissertação	16
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>18</b>
2.1	Blockchain	18
2.1.1	Implementações de Registros Distribuídos	19
2.1.2	Algoritmos de Consenso	20
2.2	Plataformas de Blockchain	22
2.2.1	Ethereum	22
2.2.2	Hyperledger Fabric	23
2.2.3	IOTA	24
2.2.4	Comparação entre as Plataformas	25
2.3	Aplicações de Blockchain	26
2.3.1	Energia	26
2.3.2	IOT	27
2.3.3	Saúde	28
2.3.4	Supply Chain	30
2.3.5	Aplicações Financeiras	30
2.3.6	Educação	31
2.3.7	Governo	32
2.4	Microgrids de Energia Renovável	32
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>34</b>
3.1	Mapeamento Sistemático	35
3.2	Revisão Sistemática	38
3.3	Planejamento do experimento	40
<b>4</b>	<b>Desempenho do Blockchain em Gerenciamento de Energia</b>	<b>42</b>
4.1	Experimentação	42
4.1.1	Geração de Energia Solar	43
4.1.2	Gerenciamento de Energia	44

4.1.3	Gerenciamento de Leilões . . . . .	46
4.1.4	Captação de Dados . . . . .	48
4.2	Resultados . . . . .	50
4.2.1	Cenário Simples . . . . .	50
4.2.2	Cenário Multiagente . . . . .	53
4.2.3	Testes Estatísticos . . . . .	56
4.2.4	Teste de Escalabilidade . . . . .	62
<b>5</b>	<b>Conclusão . . . . .</b>	<b>68</b>
5.1	Limitações . . . . .	70
5.2	Trabalhos Futuros . . . . .	70
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>71</b>
	<b>Apêndices . . . . .</b>	<b>77</b>
	<b>APÊNDICE A Códigos de Gerenciamento do Blockchain . . . . .</b>	<b>78</b>
	<b>APÊNDICE B Scripts para Captação de Dados . . . . .</b>	<b>85</b>

# 1

## Introdução

Ultimamente a utilização do termo *Blockchain* tem apresentado um crescimento exponencial em uma variedade de ambientes desde o desenvolvimento do Bitcoin em janeiro de 2009. Apesar desse crescimento ser caracterizado pela criação do Bitcoin, moedas virtuais não são a única aplicação desta ferramenta, entre as muitas utilizações pode-se citar as seguintes: segurança de dados, sistemas financeiros, controle de acesso em sistemas da saúde, etc. Mais recentemente foi percebido um potencial de utilização do *Blockchain* em outras aplicações o que levou a academia a produzir cada vez mais informações sobre as mais diversas aplicações que se utilizam desta ferramenta para obter melhores resultados, o que pode ser demonstrado pelo número de trabalhos publicados nos últimos anos em bases de artigos.

Nas mais diversas aplicações, o Blockchain é implementado em arquiteturas onde possam maximizar a sua performance, como é o caso do Bitcoin em que mineradores se utilizam de computadores de alta performance, clusters ou até mesmo arquiteturas próprias para este fim. Essa pesquisa foca em estudar as utilizações de blockchain em internet das coisas.

Diante dessa tendência em utilizar algoritmos de blockchain em sistemas de internet das coisas, surge o interesse em também produzir nesta área e se utilizar dos benefícios da mesma tanto na academia quanto na indústria. Para conseguir retirar um maior proveito desse potencial faz-se necessário o esclarecimento de algumas questões, como por exemplo: em quais áreas o ambiente de internet das coisas é propício para desenvolver algoritmos de blockchain? Quais são as aplicações em que se pode utilizar esses algoritmos?

O objetivo de utilizar Blockchain em estruturas de internet das coisas é substituir algoritmos utilizados atualmente por uma ferramenta que vai prover uma maior segurança no sistema como um todo. Para isso, esse trabalho visa apresentar uma visão geral do estado atual de aplicações que se utilizam de Blockchain nesse tipo de arquitetura.

## 1.1 Justificativa

O gerenciamento de redes de energia atual no Brasil é realizado com a existência de uma intermediária, a concessionária (ex: Eletrobras, Energisa, Eletropaulo), que faz a interface entre a central geradora de energia (ex: Chesf) e os clientes finais (ex: residências, comércios). A partir do momento em que é incluído um intermediário nesse processo entende-se que os custos aumentam para o consumidor final, pois além de pagar o preço da produção juntamente com o transporte, o usuário estaria pagando taxas para cada mediador nesse processo.

Com o surgimento e popularização dos geradores solares fotovoltaicos os consumidores, agora chamados também de prossumidores, passaram também a produzir energia e ter a possibilidade de devolver a energia excedente para a rede e receber créditos de utilização da mesma. Até o momento esse crédito é do mesmo valor do excedente produzido, porém propostas da ANEEL de 2018 e 2019 tem o intuito de alterar a captação de créditos para de 72% a 37% do total o que desvalorizaria a produção de energia pelos prossumidores.

Além de existir a possibilidade de diminuir a significância da energia devolvida à rede existe também a possibilidade de uma unidade sempre produzir excedentes e esse excedente nunca se transformaria em benefício ao mesmo pois o crédito gerado não pode ser transformado em dinheiro e o prossumidor não teria a autonomia para vender este excedente a uma outra unidade.

Devido à necessidade de melhores condições em relação à autonomia de utilização do excedente produzido por prossumidores essa pesquisa se justifica através da análise de utilização de blockchain em microgrids de energia em contribuição para os consumidores que também produzem energia solar a vantagem de ter um sistema viável de gerenciamento de redes de energia sem a regulamentação de um intermediário.

## 1.2 Questão de pesquisa

Existe um aumento no uso de recursos que impossibilita a execução quando aplica-se o Blockchain no gerenciamento de microgrids de energia renovável em comparação com sistemas usuais de gerenciamento?

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar o comportamento de uma rede de gerenciamento de vendas de energia solar que se utiliza de blockchain para a validação de transações, examinando a influência do blockchain no consumo de recursos computacionais.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar os possíveis benefícios de utilizar uma rede de blockchain para gerenciar vendas de energia solar;
- Implementar dois protótipos de sistemas de gerenciamento de energia, o primeiro sendo baseado em técnicas correntes de validação de transações e o segundo sistema utilizando o blockchain para que operações de mesma natureza sejam autenticadas;
- Comparar o desempenho dos recursos computacionais aferidos nos processamentos de transações com e sem utilização de blockchain;
- Constatar a partir dos resultados da comparação se é viável substituir o intermediário pela utilização do blockchain em um sistema de gerenciamento de energia;
- Disponibilizar um módulo de simulações para uso de blockchain em outras aplicações.

## 1.4 Organização da Dissertação

Este trabalho está organizado em 5 (cinco) capítulos, nos próximos parágrafos são apresentadas introduções a cada capítulo presente neste trabalho.

Neste primeiro, foi apresentado o problema de pesquisa, a justificativa para sua realização, os objetivos do mesmo, assim como sua organização. Os demais capítulos estão divididos da seguinte forma:

O capítulo 2 apresenta os assuntos que são fundamentais para a compreensão e execução das atividades propostas nesse trabalho, para isso foram explanados assuntos como o próprio Blockchain, desde informações históricas quanto classificações e dados que seriam utilizados posteriormente. Além disso, foi exposto também quais são as plataformas de blockchain mais utilizadas na área acadêmica, bem como quais são as aplicações mais utilizadas dessa ferramenta. O capítulo é finalizado apresentando informações básicas sobre o tema de microgrids de energia renovável que o seu entendimento seriam indispensável para as execuções.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia adotada para realização deste trabalho, bem como mapeamento sistemático e revisão sistemática com o intuito de conhecer o estado da arte dos assuntos abordados. Além disso são também demonstrados o planejamento feito para a execução do experimento, ou seja, cada passo que deveria ser executado para a realização do trabalho, como por exemplo a escolha das ferramentas e desenvolvimento do ambiente de simulação chegando até a análise.

No capítulo 4 são apresentadas mais detalhadamente todas as características do experimento, como softwares utilizados, métricas, etc. Este capítulo se utiliza de diagramas, códigos usados nas simulações, especificações e argumentos para cada decisão relacionada ao

experimento. Além dessas características, o capítulo 4 mostra os resultados obtidos a partir do experimento feito assim como apresenta uma análise dos mesmos comparando as informações demonstradas em gráficos.

Por fim, o capítulo 5 analisa todos os aspectos desse trabalho e apresenta as conclusões obtidas a partir dessa análise, além de apresentar possíveis trabalhos que tem o potencial de desenvolver e oferecer mais benefícios ao estado da arte nos assuntos abordados por este trabalho em sua totalidade.

# 2

## Fundamentação Teórica

### 2.1 Blockchain

Segundo (CHRISTIDIS; DEVETSIKIOTIS, 2016), Blockchain foi introduzida com o Bitcoin como uma estrutura de dados distribuída que é replicada e compartilhada entre todos os membros de uma rede. Apesar de ser introduzida com o Bitcoin, o Blockchain por si só é autossuficiente, não precisando de criptomoeda para funcionar, basta entendê-lo como um log onde os registros são organizados em lotes de blocos marcados cronometricamente.

Nos dias atuais, criptomoedas tem se tornado a palavra da moda tanto na indústria quanto na academia. Como uma das criptomoedas mais bem-sucedida, Bitcoin tem aproveitado um enorme sucesso com o mercado financeiro chegando a 10 bilhões de dólares em 2016. Com uma estrutura de armazenamento de dados especialmente construída, transações em uma rede Bitcoin poderiam acontecer sem terceiros e o núcleo tecnológico para construí-lo é o blockchain, o qual foi primeiramente proposto em 2008 e implementado em 2009. (ZHENG et al., 2017)

O autor deixa claro que que Bitcoin é a utilização mais famosa para os algoritmos de blockchain. Neste contexto, fica claro que existe uma adaptação clara entre as duas ferramentas. O mais importante, contudo, é constatar que, conforme citado acima, o blockchain por si só é autossuficiente podendo sim ser utilizada em outras áreas de aplicação. Porém, as tentativas de aplicação de blockchain em outras áreas é muito recente. Não é exagero afirmar que ainda há muito a se desenvolver em blockchain.

Sendo assim, fica nítido que:

Blockchain - um tipo de tecnologia de registrador distribuído - tem sido descrito na imprensa popular como o próximo grande negócio. Simplificando, o blockchain é uma estrutura de dados que torna possível criar um registrador de transações digital a prova de alterações e compartilhá-las. Esta tecnologia utiliza criptografia de chaves públicas para assinar transações

entre partes. As transações são então armazenadas em um registrador distribuído. O registrador consiste de blocos de transações criptograficamente ligados, os quais formam uma corrente de blocos. É impossível ou extremamente difícil modificar ou remover blocos de dados que são guardados no registrador do blockchain. (KSHETRI, 2017)

Conforme verificado, o blockchain tem sido um assunto em alta tanto na academia quanto na indústria. Segundo (KSHETRI, 2017) trata-se inegavelmente de uma ferramenta autossuficiente. Conforme citado acima, reveste-se de particular importância o fato de Bitcoin não ser a única aplicação para esta ferramenta. Sob essa ótica, ganha particular relevância analisar outras aplicações em que os algoritmos de blockchain podem ser utilizados.

Pode-se dizer que o blockchain é uma ferramenta fundamental para criptomoedas e teve um recente crescimento no interesse se apoiando no interesse por estas. Neste contexto, fica claro que existe uma relação bem clara entre blockchain e Bitcoin mesmo este não sendo a sua única aplicação. O mais importante, contudo, é constatar que segundo (BISWAS; MUTHUKKUMARASAMY, 2017) "blockchain pode ser utilizado para qualquer tipo de transação sem intermediário", por exemplo, duas das aplicações mais utilizadas em algoritmos de blockchain são as aplicações de FinTech e mais comumente aplicações de IOT.

Dessa forma, fica notório que esse potencial de se utilizar blockchain para outras aplicações é benéfico já que:

Blockchain pode ser utilizado para qualquer forma de transações sem um intermediário. O benefício do blockchain é que um atacante deve comprometer 51% de seus sistemas para superar o poder de hash da rede alvo. Assim, é computacionalmente impraticável lançar um ataque contra uma rede de blockchain. (BISWAS; MUTHUKKUMARASAMY, 2017)

Conforme explicado acima, parece óbvio que há uma ligação do blockchain apenas com Bitcoin, mas não é bem assim, pois o autor deixa claro que o mesmo pode ser aplicado a outras áreas. Sob esse ponto de vista é interessante cada vez mais abrir as possibilidades para outras aplicações. Afinal, trata-se de algoritmos que podem trazer vários benefícios para diversas áreas como por exemplo a confiabilidade em redes que constantemente trocam informações sigilosas. Um bom exemplo é em redes para sistemas médicos, onde as informações são privadas e sensíveis a ataques.

### 2.1.1 Implementações de Registros Distribuídos

Segundo (PUŠTIŠEK; KOS, 2018), várias especificações e implementações de registros distribuídos estão disponíveis, mas existem três que se destacam como Ethereum, Hyperledge Fabric e IOTA. Apesar do Bitcoin ser o mais famoso protocolo de Blockchain ele se mostra muito limitado quando utilizado em soluções de IoT. Por este motivo serão abordados brevemente as implementações abordadas.

A intenção do Ethereum é criar um protocolo alternativo para construir aplicações

descentralizadas, provendo um conjunto diferente de trocas que serão úteis para uma larga classe de aplicações descentralizadas, com particular ênfase em situações onde rápido desenvolvimento, segurança para pequenas e raramente usadas aplicações e a habilidade de interação eficiente entre diferentes aplicações são importantes. (BUTERIN, 2013)

É possível confirmar que, segundo (PUSTIŠEK; KOS, 2018) este projeto emergiu como uma plataforma para sistemas financeiros (moedas, sistemas de tokens), sistemas semi-financeiros (votação online, governança descentralizada). Apesar disso, o autor deixa claro que o Ethereum tenha sido criado para atender uma larga escala de aplicações. Conforme citado acima, entende-se que há um potencial no Ethereum para utilização em IoT.

O protocolo Hyperledger Fabric é, segundo (PUSTIŠEK; KOS, 2018) implementada na plataforma de IoT IBM Watson que é uma plataforma BC-as-a-service (BaaS). Isto habilita os dispositivos IoT a enviar dados para registros blockchain privados com o intuito de incluir em transações compartilhadas com registros resistentes a alterações.

Já o IOTA se distingue dos demais por se basear em uma nova arquitetura de registros distribuídos sem blocos e por se utilizar de clientes mais leves o que o torna mais acessível para IoT. Segundo (PUSTIŠEK; KOS, 2018) o ponto chave para distinção comparado com as outras tecnologias é que esta foi inicialmente desenvolvida para abranger dificuldades encontradas em Iot.

### 2.1.2 Algoritmos de Consenso

Segundo (ZHANG; WEN, 2017), diferentemente de negócios eletrônicos tradicionais, não há terceira parte no caso de blockchain. Por este motivo, precisa-se de um mecanismo para dar segurança e efetividade quando se fala de blockchain em IoT. Durante os próximos parágrafos serão explanados alguns algoritmos que realizam essa tarefa em redes blockchain.

PoW (do inglês “Proof of Work”) é, segundo (ZHENG et al., 2017), uma estratégia de consenso usada em redes Bitcoin. Em PoW, cada nó da rede está calculando o valor hash do bloco header. Nesse tipo de estratégia, os nós mineradores necessitam fazer muitos cálculos, gastando muitos recursos dessa forma.

PoS (“Proof of Steak”) é um método poupador de energia alternativo ao PoW. Nós mineradores em PoS tem que provar a propriedade da quantidade da moeda. Acredita-se que pessoas com maiores valores seriam menos prováveis de atacar a rede. Comparado ao PoW, PoS poupa mais energia e é mais eficiente. Infelizmente, com o custo de mineração próximo a zero, ataques vem como uma consequência. (ZHENG et al., 2017)

Segundo (CHRISTIDIS; DEVETSIKIOTIS, 2016) PBFT (Practical Byzantine Fault Tolerance) envolve um protocolo de três fases e a noção de um nó primário (líder) que age como um bloco minerador. O líder pode ser mudado pelo resto da rede via um mecanismo de voto chamado “view-change”. A suposição que o PBFT se utiliza é de que menos de um terço dos nós

são faltosos.

Existe também o DPOS (Delegated proof of stake) que se difere da PoS principalmente pela democracia direta utilizada pela PoS enquanto a DPOS é representativamente democrática. Segundo (ZHENG et al., 2017), stakeholders elegem seus delegados para a validação do bloco, com isso a confirmação do mesmo é mais rápida, consequentemente as transações também são confirmadas mais rapidamente.

O algoritmo de consenso Ripple usa “subredes coletivamente-confiadas” chamada “Lista de Nós Únicos” (UNL) para negociar com altas latências que usualmente caracteriza sistemas tolerantes a BFT. Um nó precisa acessar apenas o UNL dele para alcançar o consenso, em vez de toda a internet. Pode tolerar menos que um quinto dos nós sendo faltoso. (CHRISTIDIS; DEVETSIKIOTIS, 2016)

Por fim, o Tendermint é uma estratégia de consenso em que o proponente seria selecionado para compartilhar como broadcast um bloco não confirmado naquela rodada. Segundo (ZHENG et al., 2017) esta estratégia pode ser dividida em três passos: pré voto, pré submissão e submissão. Em contraste com o PBFT, nós tem que trancar suas moedas para tornar-se validadores e caso um desses for descoberto como desonesto, o mesmo seria punido.

Quadro 1 – Comparação entre Algoritmos de Consenso mais utilizados.

Property	PoW	PoS	PBFT	DPOS	Ripple	Tendermint
Node identity management	open	open	permissioned	open	open	permissioned
Energy saving	no	partial	yes	partial	yes	yes
Tolerated power of adversary	<25% computing power	<51%stake	<33.3% faulty replicas	<51% validators	<20% faulty nodes in UNL	33.3% byzantine voting power
Example	Bitcoin	Percoin	Hyperledger Fabric	Bitshares	Ripple	Tendermint

Fonte: (ZHENG et al., 2017)

No Quadro 1, pode ser visualizada a comparação entre os algoritmos citados nesse trabalho, com informações como: gerenciamento de identidade de nós, economia de energia, poder tolerado de adversários e um exemplo de cada um deles.

## 2.2 Plataformas de Blockchain

### 2.2.1 Ethereum

Ethereum é uma plataforma de blockchain em que se constitui de uma rede de computadores com o objetivo de executar e validar códigos a partir de regras definidas por contratos. Para (Pelaitis; Spathoulas, 2018), o principal propósito do Ethereum é ser uma plataforma de aplicação descentralizada que permite construir e utilizar aplicações reais em uma estrutura de blockchain. O Ethereum apresenta a possibilidade de desenvolvedores implementarem códigos e executarem os mesmos em toda a rede a partir de contratos.

A plataforma Ethereum possibilita, portanto, a execução de aplicações distribuídas em sua rede. Segundo (Huh; Cho; Kim, 2017), a linguagem própria da plataforma permite que os códigos compilados pelos programadores executem na Ethereum Virtual Machine (Máquina Virtual Ethereum), desta forma combinando a computação do sistema com blockchain e dando aos desenvolvedores flexibilidade para escrever códigos que poderão executar na mesma o que torna esta plataforma única.

Conforme explicado acima é interessante, aliás, compreender que a EVM tem uma arquitetura baseada em pilha envolvendo ROM, memória e armazenamento de conta e consegue executar seu conjunto de instruções em Smart Contracts criados em linguagens como Solidity e Serpent. Assim que as funções são executadas, os estados são atualizados para atender a transação.

Conforme (Xu et al., 2018), os Smart Contracts são pedaços de código que são examinados pelo protocolo de consenso e então é executado na rede. Verificar ou implementar negociações ou regras de um contrato é o objetivo deste protocolo que permite aos usuários realizar estas tarefas sem a supervisão de uma terceira parte. O autor deixa claro que os Smart Contracts tornam o Blockchain uma ferramenta útil para várias aplicações em que existe uma terceira parte regulatória.

Resumindo, pode-se dizer que os Smart Contracts, como pedaços de código escritos em linguagens próprias da plataforma como Solidity e Serpent, são executados na EVM logo após passar por verificações e validações feitas pelos próprios usuários da rede. Entendendo esse processo fica claro como a plataforma Ethereum se constitui de uma rede em que as transferências (contratos) são executados sem a utilização de uma terceira parte regulatória o que de certa forma diminui os custos.

Conforme explicado acima, pode-se concluir que a plataforma Ethereum tem uma posição de destaque quando se fala em construção de aplicações distribuídas. Esse destaque se dá, por exemplo, pela quantidade de aplicações das mais diversas áreas que estão se beneficiando da mesma. De acordo com (Kim et al., 2019) Ethereum é uma plataforma mundial para implementação de sistemas distribuídos.

Como uma cripto moeda baseada em blockchain, (o Blockchain) oferece as mesmas características de pagamentos mobile, confiabilidade, controle total do próprio dinheiro, alta disponibilidade, pagamentos internacionais rápidos, taxas grátis ou de baixo custo, identidades protegidas, e privacidade. Ethereum, entretanto, oferece mais que habilitar transferências online de dinheiro digital; ele habilita seus usuários a construir e implantar smart contracts. [...] A principal modificação e inovação do Ethereum é ser um blockchain programável, ele permite seus usuários criarem, implantar e rodar aplicações descentralizadas no blockchain. (Cruz; Kaji; Yanai, 2018).

O autor deixa claro os benefícios da plataforma Ethereum em relação a outras cripto moedas puras, como por exemplo o bitcoin. Segundo ele, além de todos os benefícios oferecidos pelas cripto moedas comuns, essa plataforma apresenta os smart contracts. Essa característica fornece ao usuário a possibilidade de desenvolver e executar suas aplicações dentro da rede.

Portando, concluímos que a plataforma Ethereum é uma plataforma para implementação de smart contracts com o bônus de oferecer confiabilidade, disponibilidade, custo reduzido entre outros. Essa atribuição fornece uma arquitetura em que o usuário pode executar programas de forma distribuída. Além disso, esta plataforma oferece esses benefícios sem a necessidade de uma terceira parte regulando todo o processo e cobrando taxas por isso o que diminui o custo do serviço.

## 2.2.2 Hyperledger Fabric

Os Smart Contracts introduzidos pela plataforma Ethereum deram abertura para o uso dos Blockchains em diversas aplicações assim como para o desenvolvimento de outras plataformas, como é o caso da Hyperledger Fabric. Segundo (ANDROULAKI et al., 2018) o Hyperledger Fabric é uma plataforma de blockchain de código aberto e é usada em áreas como resolução de disputas, logísticas financeiras, segurança de alimentos, gerenciamento de contratos, procedência de diamantes, gerenciamento de recompensas, gerenciamento de identidade, entre outros.

A aparição de Smart Contracts é algo importante para a construção da plataforma Hyperledger Fabric. (Madala; Jhanwar; Chattopadhyay, 2018) afirma que nesta plataforma o Smart Contract é chamado chaincode, que, assim como o Smart Contract, é uma ferramenta central de uma aplicação distribuída em Hyperledger Fabric, inclusive sendo implantada, executada e validada por nós específicos na rede Hyperledger Fabric.

Conforme explicado acima é importante ressaltar a importância dos Smart Contracts, chamados de Chaincode na plataforma Hyperledger Fabric, para a sua usabilidade em aplicações diversas. Além disso é importante citar a disposição e os tipos de nós que podem ser encontrados em uma rede HF. Segundo (Madala; Jhanwar; Chattopadhyay, 2018) um blockchain Fabric consiste em três papéis: nós de peer, nós clientes e nós ordenadores de serviços.

O autor deixa claro a existência dos três tipos de nós. Para destrinchar o fluxo e o papel de

cada nó, (TIAN; HE; DING, 2019) explica que um cliente envia para alguns nós endossantes (nós de peer). Esses nós rodam um Chaincode especificado pela proposta e retorna endossamentos. Então os clientes empacotam a proposta e os endossamentos como uma transação para os nós ordenadores. Estes formam um bloco de acordo com algum algoritmo de consenso e envia o bloco para nós comitadores (nós de peer). Estes atualizam o registrador da Fabric. Um cliente pode subscrever eventos customizados produzidos por um Chaincode. Notificações dos eventos são obtidas pelo cliente quando o registrador é atualizado.

"A plataforma Hyperledger Fabric é uma plataforma de código aberto administrada pela Linux Foundation e é baseada em permissões, com isso requer que todos os interessados se registrem e obtenham uma identidade antes de tentar se conectar a rede e submeter transações"(LI et al., 2017). Conforme mencionado pelo autor, entende-se que a plataforma Hyperledger Fabric é relevante para diversas áreas de aplicações por todas as ferramentas que ela oferece em sua arquitetura, como por exemplo, o Chaincode.

Conforme explicado acima, a plataforma Hyperledger Fabric objetiva flexibilidade, mas não só isso, objetiva também resiliência, escalabilidade e confidencialidade, o que é atingido de forma inovadora pela forma como suporta a execução das aplicações distribuídas com a utilização de linguagens de programação padrão. É importante perceber que outras plataformas se utilizam de linguagens próprias para estas execuções, por exemplo, o Ethereum.

Projetado como um Blockchain de propósito geral modular e extensível, Fabric é o primeiro sistema de blockchain a suportar a execução de aplicações distribuídas escritas em linguagens de programação padrões, de uma forma que os permite serem executadas constantemente através vários nós, dando impressão de execução em um único computador blockchain distribuído globalmente. (ANDROULAKI et al., 2018).

O autor deixa claro a versatilidade da plataforma Hyperledger Fabric quando se fala em execução de aplicações distribuídas na rede. Essa versatilidade fica evidente ao saber que a execução de aplicações distribuídas na plataforma são feita a partir de códigos escritos em linguagens padrões, o que melhora em usabilidade a utilização da mesma.

Fica evidente, diante do quadro apresentado que a plataforma Hyperledger Fabric tem grande potencial de utilização em diversas aplicações, além de ter a facilidade de possibilitar o uso de linguagens padrões para seus usuários. Além disto, a plataforma apresenta uma abordagem diferenciada para o desenvolvimento e execuções em seu sistema de Blockchain.

### 2.2.3 IOTA

Uma das aplicações que mais são utilizadas em arquiteturas blockchain são as aplicações de IOT, pensando nesse contexto, foi criada uma plataforma de blockchain voltada para estas aplicações, dando-a o nome de IOTA. (Pervez et al., 2018) afirma que IOTA é um registro distribuído sem permissões desenvolvido especialmente para a indústria IOT. Para compatibilizar

com esta aplicação, algumas mudanças são feitas.

Portanto a plataforma IOTA foi desenvolvida para aplicações de Internet das coisas e tem alguns ajustes para ser compatível com a mesma. Segundo (JIANG et al., 2019) um blockchain público tem problemas como a falta de escalabilidade e altos custos transacionais, ele não é particularmente aplicável para cenários IoT, já tecnologia utilizada pelo IOTA Tangle chamada TDAG (Transações baseadas em Grafos Acíclicos Direcionados) pode ser uma solução para a vasta e crescente escala da aplicação IoT. A tecnologia tem baixa latência para micro pagamentos em um M2M/P2P descentralizado.

Conforme explicado acima é interessante perceber que os esforços para criar uma plataforma com maior escalabilidade foram feitos para que sistemas de IoT, que tendem a necessitar de uma escalabilidade maior, fossem mais compatíveis. Outra característica que pode ser saltada da explicação no parágrafo anterior é em relação à velocidade das transferências realizadas para micro pagamentos, isso ocorre pela mudança na estratégia inclusão do bloco na rede, utilizando uma estrutura de DAG e deixando a responsabilidade para cada nó executar a inclusão.

Fica evidente que as alterações realizadas para a então criação da plataforma IOTA viabilizam um maior suporte às aplicações de IoT, além disso insere novas características como por exemplo as micro transações. Pode-se ainda verificar como um benefício da plataforma, a não aplicação de tarifas nas transferências por facilitar o processo de inserção de blocos.

## 2.2.4 Comparação entre as Plataformas

Devido ao recente desenvolvimento de blockchain algumas arquiteturas vêm surgindo, como é o caso do Ethereum, Hyperledger e IOTA. Apesar de ambas serem arquiteturas de blockchain, existem algumas diferenças entre elas como por exemplo o algoritmo de consenso, confidencialidade de seus dados.

“Os algoritmos de consenso mais utilizados incluem proof of work (POW), proof of stake (POS), practice byzantine fault tolerant (PBFT) e IOTA (Tangle)” (JIANG et al., 2019). Essa informação pode ser vista no Quadro 2 onde o Ethereum se utiliza dos algoritmos POS ou POW (a substituição de POS para POW está sendo realizada), o Hyperledger fabric pode na realidade utilizar qualquer um dos algoritmos segundo (SARAF; SABADRA, 2018) e o IOTA utiliza o Tangle.

Outro ponto de comparação entre as plataformas é a confidencialidade, onde encontramos de forma transparente no ethereum, diferentemente do hyperledger fabric onde as transações são confidenciais, já no IOTA a confidencialidade foi mantida. Segundo (Pervez; Haq, 2019) transparência é considerada uma chave para um negócio de sucesso, por exemplo, compartilhando dados entre as partes de um supply chain e preservando a privacidade pode influir até na eficiência do mesmo.

Quadro 2 – Comparação entre as plataformas de blockchain.

<b>Característica por Tecnologia</b>	<b>Ethereum</b>	<b>Hyperledger Fabric</b>	<b>IOTA</b>
Algoritmo	Proof of Stake/- Proof of Work	Apache Kafka	Proof of Work – Tangle
Confidencialidade	Transparente	Transações confi- denciais	Mantida
Criptomoeda	Sim (Ether)	Não	Sim
Smart Contracts	Disponível	Disponível	Em progresso
Descentralizado	Sim	Sim	Parcialmente
Taxas	Sim (Podem ser al- tas)	Sim	Não
Finalidade	Plataforma para ne- gócios B2C e apli- cações gerais	Plataforma preferí- vel para negócios B2B	M2M (máquina para máquina) IOT

Fonte: (Pervez; Haq, 2019)

Já em relação a smart contracts percebemos a disponibilidade nas plataformas ethereum e hyperledger fabric além da IOTA em fase de desenvolvimento. Isso é compreensível já que segundo (Pervez; Haq, 2019) os smart contracts são uma das tecnologias, dentro do blockchain, responsáveis pela eliminação de uma terceira parte de confiança.

Por fim é perceptível que existem funcionalidades e usabilidade para cada uma das três plataformas utilizada neste capítulo, entendendo-se assim que existe aplicações em que o ethereum é mais utilizável, assim como outras aplicações podem ser mais utilizáveis em hyperledger fabric ou IOTA. Além disso ainda há a possibilidade de se utilizar mais de uma plataforma para executar ações em uma mesma rede de blockchain.

## 2.3 Aplicações de Blockchain

Devido ao recente desenvolvimento de plataformas e algoritmos, e por suas características, (descentralizado, segurança, irreversibilidade, entre outras) o blockchain vem atraindo cada vez mais interesse do público acadêmico em algumas áreas onde as características citadas são desejáveis. Apesar de existirem mais aplicações, nesta dissertação iremos focar nas 7 aplicações que foram mais citadas em revisões feitas na literatura.

### 2.3.1 Energia

Com o desenvolvimento e popularização de tecnologias de energia renovável como painéis solares, os consumidores deixaram de ser apenas consumidores e passaram também a produzir energia. Esse fato apresenta uma nova oportunidade para o uso de Blockchain, estes mesmos usuários deixaram de apenas consumir e podem também negociar. (RATANASOPITKUL, 2019)

afirma que a tecnologia blockchain chamou a atenção de uma revolução energética onde os consumidores poderiam produzir e vender eletricidade. Como afirma o autor, estas alterações irão levar a indústria a focar em trocas de energia de ponto a ponto.

Além do controle do mercado de eletricidade entre dois consumidores, o Blockchain tem o potencial de criar comércios locais de energia democratizando assim o setor. Uma outra aplicação desta técnica é na área de segurança em grids de energia, segundo (JAOUDE; SAADE, 2019) o Blockchain apresenta uma solução para o dilema de digitalização da energia devido ao uso de smart contracts para o gerenciamento de trocas energéticas.

Conforme explicado acima, podemos ver que novas portas para a utilização de Blockchain têm se aberto na área de energia e não apenas isso como essa ferramenta tem o potencial de revolucionar a forma como se tem comercializado energia. O desenvolvimento do uso de microgrids gerenciadas por plataformas de blockchain pode gerar um maior interesse na população de produzir energias renováveis gerando assim um mercado energético mais concentrado em comércios locais.

Microgrid pode ser descrita como um aglomerado de cargas, recursos de energia descentralizados (DER) (por exemplo painéis fotovoltaicos, geradores a diesel) e sistemas de armazenamento de energia (ESS) (por exemplo baterias e flywheels), os quais são operados em coordenação com o fornecimento de eletricidade de forma confiável. Uma microgrid pode ser conectada em um ponto de acoplamento comum com a rede de distribuição. (GORANOVIC et al., 2017)

Fica evidente, diante desse quadro que a utilização de blockchain em energia é necessária e trás grandes benefícios para a sociedade em geral. É importante salientar que esta utilização tem o potencial de alavancar o uso de energias renováveis e não só isso, mas também reformular a forma como o mercado de energia vem sendo feito até hoje.

### 2.3.2 IOT

Pode-se dizer que Blockchain é um substituto para algoritmos que realizam controle de acesso e transações realizando esse controle de forma distribuída entre os próprios dispositivos inseridos na rede. Nesse contexto, Blockchain é um gravador de registros descentralizado que guarda transações entre computadores de forma que estas não possam ser alteradas retrospectivamente (KREKU et al., 2017). O mais importante, contudo, é constatar que esse tipo de abordagem oferece um modelo seguro em que as transações serão realizadas de maneira válida.

Pode-se também entender blockchain como uma rede descentralizada de entidades computacionais que são bases para executar transações de bitcoin entre as mesmas através de moedas digitais (SANKARAN; SANJU; ACHUTHAN, 2018). Neste cenário, é importante constatar que blockchain tem um grande potencial para atender requisitos de segurança em redes distribuindo as tarefas entre os dispositivos participantes da mesma.

Conforme explicado acima, é interessante afirmar que blockchain foi primeiramente proposto como uma forma de alcançar pagamentos eletrônicos de ponto a ponto como por exemplo no gerenciamento de transações em bitcoin (DONG; LUO; LIANG, 2018), o que tornou essa associação com moedas digitais muito comum. Apesar deste fato, gerenciamento de moedas virtuais não é a única aplicação em que se pode utilizar blockchain.

Conforme verificado, tecnologias blockchain são popularmente conhecidas como fundamentos para o gerenciamento de criptomoedas, porém o autor deixa claro que várias outras possibilidades em diversas áreas de aplicações também são oferecidas. Seria um erro atribuir gerenciamento de moedas digitais como sendo um único fim. Assim, reveste-se também de importância para o blockchain aplicações como FinTech e IoT. (PUSTIŠEK; KOS, 2018)

Conforme os autores citados anteriormente, existe um leque de opções para utilizar os algoritmos de blockchain. Um pensamento que corrobora com essas informações é descrito em (BRAGADEESH; UMAMAKESWARI, 2018) que diz que apesar de setor financeiro ter sido o primeiro alvo para executar o potencial completo de Blockchain, é reconhecido hoje que isso pode ser estendido a múltiplos setores como por exemplo saúde, educação, energia, entre outros.

Apesar de o algoritmo não se comportar muito bem em algumas situações em arquitetura IoT, existe ainda muito campo a ser explorado por ser uma área de estudo criada recentemente. Mesmo não sendo muito desenvolvido existem diversas implementações de registradores distribuídos, valendo ressaltar três deles: Ethereum, Hyperledger Fabric e IOTA. (PUSTIŠEK; KOS, 2018)

Como é possível perceber observando o modelo apresentado na Figura 1, a utilização de Blockchain em IoT é extremamente viável e pode representar avanços na segurança da informação. Os componentes mais importantes da infraestrutura incluem: armazenamento de dados distribuídos e plataforma de verificação baseados em Blockchain, ambiente de sensores onipresentes baseados em IoT e sistema de serviço de entrega multidimensional baseado em nuvem. (DONG; LUO; LIANG, 2018)

### 2.3.3 Saúde

Em um sistema de informação na área da saúde há a necessidade de se manter o sigilo de certas informações assim como o controle de permissões para acessar essas informações. Segundo (GAO; HATCHER; YU, 2018) serviços médicos, que são altamente regulamentados, são altamente interessados em proteger os dados de pacientes devido à natureza sensível e privada desses dados, por este motivo muito se desenvolve em relação à segurança dos mesmos.

Esse quadro abre uma série de possibilidades para a utilização de blockchain na área de saúde assegurando que as informações não sejam acessadas por qualquer pessoa. Segundo (DIMITROV, 2019) o crescimento dos dados relacionados à saúde, a privacidade desses dados e a forma como eles estão sendo armazenados na nuvem geram muitas oportunidades na área de

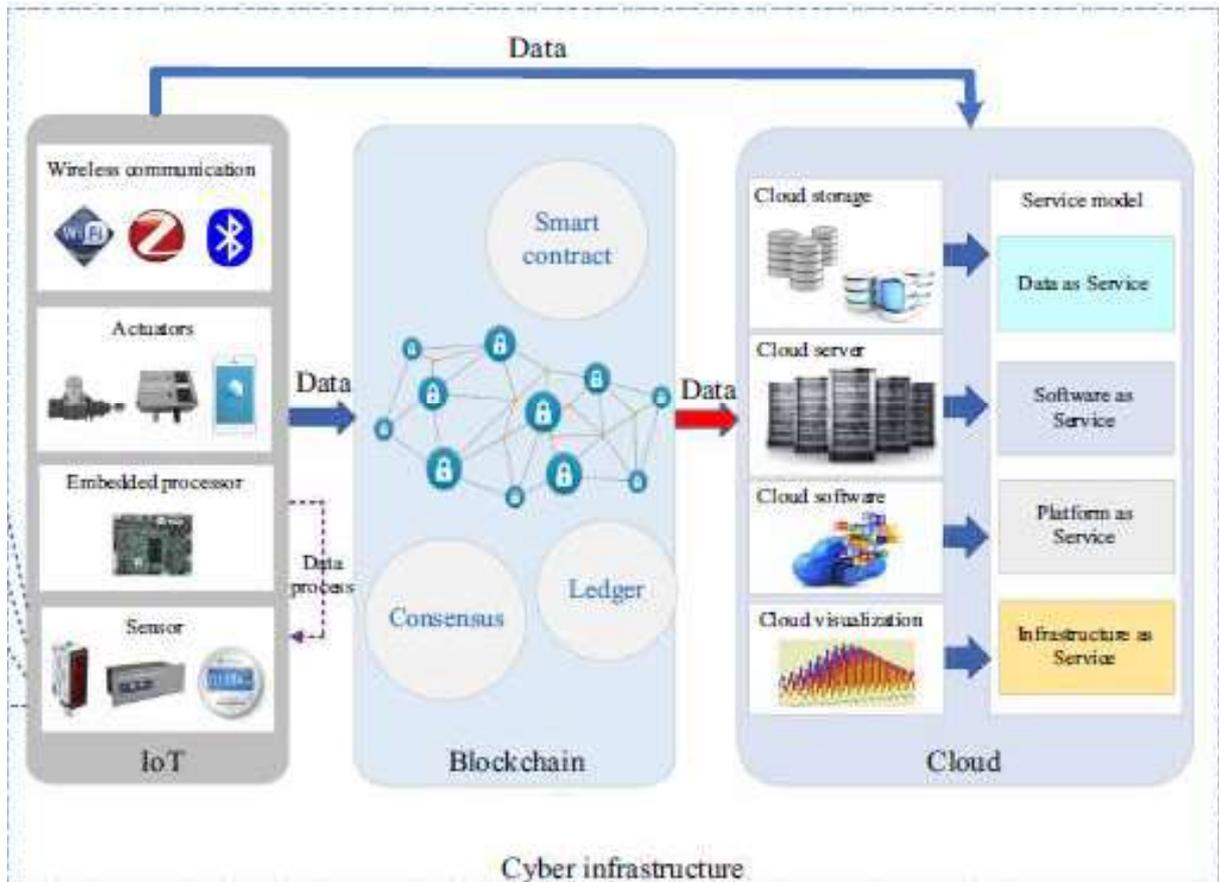


Figura 1 – Infraestrutura de um exemplo de sistema IoT que utiliza blockchain. Extraído de (DONG; LUO; LIANG, 2018)

segurança dessas informações. O autor ainda cita algumas áreas que tem um potencial de utilizar o blockchain como ferramenta, são elas: gerenciamento de prontuário eletrônico, proteção de dados de saúde, gerenciamento de dados pessoais de saúde e predisposições genéticas.

Conforme explicado acima, a área da saúde apresenta várias aplicações em que se exige privacidade dos dados armazenados ou nas trocas desses dados, casos em que o blockchain pode servir como solução. É importante ressaltar que nessa área as informações devem ser não só armazenadas de forma segura como também transferidas, por este motivo existe uma quantidade de relevante de usos do blockchain nela.

A área da saúde é uma indústria que tem requerimentos únicos associados com segurança e privacidade devido a requerimentos legais adicionais para proteger informações médicas de pacientes. Na era da internet onde compartilhamento de registros e dados tem se tornado predominante em armazenamento na nuvem e a adoção de dispositivos móveis de saúde, assim também é o risco de ataques maliciosos e comprometimento de informações privadas além de seus compartilhamentos. (MCGHIN et al., 2019)

Vê-se, pois, que essa realidade traz várias possibilidades para a utilização de blockchain. De acordo com tudo que foi falado neste capítulo fica evidente que o desenvolvimento de sistemas

de blockchain na área de saúde é uma tendência e deve ser implementado com maior frequência em trabalhos futuros tornando-se assim um padrão.

### 2.3.4 Supply Chain

A possibilidade de saber a origem e rastrear cada passo da produção de um item é desejável tanto para a indústria como para o consumidor final e pode ser alcançado de forma mais eficaz e segura com a utilização de Blockchain. (Mohanta; Panda; Jena, 2018) afirma que o gerenciamento de Supply Chain consiste em diferentes níveis de transação, em que cada nível tem alguns termos e condições. Ele apresenta ainda diferentes setores dessa aplicação como por exemplo sistema de processamento alimentar, o setor de transporte e o sistema de embarque.

Dentre as aplicações citadas pode-se perceber a importância, por exemplo, do gerenciamento do processamento alimentar, um dado que pode contribuir com essa situação vem do Centro Norte Americano de Controle de Doenças (CDC) que estima que 48 milhões de pessoas adoecem através da alimentação, 128 mil são hospitalizadas e 3 mil morrem a cada ano apenas nos Estados Unidos. Por estes motivos, (Mondal et al., 2019) afirma que dentre vários desafios do desenvolvimento de Supply Chain, segurança de alimentos e seus impactos no ambiente devido ao desperdício são de maior relevância.

Conforme explicado acima, o Supply Chain tem uma importância fundamental para o conhecimento da origem, produção e autenticidade de produtos industrializados ou até mesmo agrícolas, produtos estes que vão de um carro a uma simples fruta. É necessário também entender que a utilização do Blockchain como um registrador nesse contexto aumenta a confiabilidade nesse processo de rastreamento.

Em todos os casos o banco de dados para o registrador digital (blockchain) deixa o sistema mais transparente, confiável, e o mais importante, sem o envolvimento de uma terceira parte. Sistemas Blockchain fazer o setor de Supply Chain mais confiável, tudo está presente no sistema aberto de forma distribuída. (Mohanta; Panda; Jena, 2018)

Vê-se, pois, que essa realidade abre oportunidades para a utilização do blockchain como um registrador distribuído em sistemas de Supply Chain, tendo o potencial de melhorar a segurança e a confiabilidade do sistema. Além disso é perceptível que o Blockchain possibilita o rastreamento de todo o processo industrial ou agrícola até chegar ao consumidor final de forma mais efetiva.

### 2.3.5 Aplicações Financeiras

O Blockchain foi criado por autor de codinome Satoshi Nakamoto com o objetivo de criar um sistema financeiro denominado Bitcoin, por este motivo, aplicações financeiras são as mais famosas quando se fala em blockchain. (Mohanta; Panda; Jena, 2018) confirma a afirmação

acima dizendo que o blockchain foi inventado para ser usado em sistemas financeiros e por ele ser um sistema que se utiliza de transações P2P não é necessário um servidor central.

Apesar de moedas virtuais serem a aplicação mais famosa de arquiteturas blockchain na área financeira, ela não é a única aplicação nesta área. (CHEN et al., 2018) deixam claro que além de serem utilizadas em criptomoedas, o blockchain tem o potencial de ser utilizado em serviços financeiros, incluindo negociações de ações na bolsa, pagamentos além de fronteiras, acordos de recompra e identidades digitais.

Fica claro que existe uma variedade de aplicações na área financeira em que o blockchain pode ser empregado conforme explicado acima. Devido à característica de ser um sistema distribuído, não necessitando de um servidor central ou uma terceira parte para regular as transações, o blockchain apresenta um uso potencial em aplicações em que se necessita de um intermediário.

Pagamentos ponto-a-ponto podem também ser implementados tecnologia blockchain, eliminando assim o elo intermediário de instituições financeiras, o que irá promover grandemente a eficiência do serviço e reduzir os custos de transações bancárias. Isso irá também habilitar bancos a satisfazer os requerimentos para pagamentos de atividades comerciais internacionais de maneira rápida e conveniente. (GUO; LIANG, 2016).

É preciso ressaltar que, apesar de criptomoedas serem as aplicações mais famosas nessa área por conta da explosão de interesse nos últimos anos, existem diversas outras aplicações em que o blockchain pode ser usado. Devido à sua característica de ser regulamentado pelos próprios nós da rede, este sistema auxilia na redução de custos e agilidade nas transações e apresenta um grande potencial de uso em uma gama de aplicações.

### 2.3.6 Educação

Assim como as outras aplicações citadas anteriormente, a área de educação também vê benefícios na utilização de plataformas de Blockchain para diminuir e até mesmo solucionar problemas encontrados. Segundo (JAOUDE; SAADE, 2019) a maioria das transações entre indivíduos (financeiras, educacionais, etc) são centralizadas em uma terceira parte confiável. Pensando nisso, existem algumas operações em um sistema educacional em que esse gerenciamento de transações pode ser feito através de uma Blockchain.

Avaliar e classificar alunos em seleções e gerenciamento de créditos educacionais para alunos são exemplos de operações de um sistema educacional em que o Blockchain pode ser útil. Alguns trabalhos estão sendo desenvolvidos nesse escopo como por exemplo uma plataforma de créditos para educação superior (Turkanović et al., 2018) (Pelaitis; Spathoulas, 2018) e um sistema de avaliação de habilidades operacionais para educação digital (WU; LI, 2018) (Pokrovskaja; Spivak; Snisarenko, 2018).

Apesar de não haver uma quantidade relevante de trabalhos desenvolvidos em blockchain

que são aplicados na área de Educação, conforme explicado acima existem áreas em que podem ser extraídos benefícios deste uso. De forma geral, as aplicações mencionadas acima podem ser resumidas em aplicações em que necessita-se de uma terceira parte de confiança.

É possível observar que não se tem muitos trabalhos nesta área e um dos motivos disso é que o blockchain em si ainda é algo recente e que precisa de mais pesquisa, sendo assim essa é uma área em desenvolvimento potencial. Apesar de não existir muita literatura, percebe-se que o blockchain pode sim contribuir para a área.

### 2.3.7 Governo

A área governamental tem se interessado por plataformas blockchain por elas conseguirem fornecer transações não só financeiras ou de coisas palpáveis mas também de informações de forma segura. Segundo (MANSKI, 2017) Blockchains estão sendo abertamente usados para democratizar funções que anteriormente eram do Estado, assim como, realocar essas funções para setores cooperativos.

A necessidade de uma plataforma em que artefatos e informações sejam transferidas de maneira segura e de forma que essas mesmas transferências fiquem registradas de modo a serem rastreadas é uma característica almejada pelo sistema governamental, por conta disso é possível visualizar claramente o interesse dessa área. Um excelente exemplo é em relação a eleições, segundo (Shukla et al., 2018) situações em que existem indivíduos ou associações tentando assumir o controle de uma votação de forma ilegal podem ser evitados se o processo de votação for seguro e transparente, características possíveis em uma plataforma blockchain.

Governos de todo o mundo estão conduzindo projetos pilotos usando tecnologias de blockchain. Aplicações governamentais de blockchain são diversas incluindo identidade digital, armazenamento de decisões judiciais, financiamento de prédios escolares e rastreamento de dinheiro, estado civil, voto eletrônico, licenças de trabalho, passaportes, registros criminais e ainda registros de taxas. (ØLNES; UBACHT; JANSSEN, 2017)

Conforme explicado acima, fica claro que o potencial de desenvolvimento de aplicações na área governamental é vasto e deve estar sendo explorado cada vez mais com o desenvolvimento de técnicas e ferramentas de blockchain. É também importante ressaltar a importância do desenvolvimento dessa área já que a mesma gera consequências para toda uma sociedade.

## 2.4 Microgrids de Energia Renovável

Microgrid pode ser descrita como um aglomerado de cargas, recursos energéticos descentralizados (DER) que podemos citar exemplos como placas solares, geradores a diesel e sistemas de armazenamento de energia (ESS) que o exemplo mais comum são as baterias. Toda essa estrutura deve ser operada em coordenação para fornecer eletricidade de forma confiável.

(GORANOVIC et al., 2017)

Pode-se entender então a microgrid como uma estrutura com a intenção de fornecer eletricidade de maneira confiável, pode-se também acrescentar a essa definição o que (SERNA-SUAREZ; ORDÓÑEZ-PLATA; CARRILLO-CAICEDO, 2015) fala sobre esse tema, segundo ele uma microgrid:

- Deve incluir um sistema de distribuição de energia elétrica ou uma porção desse sistema;
- Tem DERs e cargas;
- Pode operar conectado a uma grid principal (modo conectado a grid) ou independentemente dela (modo ilhado);
- É intencional e planejado.
- É também importante citar que as DERs podem incluir sistemas de geração distribuídas e/ou sistemas de armazenamento distribuídos.

Conforme explicado acima é interessante, aliás, afirmar que uma microgrid pode ser estruturada de forma distribuída diferentemente de uma smartgrid que precisa necessariamente interagir com um sistema de gerenciamento centralizado. Isso quer dizer que não há a possibilidade de existir a produção e gerenciamento de energia de forma a serem feitos de forma distribuída.

Colaborando com a informação de que uma smart grid não conseguiria gerenciar uma rede de produção de energia distribuída, (MYUNG; LEE, 2018) define smart Grid como a combinação da tecnologia da informação e da grid de energia que gerencia a energia pela interação entre produtores e consumidores através de trocas de informações em tempo real. Além disso ele também afirma que a smart grid ainda exige sistemas de gerenciamento centralizados.

Por fim, por permitir o gerenciamento em um sistema descentralizado, ou seja, onde os produtores de energia possam estar separados entre si, a microgrid possibilita a utilização do potencial do blockchain. Isso porque o blockchain consegue distribuir o processamento deste gerenciamento entre os nós participantes da rede, no ambiente utilizado neste trabalho são as casas que produzem energia em suas placas solares.

# 3

## Metodologia

Esse estudo tem por finalidade realizar uma pesquisa aplicada, uma vez que utilizará conhecimento da pesquisa fundamental para resolver problemas.

Para um melhor tratamento dos objetivos e melhor apreciação desta pesquisa, observou-se que ela é classificada como pesquisa exploratória. Detectou-se também a necessidade da pesquisa bibliográfica no momento em que se fez uso de materiais já elaborados: livros, artigos científicos, revistas, documentos eletrônicos e enciclopédias na busca e alocação de conhecimento sobre o uso de ferramentas de blockchain como forma de verificar a viabilidade em gerenciamento de redes de energia renovável, correlacionando tal conhecimento com abordagens já trabalhadas por outros autores.

A pesquisa assume como pesquisa experimental, sendo exploratória, por sua vez, proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o explícito ou construindo hipóteses sobre ele através de principalmente do levantamento bibliográfico. Por ser um tipo de pesquisa muito específica, quase sempre ela assume a forma de um estudo de caso (GIL, 2008)

Como procedimentos, podemos citar a necessidade de pesquisa bibliográfica, isso porque faremos uso de material já publicado, constituído principalmente de livros, também entendemos como um procedimento importante a pesquisa experimental como procedimento técnico. Tem-se como base para o resultado da pesquisa os resultados de experimentos.

A abordagem do tratamento da coleta de dados da pesquisa experimental será quantitativa, pois requer o uso de recursos e técnicas de estatística, procurando traduzir em números os conhecimentos gerados pelo pesquisador. Existirão Gráficos;

O problema foi direcionando a pesquisa para as áreas de gerenciamento de redes de energia sustentável e ainda a pesquisa como experimental, sendo este com a aplicação de ferramentas de blockchain uma análise geral como forma de verificar a viabilidade em gerenciamento de redes de energia renovável;

Para alcançar tais objetivos, foi necessário a realização das seguintes atividades:

1. Mapeamento sistemático;
2. Revisão sistemática;
3. Planejamento do experimento;
  - Seleção de plataforma de blockchain;
  - Escolha de ferramentas para simulação de produção energética;
  - Desenvolvimento do ambiente de simulação;
  - Desenvolvimento de scripts para captação de sensores;
  - Desenvolvimento de scripts para automação das execuções;
  - Realização do experimento;
  - Análise e interpretação dos dados coletados;

### 3.1 Mapeamento Sistemático

O presente capítulo tem como objetivo apresentar o atual estado da utilização de algoritmos Blockchain e suas plataformas. Para atingir esse objetivo foram escolhidas para realização das buscas de artigos as seguintes bases de artigo: Scopus e IEEE.

Foi utilizada uma string de busca personalizada para cada repositório baseadas na string de busca geral que está descrita na Tabela 2. Utilizando as strings personalizadas para cada base, foram encontrados 412 trabalhos. No estágio de seleção foi verificado que existiam 81 trabalhos duplicados e 226 documentos não atendiam a nenhum dos critérios de seleção como apresentar uma aplicação do blockchain ou apresentar descrição de uma plataforma de blockchain, estar disponível na plataforma CAPES, sobrando assim 105 trabalhos para o estágio de extração.

Quadro 3 – Tabela descrevendo a string de busca geral a qual as strings de cada repositório se basearam..

<b>String de Busca Geral</b>
TITLE-ABS-KEY ( "BLOCKCHAIN APPLICATION"OR "BLOCKCHAIN PLATFORM"OR "BLOCKCHAIN ARCHITECTURE") AND NOT ( TITLE-ABS-KEY ( "BLOCKCHAIN APPLICATION") AND TITLE-ABS-KEY ( "BLOCKCHAIN PLATFORM"OR "BLOCKCHAIN ARCHITECTURE") )

A partir dos 105 trabalhos foi feita a extração verificando todo o documento e foi constatado que existiam ainda 8 documentos a ser rejeitados e 1 documento duplicado, restando apenas 96 documentos aceitos. Para a construção dos gráficos foram utilizadas informações advindas das bases de dados transformadas em arquivos Bibtex. Em alguns casos as informações não estavam presentes também nos arquivos e por este motivo não foram coletadas.

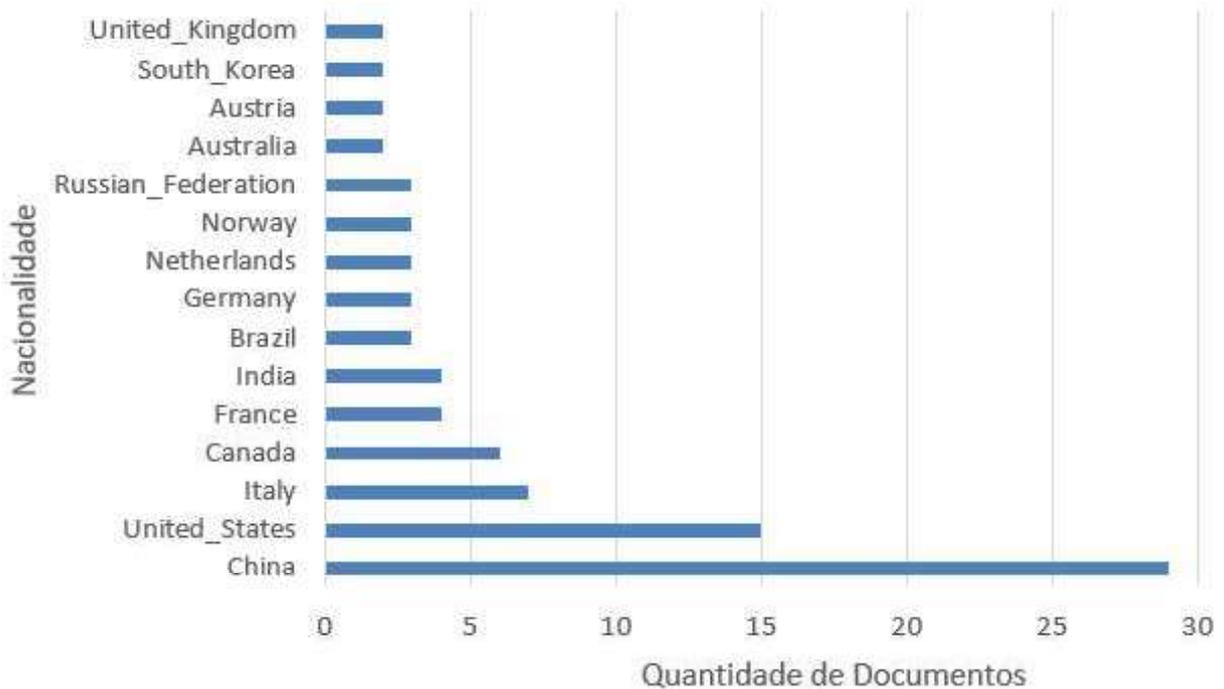


Figura 2 – Distribuição de artigos disponíveis nas bases por nacionalidade do autor. Os valores foram calculados levando em consideração a nacionalidade de cada autor, não necessariamente o primeiro.

A Figura 2 mostra a distribuição de artigos disponíveis nas bases por países. Pode-se verificar que o país que apresentou maior quantidade de autores foi a China (29), seguida pelos Estados Unidos (15) e Itália (7). O Brasil ficou em sétimo com 3 autores envolvidos, além dos países citados na figura Bélgica, Bulgária, Jordânia, Paquistão, Portugal, Singapura, Suécia, Tailândia e Emirados Árabes Unidos aparecem com apenas um autor envolvido cada.

Como apresentado acima, pode-se verificar que há uma concentração de pesquisa na área nas grandes potências China e Estados Unidos, é interessante também salientar a diferença entre os dois com a China apresentando quase o dobro de autores envolvidos em relação aos Estados Unidos.

Além da nacionalidade de cada autor, foi coletado também o ano de publicação dos artigos. Fica evidente, observando a Figura 3 que o assunto trabalhado nesta pesquisa se encontra em ascensão visto que as buscas foram feitas entre o final do primeiro e início do segundo semestre de 2019, dando a possibilidade assim de a quantidade de documentos publicados serem maior do que no ano anterior assim como tem sido nos últimos anos.

Fica evidente que o interesse em plataformas e aplicações de blockchain tem se expandido durante os anos anteriores e tem um grande potencial de continuar crescendo tendo em vista a gama de aplicações em que o mesmo pode ser utilizado, a tendência é que esse crescimento continua acontecendo.

Foram extraídas também informações sobre a aplicação na qual a publicação trabalhava.

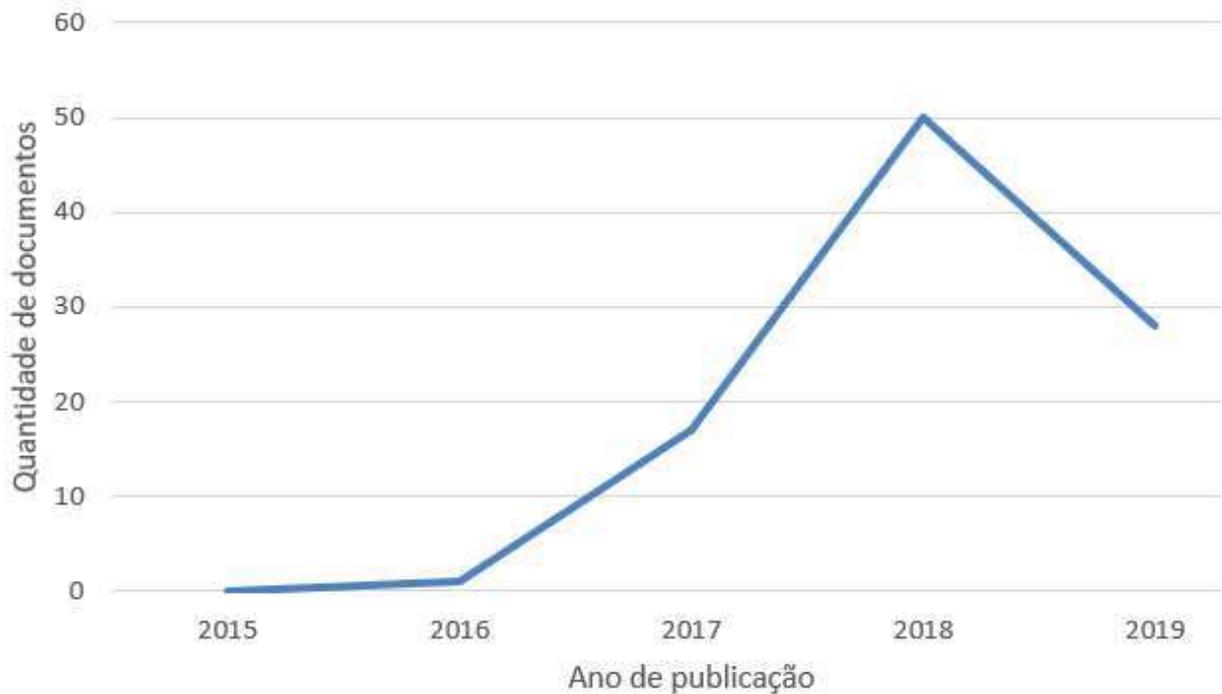


Figura 3 – Distribuição de artigos publicados nas bases por ano de publicação.

Observando a Figura 4 pode-se verificar a grande variedade de aplicações em que o blockchain tem o potencial de ser desenvolvido para agregar melhorias. Dentre as aplicações mais utilizadas estão Energia, IOT e Saúde que apresentam maior interesse da comunidade acadêmica. Além das aplicações apresentadas no gráfico, outras também foram citadas como redes sociais, mobile, economia compartilhada, logística, computação em nuvem, astronomia, e-commerce (marketplace) e inteligência artificial, todos eles com apenas um artigo.



Figura 4 – Distribuição de artigos publicados nas bases por aplicação.

No Subcapítulo 2.3, são descritas as sete aplicações mais utilizadas pelos artigos encontrados na revisão, lá é possível entender um pouco melhor como o blockchain é utilizado em cada uma dessas aplicações e algumas sub aplicações que estão dentro desse contexto.

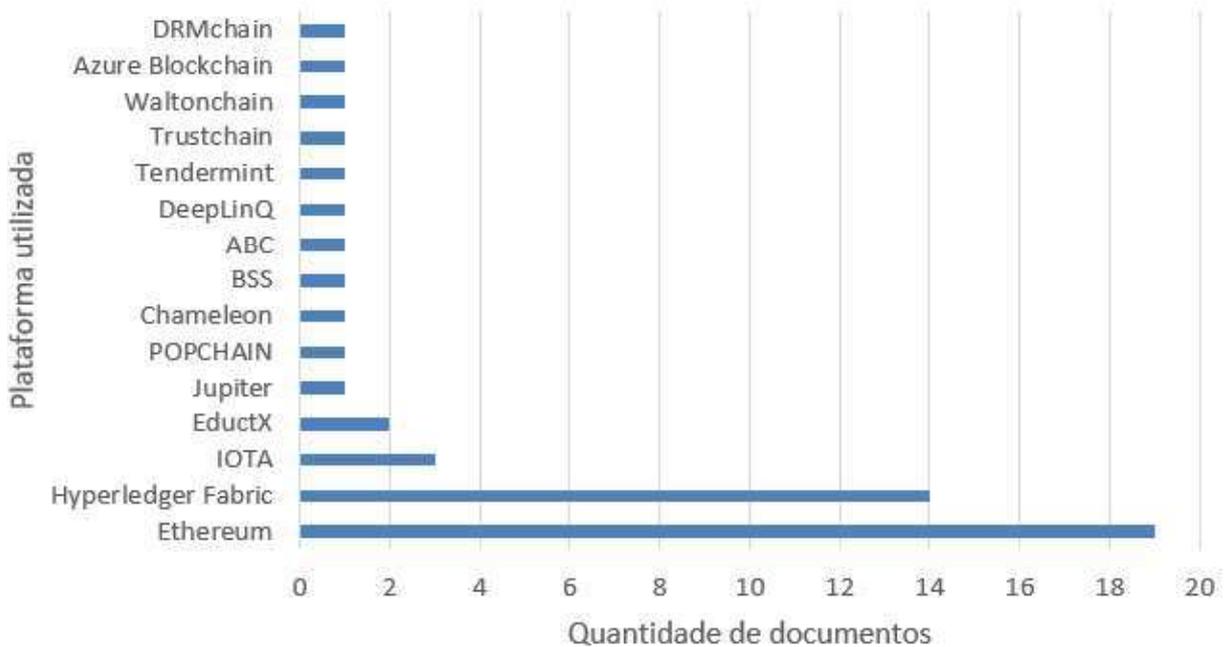


Figura 5 – Distribuição de artigos publicados nas bases por plataforma.

Por fim, a Figura 5 apresenta todas as plataformas que foram utilizadas ou até mesmo modeladas pelos artigos buscados nas bases. Dentre elas, as que se sobressaem e tem mais visibilidade são o Ethereum, Hyperledger Fabric e IOTA, as outras plataformas apresentam apenas um artigo citando, com exceção da EductX com duas citações, porém dos mesmos autores.

No Subcapítulo 2.2, são descritas as três plataformas mais utilizadas pelos artigos encontrados na revisão, lá é possível entender um pouco melhor como cada uma delas funciona e quais as características que elas tem em comum assim como as suas diferenças.

Concluindo, fica evidente que o tema blockchain é uma tendência na academia por ser um tema recente, ter o potencial de ser utilizado em diversas áreas e apresentar plataformas com características diferentes para a utilização de forma mais clara dos algoritmos. Após a finalização da revisão da literatura, foi escolhida a aplicação energia para ser desenvolvida no presente trabalho.

## 3.2 Revisão Sistemática

Após todo o processo de busca, seleção, extração e análise dos dados obtidos, foi percebido que a área de Energia tem apresentado grande interesse pela academia e tem muito ainda para se desenvolver. Tendo isso em vista, o presente trabalho irá focar a revisão sistemática na utilização das três plataformas mais citadas (Ethereum, Hyperledger e IOTA) em aplicações de

energia para assim demonstrar o estado da arte e quais os aspectos que tem sido mais explorado pela academia.

O trabalho “Blockchain-Based and Multi-Layered Electricity Imbalance Settlement Architecture” de (Danzi et al., 2018) apresenta uma arquitetura de grids de energia utilizando Ethereum para permitir o uso de respostas por demanda (do inglês Demand response “DR”) nas negociações e de forma descentralizada diminuir o custo de balanceamento. Além de utilizar uma outra rede de blockchain para agilizar o processo de balanço de mercado utilizando consolidações de crédito auditáveis e rápidas. Os testes realizados apresentaram uma redução considerável nos custos de balanceamento nas transferências de energia em consumidores flexíveis.

(MANNARO; PINNA; MARCHESI, 2017) publicaram o projeto “Crypto-Trading: blockchain-oriented energy market” onde eles apresentam um modelo baseado em blockchain em que a funcionalidade dos smart contracts podem ser utilizados para promover smart grids para o gerenciamento de eletricidade na região da Sardinha. A ideia é utilizar um software baseado em blockchain para estender a característica de transferência de criptomoedas para o mercado de energia. Desta forma, o Crypto-Trading tem o objetivo de facilitar a criação de um mercado descentralizado de energia. Como o projeto é conceitual, o trabalho não apresentou resultados, apenas previsões para o uso do mesmo.

No trabalho “Democratic Centralism: a hybrid Blockchain architecture and its application in Energy Internet” (Wu et al., 2017) apresenta uma arquitetura composta pela combinação de uma rede blockchain publica e uma rede blockchain privada de forma a obter a segurança da primeira e a eficiência da segunda no gerenciamento de redes de energia. Desta forma a estrutura  $N + X$ , como é chamada, consegue diferenciar dois tipos de nós, o primeiro chamado de “manager block” é composto por instituições de alta credibilidade e que irão verificar a acurácia dos dados no negócio enquanto que o segundo tipo é chamado “storage block” e foca na verificação se o dado é adulterado e em armazenamento de dados. O trabalho apresentou resultados em que a arquitetura se mostra mais eficiente na gerência de armazenamento.

Em “Ethereum smart contract-based automated power trading algorithm in a microgrid environment” os autores (MYUNG; LEE, 2018) apresentam um sistema de microgrid baseadas em smart contracts construídas na linguagem solidity na rede ethereum. O sistema em questão permite aos usuários de uma microgrid a transferência (compra e venda) de eletricidade de acordo com a demanda, ou seja, os usuários que necessitam mais de energia poderão comprar de outros usuários que produziram mais do que utilizaram. Os nós são divididos em nós leves e nós completos, onde os nós leves apenas realizam as transferências de energia e os nós completos coletam as transações e criam os blocos.

### 3.3 Planejamento do experimento

- Seleção de plataforma de blockchain

Nesta atividade, foi feito um estudo entre as plataformas disponíveis para descobrir qual seria a escolhida para o experimento proposto resultando em informações mais relevantes para a comunidade. Foram levados em consideração fatores como utilização, documentação disponível e atividade da comunidade referente às mesmas.

- Escolha de ferramentas para simulação de produção energética

Ferramentas que calculam a produção de energia em painéis fotovoltaicos foram levantadas para a escolha da ferramenta. Foram levados em consideração a usabilidade da ferramenta e documentação disponível.

- Planejamento do experimento

Durante esta atividade, foi organizada a forma como o experimento seria executado. A criação do modelo experimental foi realizada nesta atividade, bem como a escolha das métricas e instrumentos utilizados. Neste período também foi pensado a forma e a quantidade de execuções feitas.

- Desenvolvimento do ambiente de simulação

Esta atividade tem como resultado o cenário de simulação pronto para funcionar. Tanto o desenvolvimento dos códigos de captação de dados de produção energética quanto o código responsável pelo gerenciamento de transações foram desenvolvidos nessa etapa. Vale ressaltar que foram desenvolvidos dois códigos, o primeiro utilizando blockchain no processamento das transações e o segundo não utilizando.

- Desenvolvimento de scripts para captação de sensores

Neste momento, foram desenvolvidos shell scripts que enquanto a simulação estava sendo executada estariam fornecendo dados de temperatura, uso de hardware, entre outros.

- Desenvolvimento de scripts para automação das execuções

Da mesma forma que o desenvolvimento de scripts para recolhimento de dados dos sensores, nesta atividade foi desenvolvido um script para a execução de forma automática dos códigos com e sem blockchain no número de vezes escolhido.

- Realização do experimento

Nesta atividade, o experimento foi executado enquanto as métricas escolhidas estavam sendo recolhidas. Foram feitas execuções alternando entre o uso ou não de blockchain mantendo todo o ambiente que estava relacionado à execução.

- Análise e interpretação dos dados coletados

Após a simulação ter sido executada de acordo com o planejamento e os dados relativos às métricas escolhidas terem sido captados, foi feita uma análise crítica de forma a interpretar os dados e encontrar razões pelos mesmos.

Finalizando todo o processo de mapeamento sistemático no Subcapítulo 3.1, ficou claro que a combinação de plataforma e aplicação mais utilizada foi respectivamente o Ethereum e Energia. Levando essa informação em consideração, o próximo capítulo apresenta informações sobre o experimento feito neste trabalho utilizando essa combinação.

# 4

## Desempenho do Blockchain em Gerenciamento de Energia

### 4.1 Experimentação

Neste projeto foi desenvolvido um mecanismo de gerenciamento de energia elétrica com o uso de blockchain com o objetivo de analisar a viabilidade e o desempenho do mesmo. Nesta seção será explicado como o ambiente de simulação foi desenvolvido, a escolha de cada ferramenta utilizada no processo e o funcionamento de cada módulo do sistema.

A ideia da experimentação em si é simular um condomínio onde existam uma quantidade de casas e cada casa produza e consuma energia de acordo respectivamente com o número de placas instaladas e os produtos eletrônicos encontrados nelas. O blockchain entra como uma ferramenta para gerenciar as compras e vendas entre os residentes sem a utilização de uma terceira parte de confiança. O objetivo deste trabalho, além de analisar a viabilidade deste sistema é analisar a eficiência do uso do blockchain na execução de transações solicitadas pelos usuários.

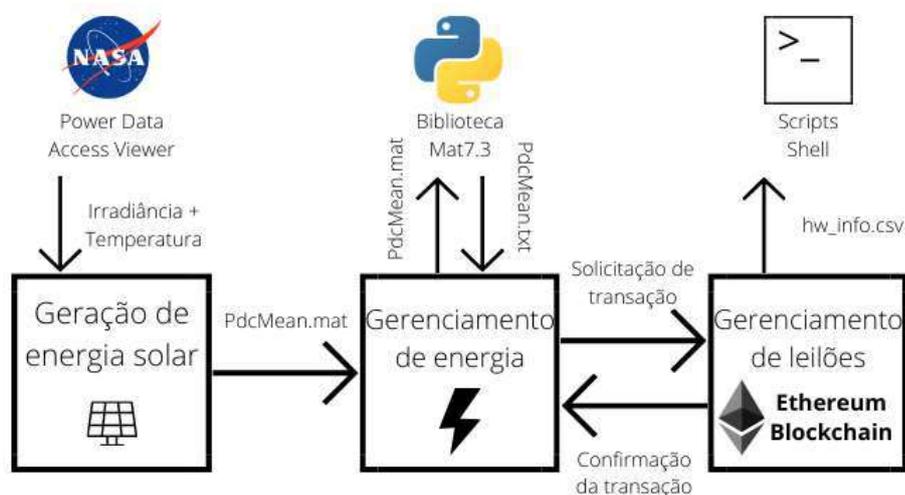


Figura 6 – Modelo da simulação do sistema de gerenciamento de energia solar.

Para conseguir ter uma visão geral do projeto é interessante analisar o diagrama localizado na figura 6. Podemos perceber que a simulação do sistema foi distribuído em quatro módulos: a geração de energia solar, o gerenciamento de energia, o gerenciamento de leilões e a captação de dados com scripts shell.

### 4.1.1 Geração de Energia Solar

A necessidade inicial para a execução do projeto foi uma forma de simular a produção de energia a partir das placas fotovoltaicas de modo a alimentar o sistema de gerenciamento com informações o mais próximas a realidade possíveis. Algumas ferramentas foram examinadas até que foi escolhido o Simulink juntamente com o Matlab.

O Matlab, criado em 1970 e comumente utilizado na área científica, é um software que oferece inúmeras soluções para cálculo numérico e foi escolhido nesse projeto como ferramenta para calcular a produção de energia a partir de placas solares. Este software foi escolhido por disponibilizar de ferramentas que apresentavam soluções próximas às que o projeto necessitava para simular os dados de entrada para o sistema de gerenciamento, além disso existe uma comunidade ativa e uma documentação relevante para o uso do mesmo o que ajudou bastante em sua utilização. Entre essas ferramentas está o Simulink.

Compatível com o matlab, o simulink apresenta simulações de produção de energia solar como o modelo "250-kW Grid-Connected PV Array"(Array de painel fotovoltaico conectado em grid de 250kw) que simula o uso de arrays de placas solares em um sistema de grid. Foi utilizada a versão R2018b de 64-bits para linux do matlab e o simulink que vem integrado.

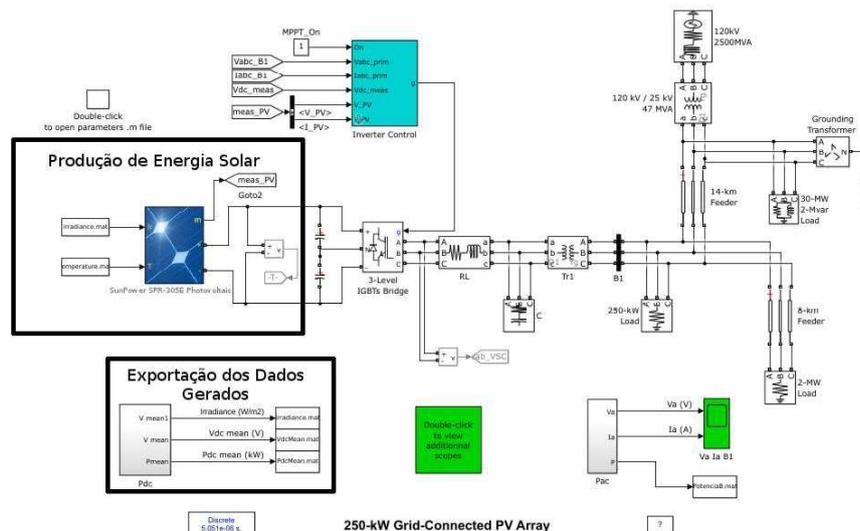


Figura 7 – Modelo de produção de energia solar utilizado no trabalho.

Fonte: (MATHWORKS, 2020) com destaques adicionados pelo autor.

Como foi falado anteriormente, o modelo apresentado na figura 7 foi adaptado para a

realidade necessária para a simulação deste projeto. Como a intenção era simular a produção de energia solar em um ambiente residencial a quantidade de placas foi diminuída para condizer. Outra adaptação foi dos arquivos de entrada, onde foram utilizados dados sobre irradiância e temperatura extraídos do Power Data Access Viewer (Acesso Visualizador de Dados de Energia) a partir do ponto (-10.92239, -37.10379).

O segundo bloco utilizado na figura 7 é o próprio gerador de energia solar, o modelo do mesmo é o "SunPower SPR-305E Photovoltaic (PV)". É a partir desse bloco, utilizando os arquivos de entradas, que os dados são gerados para os arquivos de saída. O modelo de extração está comprimido no bloco `meas_PV` e pode ser visualizado na seção destacada como "Exportação dos Dados Gerados".

Para a exportação em arquivo dos dados, foi necessário trocar os blocos de saída que no modelo original eram de saída para o monitor por blocos de saída para arquivos. Estes blocos podem ser visualizados na imagem com os nomes: "irradiance.mat", "VdcMean.mat" e "PdcMean.mat". O arquivo que apresenta a produção de energia é o "PdcMean.mat".

Os outros blocos do sistema não foram utilizados por se tratarem de transformadores e outros equipamentos necessários para a distribuição em larga escala, neste trabalho esse gerenciamento foi desconsiderado pelo fato de o maior foco ser o gerenciamento de transações por parte do blockchain.

### 4.1.2 Gerenciamento de Energia

O segundo bloco seria o responsável pelo gerenciamento da energia, que administra tanto a energia gerada no primeiro bloco quanto as quantidades colocadas a leilão e o gasto diário de cada residência. Como forma de melhorar a visualização do que está ocorrendo no sistema, uma página com informações de cada casa e de cada leilão foi desenvolvida

Esse bloco tem como entrada um arquivo de energia produzida onde cada linha representa a produção de energia pelo gerador em determinado momento. O arquivo extraído do matlab é um arquivo de extensão `.mat` que não pode ser facilmente lido por qualquer programa, por este motivo o arquivo `.mat` (`PdcMean.mat`) é transformado em arquivo texto (`PdcMean.txt`) para que ele possa ser utilizado no presente bloco. Para fazer esta transformação, é utilizada a biblioteca `mat7.3` do python. A transformação citada é apresentada no Código 1 onde na linha 8 o arquivo é carregado pela biblioteca, após isso os dados são reorganizados e impressos na tela, por fim estes dados são acrescentados a um arquivo no comando de chamada do script python.

Além da atualização contínua de saldo energético das casas, esse bloco é responsável pela solicitação tanto de criação de leilão quanto de dar um lance em leilões cadastrados. Para explicar melhor como funciona a interface desse bloco basta visualizar as figuras 8 e 9.

É possível perceber na figura 8 que cada casa apresenta informações sobre o seu número, a quantidade de placas fotovoltaicas que elas tem instaladas e o saldo energético disponível para

## Código 1 – Código que transforma arquivo .mat em dados legíveis

```
1  #! /usr/bin/python3
2  import sys
3  import numpy
4  import mat73
5
6  PATH_PDC = './PdcMean.mat'
7
8  mat = mat73.loadmat(PATH_PDC)
9
10 M = mat['PdcMean']
11 tempo = M[:,0]
12 PdcMean = M[:,1]
13
14 #numpy.set_printoptions(threshold=sys.maxsize)
15
16 for x in PdcMean:
17     int(x)
```

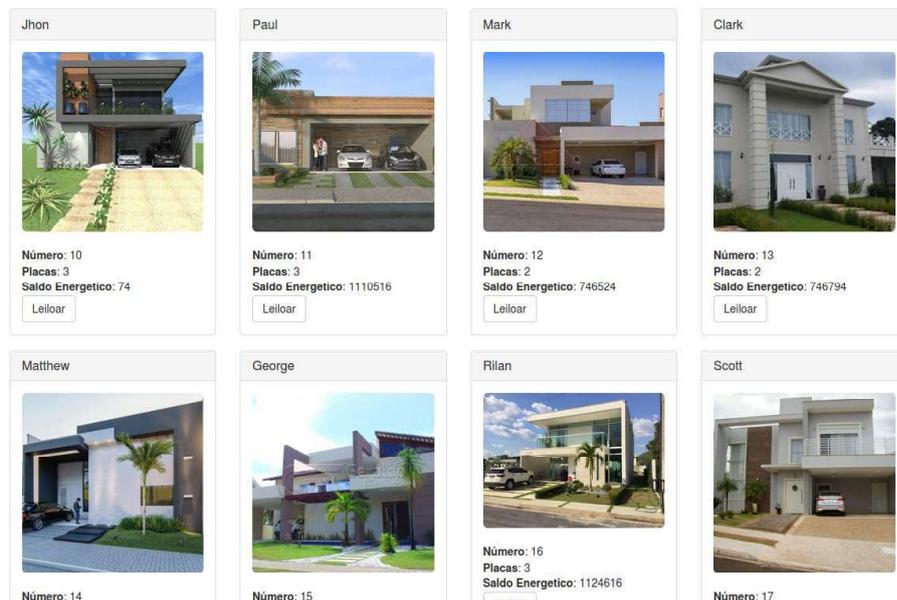
Gerenciamento de Energia - Condomínio  
Alphaville

Figura 8 – Interface para visualização de casas participantes do sistema de gerenciamento.

leilão. Além disso, o dono da residência pode clicar no botão leiloar em sua casa para vender a quantidade excedente. Quando essa opção é selecionada, é cadastrado um leilão na seção de Leilões Ativos com informações sobre a casa leiloeira, a quantidade de energia vendida e o maior lance dado até então.

Para criar essa interface entre a geração de energia e o blockchain, foi utilizado o

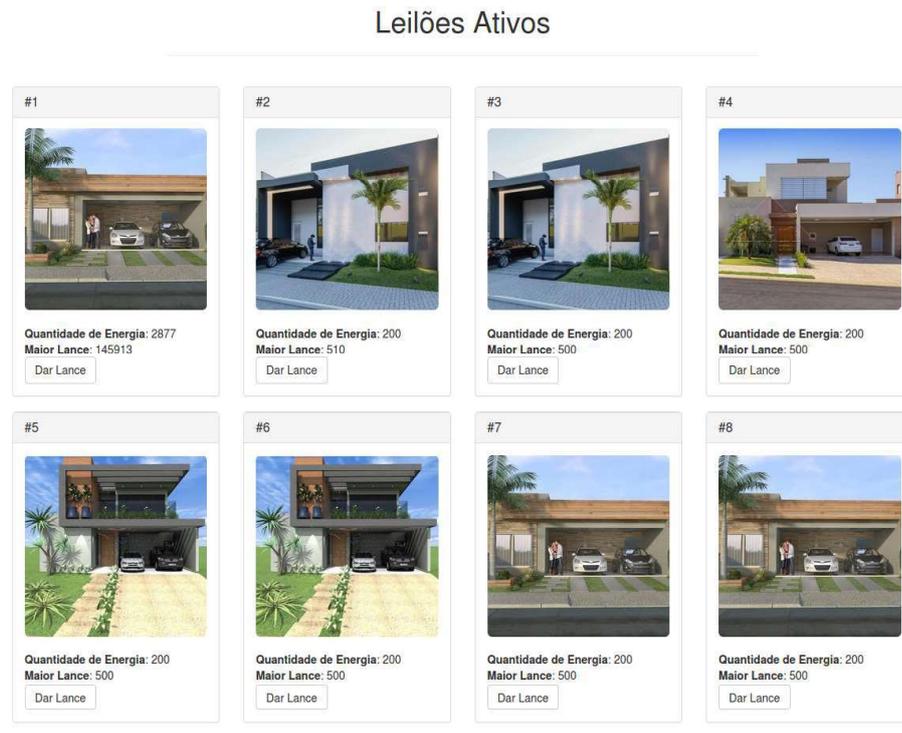


Figura 9 – Interface para visualização de leilões do sistema de gerenciamento.

JavaScript para a construção de todo o frontend e o Node-JS na versão 12.14 como servidor para o desenvolvimento do backend. Além disso, foi criado um banco de dados para o armazenamento das casas e dos leilões utilizando o MySQL na versão 14.14.

### 4.1.3 Gerenciamento de Leilões

Tendo o gerenciamento de energia funcionando de acordo com a seção anterior, a necessidade para o terceiro bloco da figura 6 é de gerenciar as transações que são solicitadas pelo gerenciamento de energia. Entre as solicitações estão a criação de um leilão, que permite ao proprietário de uma casa produtora de energia leiloar a energia excedente da sua produção, e a solicitação para dar lance no leilão já aberto, que permite ao proprietário de uma casa tentar comprar a quantidade de energia leiloada.

Por ter sido a plataforma de blockchain mais utilizada nos artigos do subcapítulo 3.1, ter uma comunidade ativa e documentação disseminada na comunidade, o ethereum foi escolhido para ser utilizado neste experimento. Para isso, foi necessário instalar o software Truffle como ambiente de desenvolvimento usando a máquina virtual do ethereum, com isso foi possível desenvolver os smart contracts para lidar com as requisições de operações baseando-se no contrato "Auction" de (MYUNG; LEE, 2018). A versão do software utilizada foi v5.1.27 juntamente com o compilador de solidity (solc-js v0.5.16).

O modelo utilizado para a rede blockchain dentro das simulações executadas no experimento podem ser vistas na figura 10. No modelo apresentado existem dois papéis para um

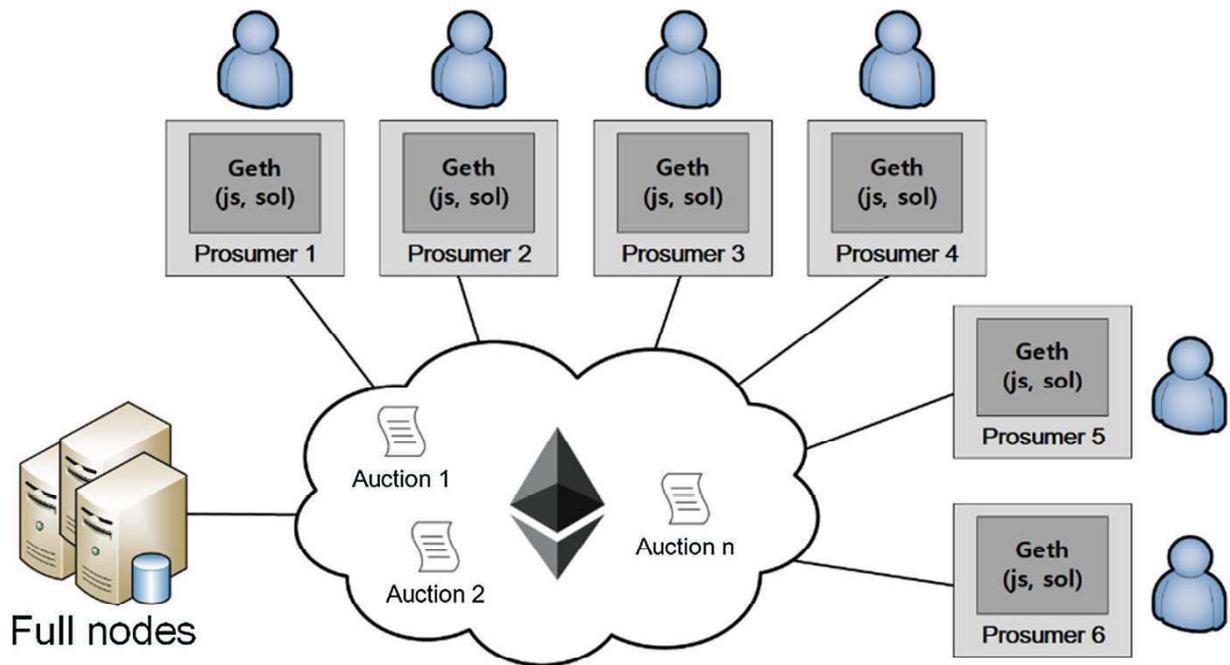


Figura 10 – Diagrama representando o sistema de blockchain utilizado no modelo de simulação escolhido nesse trabalho. (MYUNG; LEE, 2018)

participante da rede, o primeiro deles é o de prossumidor que tanto pode ser para solicitar leilão (venda) quanto lance (compra), este papel é desempenhado por nós leves (light node) que podem ser executados por dispositivos embarcados. Já o segundo papel é o de oferecer a plataforma de blockchain e todos os processos que ela desempenha, esse papel é desempenhado por nós completos (full node) necessitando um maior poder computacional. Nas simulações, tanto as solicitações quanto as execuções são feitas no hardware descrito na seção 4.1.4.

Além de criar o contrato Auction, foi também necessária a criação de um "contrato fabricante" que dá a possibilidade de criar mais de uma transação do contrato Auction ao mesmo tempo. Essa capacidade é necessária no experimento porque mais de um leilão pode estar ativo ao mesmo tempo, como por exemplo em uma situação em que duas casas tem saldo excedente e desejam vendê-los. Para demonstrar a chamada para criação de um leilão está disponível no código 2 o contrato fabricante AuctionFactory.sol. O contrato Auction está disponível no Apêndice.

Para criar o leilão são necessárias as seguintes informações: o tipo de leilão (auctionType), o endereço do usuário que está leiloando (msg.sender), o horário em que o leilão é iniciado (auctionStart), o horário em que o leilão é finalizado (biddingTime), o preço mínimo dos lances (min), a quantidade de energia que estará sendo leiloada (power), o tempo inicial em que o gerador estará funcionando para suprir a venda (powerStart) e o tempo final em que o gerador estará funcionando para suprir a venda (powerEnd).

Nesta simulação o tipo de leilão foi o proposto pelo trabalho de (MYUNG; LEE, 2018) que é uma combinação entre o leilão inglês e o leilão duplo contínuo, onde múltiplos compradores

Código 2 – Código que transforma arquivo .mat em dados legíveis

```
1 pragma solidity >=0.4.21 <0.7.0;
2
3 import "/path-to-contract/Auction.sol";
4
5 contract AuctionFactory {
6
7     function createAuction(uint32 auctionType, uint32 auctionStart,
8         uint32 biddingTime, uint256 min,
9         uint32 power, uint32 powerStart,
10        uint32 powerEnd) public returns(Auction) {
11        Auction newAuction = new Auction(auctionType, msg.sender,
12            auctionStart, biddingTime, min, power, powerStart,
13            powerEnd);
14        return newAuction;
15    }
16 }
```

tentam dar lance em um mesmo leilão e múltiplos leilões podem ocorrer ao mesmo tempo.

Como foi dito anteriormente, o Truffle é um ambiente de desenvolvimento que oferece benefícios como o gerenciamento e teste de smart contracts, além de gerenciar também a rede por trás das transações. Apesar de conseguir gerenciar a rede com o Truffle, para a simulação seria necessário a implantação e gerenciamento de contas dentro da rede do blockchain. É aí onde entra o Ganache. Utilizado na versão Ganache Cli v6.8.2 (ganache core: 2.9.2) para linux, o ganache tem a função de apresentar visualmente utilidades como a lista de contas, log do sistema, organização dos blocos e fácil alteração de configurações. Como padrão das ferramentas utilizadas, a chave pública tem o tamanho de 320 bits (40 caracteres) e a chave privada (private key) tem um tamanho de 512 bits (64 caracteres).

Desta forma, este trabalho usou uma combinação do truffle e ganache para construir o sistema que iria gerenciar a rede blockchain utilizada na simulação.

#### 4.1.4 Captação de Dados

Por fim, após desenvolver um ambiente executável em que existe a geração e gerenciamento da energia utilizando o blockchain para criar leilões e dar lances, foi necessário criar scripts para a captação das métricas escolhidas no projeto, entre elas as temperaturas, os dados de uso de CPU e GPU e os dados de uso da memória. Esses dados são captados enquanto o gerenciamento de leilões está sendo feito, ou seja, durante a validação de transações tanto com blockchain quanto no modelo comum.

Os softwares utilizados para captação de dados referentes às métricas escolhidas foram instalados para serem utilizados via terminal do Linux. Para medir a temperatura da CPU foi

utilizado o comando `sensors` na versão 3.4.0, já para medir o uso da CPU foi utilizado o comando `top` na versão 3.3.10. Já para medir os dados da GPU, tanto temperatura quanto uso foi utilizado o comando `nvidia-smi` versão 384.130. Por fim, foi utilizada a mesma versão do comando `top` para extrair o valor de memória utilizada.

Todos os softwares citados anteriormente foram chamados a partir de scripts como forma de automatizar o processo de captação de dados e são apresentados nos códigos 3, 4, 5, 6 e 7. Esse método de captação foi selecionado para que houvesse o mínimo de interferência possível nas execuções. Já para organização de todas as informações obtidas foi utilizado um outro script que está disponível no apêndice.

Código 3 – Script shell para captar os dados de temperatura da CPU

```
1 #!/bin/sh
2
3 while (true); do
4     sensors | grep CPU | awk '{print $2}' | cut -d'.' -f 1 | cut -d'+'
5     -f 2 >> $3/cpu_temp_$1
6 done
```

Código 4 – Script shell para captar os dados de utilização da CPU

```
1 #!/bin/sh
2
3 while (true); do
4     top -b -n 1 | grep "%Cpu(s)" | awk '{print $2}' >> $3/cpu_usage_$1
5 done
```

Código 5 – Script shell para captar os dados de temperatura da GPU

```
1 #!/bin/sh
2
3 while (true); do
4     nvidia-smi | grep % | awk '{print $3}' | cut -d'C' -f 1 >>
5     $3/gpu_temp_$1
6 done
```

O hardware para execução do experimento foi um notebook Dell Inspiron 15 GAming i15-7567 com memória RAM 8GB (1x8GB) 2133MHz DDR4, processador 7th Generation Intel Core (i5-7300HQ Quad Core (6MB Cache, up to 3,5GHz), disco de estado sólido kingston A400 480GB 500MB/s e GPU NVIDIA GeForce GTX 1050. O sistema operacional utilizado foi o Linux Ubuntu 16.04 LTS.

Código 6 – Script shell para captar os dados de utilização da GPU

```
1 #!/bin/sh
2
3 while (true); do
4     nvidia-smi | grep % | awk '{print $13}' | cut -d '%' -f 1 >>
5     $3/gpu_usage_$1
6 done
```

Código 7 – Script shell para captar os dados de utilização da Memória

```
1 #!/bin/sh
2
3 while (true); do
4     top -b -n 1 | grep "KiB Mem" | awk '{print ($4-$6)*100/$4}' >>
5     $3/mem_usage_$1
6 done
```

## 4.2 Resultados

### 4.2.1 Cenário Simples

Tendo explicado o modelo da execução da simulação, este capítulo irá apresentar os dados obtidos. Os resultados foram captados de 100 rodadas de execuções por apenas um usuário, cada rodada de execução representa um total de 10 transações, totalizando assim em um total de 1000 execuções.

A primeira métrica a ser comparada é a temperatura da CPU. Esta comparação tem por objetivo verificar se há alguma alteração na temperatura da CPU entre execuções usuais e as execuções com utilização de blockchain como forma de analisar a viabilidade desta em sistemas de gerenciamento de energia.

Entende-se que por apresentar mais recursos de segurança que uma transação comum, espera-se que a execução utilizando blockchain apresente temperaturas mais elevadas o que é ratificado pelos resultados demonstrados na figura 11. Apesar de ratificar estas suposições, podemos perceber que a alteração de temperatura não é significativa quando verificamos que em algumas rodadas de execuções os resultados demonstraram o inverso do suposto. Além da temperatura, foi também avaliada a utilização da CPU.

A figura 12 demonstra que assim como na temperatura, a utilização da CPU com o blockchain foi superior, gerando uma ratificação dos dados de temperatura da CPU. Sendo assim, percebe-se que o uso do blockchain acaba gerando um maior stress na CPU gerando mais calor.

Além da temperatura da CPU, foi também capturada a temperatura da GPU. Da mesma forma, este dado servirá para demonstrar se há alguma diferença relevante entre os dados obtidos

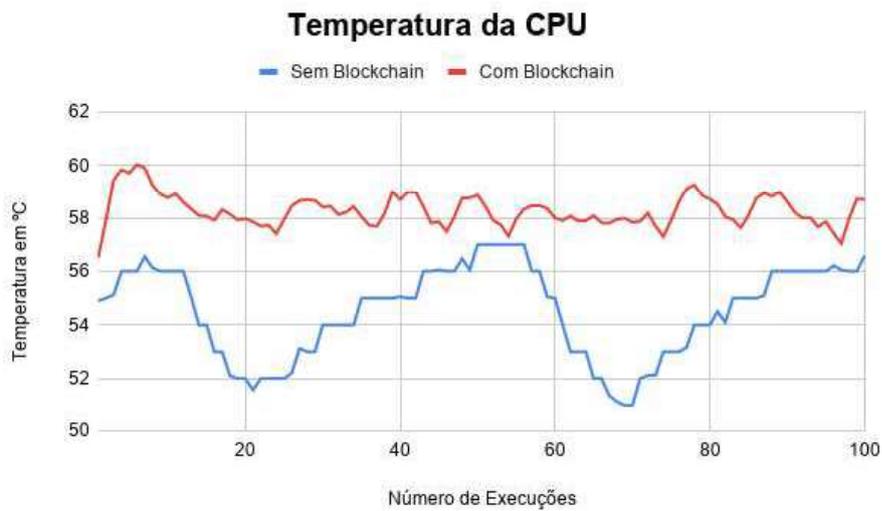


Figura 11 – Comparação de temperatura de CPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain

Fonte: Próprio autor

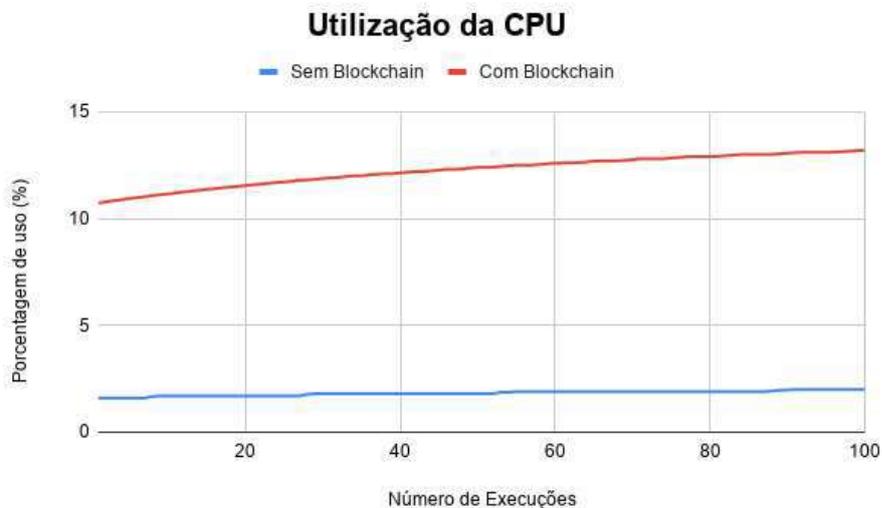


Figura 12 – Comparação de utilização de CPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain

Fonte: Próprio autor

em execuções usuais em comparação com a utilização de blockchain dentro da GPU.

Na comparação apresentada na figura 13, é possível perceber, diferentemente da comparação anterior, que a execução usual apresentou temperaturas maiores na comparação, apesar de em algumas execuções aconteça o contrário na maior parte dos pontos essa situação foi obtida. Para uma melhor explicação desta diferença pode-se observar a métrica de uso de GPU apresentada

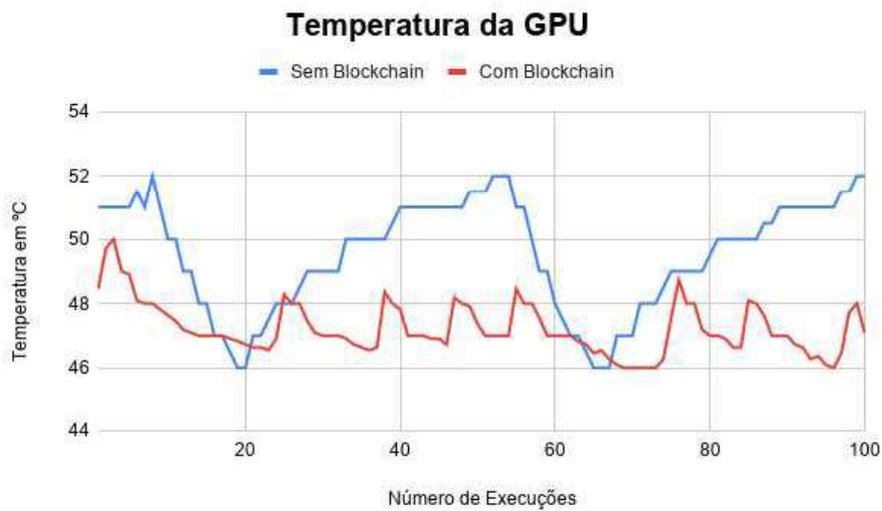


Figura 13 – Comparação de temperatura da GPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain

Fonte: Próprio autor

na figura 14.

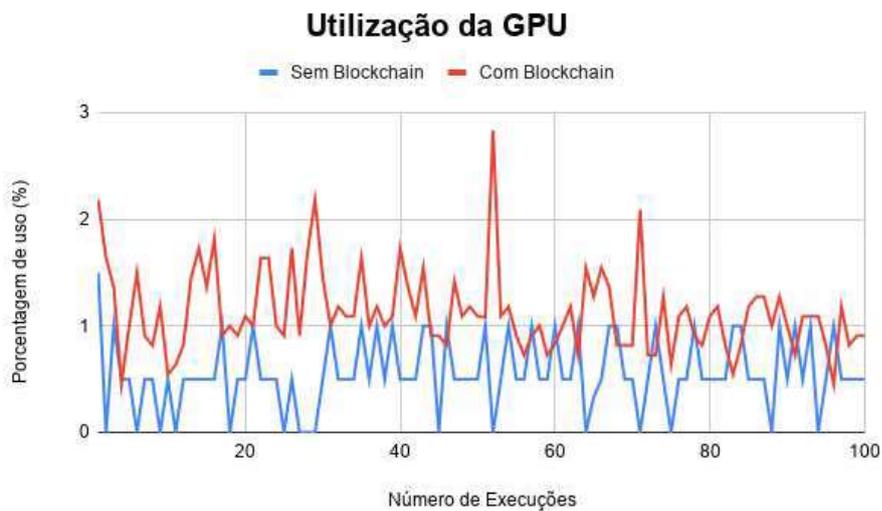


Figura 14 – Comparação de uso de GPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain

Fonte: Próprio autor

Após análise dos dados de temperatura da GPU, foram também analisados os dados de utilização na figura 14 que demonstra um maior uso da GPU na execução com blockchain, o que aparentemente não faz muito sentido pois as maiores temperaturas foram na execução usual. Pode-se interpretar esses resultados como se a execução usual faz uso da GPU de uma maneira

"esbanjadora" e por isso a temperatura aumenta. Como este teste apresenta uma execução um tanto simples, nas próximas seções foram analisados dados mais complexos para avaliar se esta situação continua acontecendo.

Por fim, foram capturados também dados sobre a utilização de memória nas execuções, tanto na usual quanto na qual foi utilizado o blockchain.

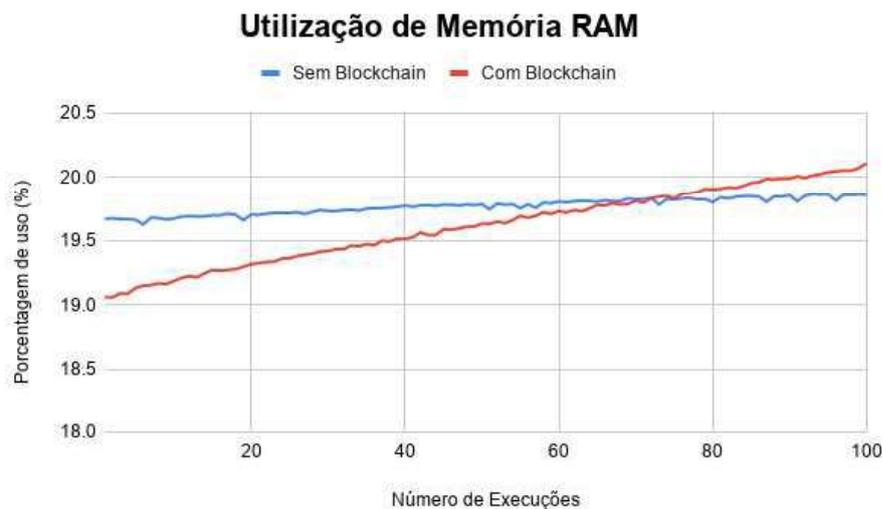


Figura 15 – Comparação de uso de memória entre execução de transações no modelo usual e blockchain

Fonte: Próprio autor

Nesse caso, quando a figura 15 é analisada, pode-se perceber que o uso de memória na execução comum apesar de apresentar uma porcentagem de uso maior nas primeiras execuções, finaliza os testes de forma mais estável enquanto que o blockchain apresenta uma crescente no uso de memória. Isso dá uma ideia de que aumentando-se a complexidade das execuções o blockchain apresentaria um maior gasto deste recurso na comparação.

#### 4.2.2 Cenário Multiagente

Após a realização do experimento em ambiente simplificado, foi proposto um novo experimento onde em vez de apenas um agente (usuário) existissem vários. Os primeiros resultados em ambiente multiagente foram captados de 100 rodadas de execuções por usuário, cada rodada de execução representa um total de 10 transações e o sistema conteve 10 usuários realizando essas execuções de forma simultânea, totalizando assim em um somatório de 1000 execuções por usuário e um total bruto de 10000 execuções. Da mesma forma que a simulação anterior, a primeira métrica a ser comparada é a temperatura da CPU.

É perceptível ao visualizar a figura 16 que a execução usual continua tendo um desempenho melhor, ou seja, exigindo menos da CPU por consequência. Comparando os resultados obtidos

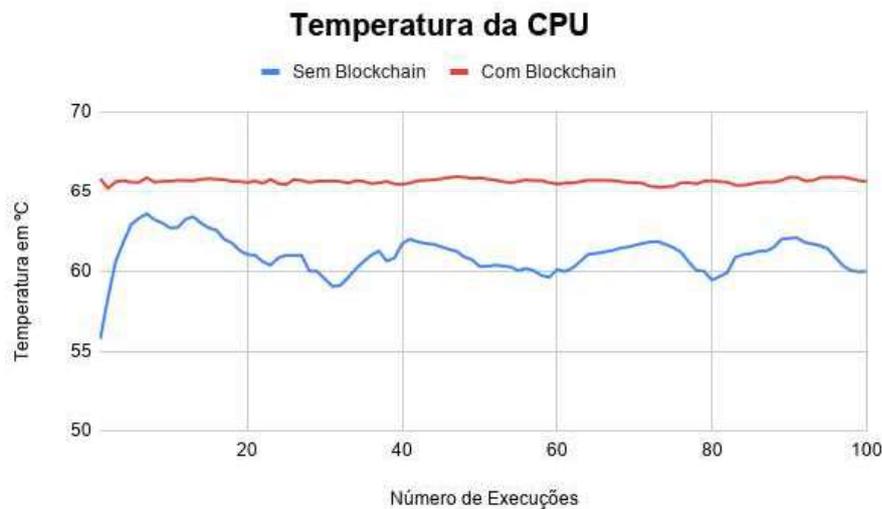


Figura 16 – Comparação de temperatura de CPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com multiagente

Fonte: Próprio autor

no ambiente anterior, percebe-se que houve um aumento da temperatura em ambas as linhas. O que é interessante visualizar é que a temperatura houve uma distância menor entre as retas se relacionarmos ao gráfico contido na figura 11 o que demonstra que há a possibilidade de que a execução em blockchain consiga lidar melhor em relação à outra opção com a questão de temperatura ao aumentar o número de agentes, por consequência o número de transações também.

Assim como foi visto na comparação de temperaturas da CPU pode-se notar na figura 17 que a relação entre as execuções no tocante ao uso da CPU seguiu a mesma lógica da temperatura, a execução usual teve uma melhor performance. Apesar de apresentar uma melhor performance, a execução sem blockchain apresenta um valor crescente enquanto que a execução no blockchain apresenta uma diminuição na porcentagem utilizada ao finalizar operações, ou seja, existe a possibilidade de que dentro do modelo executado desta simulação o blockchain apresente melhor comportamento ao passo que o número de transações seja aumentado, reforçando com o que foi dito no parágrafo anterior.

No gráfico em que são comparadas as porcentagens de utilização da GPU (figura 19) os resultados mostraram que a execução com blockchain usa menos as capacidades da GPU. Dessa vez os gráficos apresentaram valores coerentes, sendo que a reta que obteve valores maiores de temperatura na figura 18 também obteve índices de utilização maiores. Apesar de apresentar os dados de maneira aparentemente mais coerente, é possível perceber que os valores de utilização são muito baixos o que transparece pouco ou inexistente uso deste hardware.

Assim como o gráfico sobre utilização da memória na seção anterior apresenta, a figura

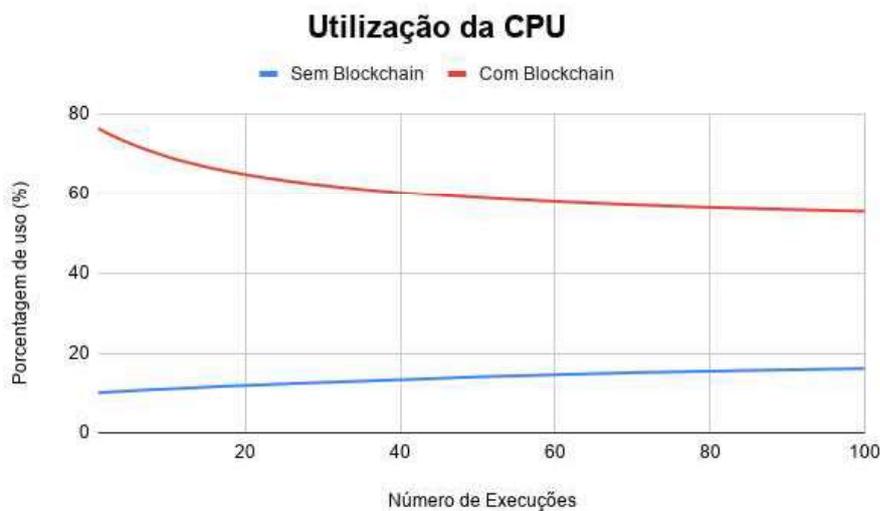


Figura 17 – Comparação de utilização de CPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com multiagente

Fonte: Próprio autor

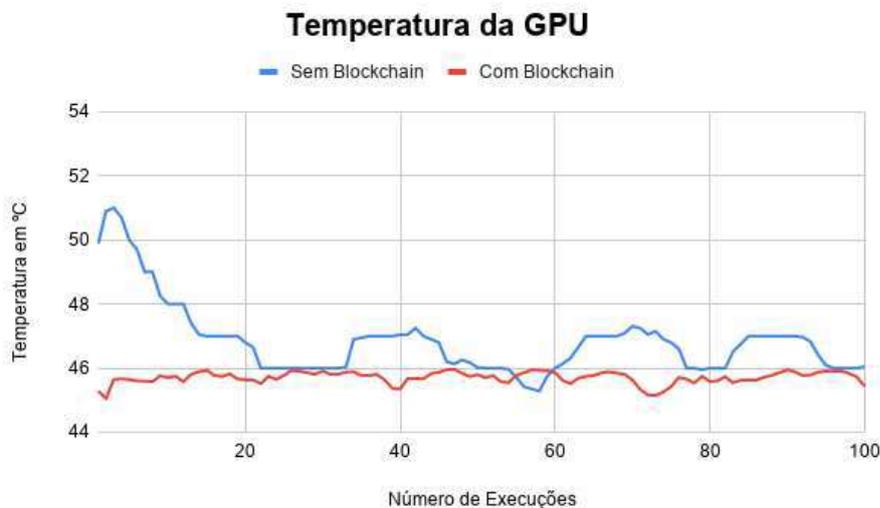


Figura 18 – Comparação de temperatura da GPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com multiagente

Fonte: Próprio autor

20 mostra que ao passo que as execuções vão sendo feitas, a utilização da memória no blockchain é aumentada enquanto que na execução usual, esses valores são estáveis. Além disso, é possível perceber que neste gráfico há uma discrepância significativa se comparado com o mesmo gráfico no ambiente anterior, chega a um ponto em que a execução em blockchain apresenta valores quase três vezes maiores que a execução usual. Por demonstrar de forma tão visível essa diferença, a utilização de memória acaba tomando uma importância significativa nesta comparação.

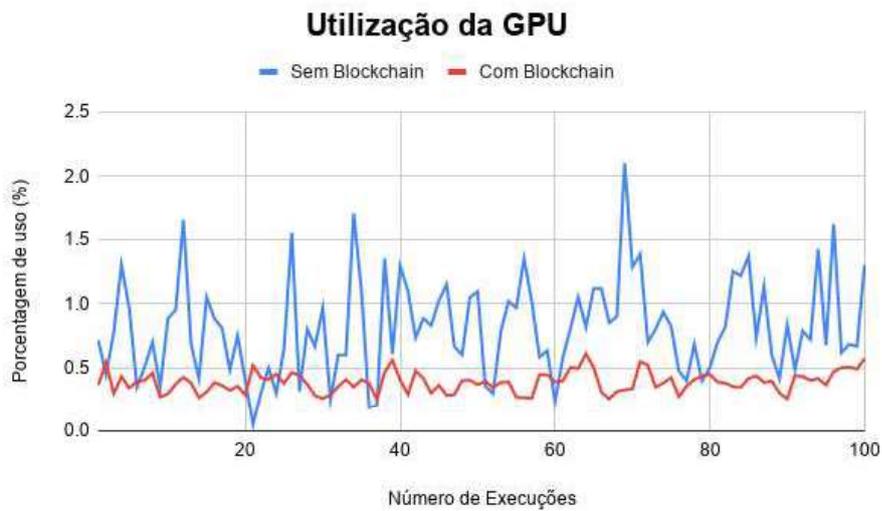


Figura 19 – Comparação de uso de GPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain

em simulação com multiagente

Fonte: Próprio autor

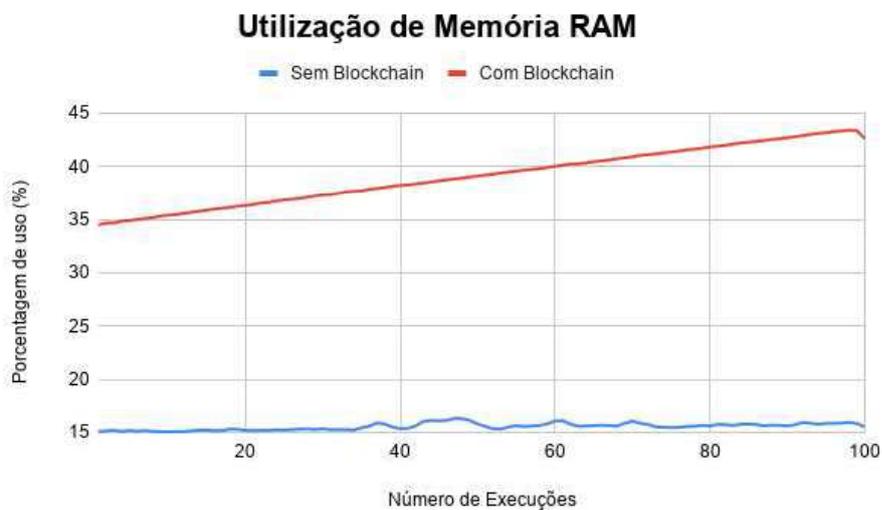


Figura 20 – Comparação de uso de memória entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com multiagente

Fonte: Próprio autor

### 4.2.3 Testes Estatísticos

As questões de pesquisa para este experimento são: As execuções dos diferentes códigos geram temperaturas semelhantes da CPU? As execuções dos diferentes códigos geram taxas de utilização semelhantes da CPU? As execuções dos diferentes códigos geram temperaturas

semelhantes da GPU? As execuções dos diferentes códigos geram taxas de utilização semelhantes da GPU? As execuções dos diferentes códigos geram taxas semelhantes de utilização da Memória? Cada uma dessas questões deve ser respondida tanto para a execução em ambiente simples quanto em ambiente multiagente.

Todos os questionamentos são respondidos a partir de dados extraídos da execução nos cenários simples e multiagente. Para a primeira questão pode-se considerar a temperatura da CPU ( $\psi$ ), para a segunda questão pode-se usar a taxa de utilização da CPU ( $\omega$ ), para a terceira questão, pode-se considerar a temperatura da GPU ( $\tau$ ), para a quarta questão pode-se usar a taxa de utilização da CPU ( $\phi$ ), por fim, para a quinta questão pode-se utilizar a taxa de utilização da memória ( $\theta$ ). Cada uma das medidas deve ser feita para cada uma das execuções: blockchain e usual. Neste contexto, as seguintes hipóteses podem ser verificadas (a saber, BC = Blockchain e US = Usual):

#### Hipótese 1

H0: Não há diferença estatística entre as temperaturas de CPU na execução dos códigos executados, ( $\psi_{BC}^i = \psi_{US}^i$ )

H1: Há diferença estatística entre as temperaturas de CPU na execução dos códigos executados, ( $\psi_{BC}^i \neq \psi_{US}^i$ )

#### Hipótese 2

H0: Não há diferença estatística entre as taxas de utilização da CPU medidas durante a execução de cada código, ou seja, ( $\omega_{BC}^i = \omega_{US}^i$ )

H1: Há diferença estatística entre as taxas de utilização da CPU medidas durante a execução de cada código, ou seja, ( $\omega_{BC}^i \neq \omega_{US}^i$ )

#### Hipótese 3

H0: Não há diferença estatística entre as temperaturas da GPU medidas durante a execução de cada código, ou seja, ( $\tau_{BC}^i = \tau_{US}^i$ )

H1: Há diferença estatística entre as temperaturas da GPU medidas durante a execução de cada código, ou seja, ( $\tau_{BC}^i \neq \tau_{US}^i$ )

#### Hipótese 4

H0: Não há diferença estatística entre as taxas de utilização da GPU medidas durante a execução de cada código, ou seja, ( $\phi_{BC}^i = \phi_{US}^i$ )

H1: Há diferença estatística entre as taxas de utilização da GPU medidas durante a execução de cada código, ou seja, ( $\phi_{BC}^i \neq \phi_{US}^i$ )

Hipótese 5 H0: Não há diferença estatística entre as taxas de utilização da Memória medidas durante a execução de cada código, ou seja, ( $\theta_{BC}^i = \theta_{US}^i$ )

H1: Há diferença estatística entre as taxas de utilização da Memória medidas durante a execução de cada código, ou seja,  $(\theta_{BC}^i \neq \theta_{US}^i)$

O resultado do Teste de Wilcoxon Pareado para a temperatura da CPU com 1 usuário retornou um p-value de  $3,896559845095909 \times 10^{-18}$ , portanto a hipótese H0 foi fortemente rejeitada e, conseqüentemente, a hipótese H1 não foi rejeitada. O gráfico da Figura 21, que possui gráfico da temperatura em °C para cada uma das execuções, mostra com clareza uma menor temperatura de CPU na execução do código que não utiliza blockchain.

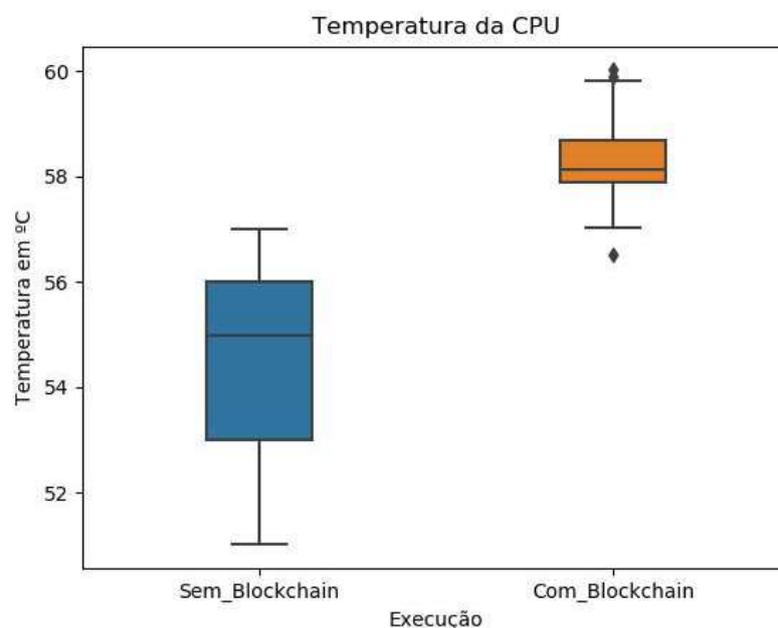


Figura 21 – Comparação de temperatura da CPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 1 usuário

Fonte: Próprio autor

O resultado do Teste de Wilcoxon Pareado para a temperatura da CPU com 10 usuários retornou um p-value de  $3,896559845095909 \times 10^{-18}$ , portanto a hipótese H0 foi fortemente rejeitada e, conseqüentemente, a hipótese H1 não foi rejeitada. O gráfico da Figura 22, que possui gráfico da temperatura em °C para cada uma das execuções, mostra com clareza uma menor temperatura de CPU na execução do código que não utiliza blockchain.

O resultado do Teste de Wilcoxon Pareado para a utilização da CPU com 1 usuário retornou um p-value de  $3,8766054277301385 \times 10^{-18}$ , portanto a hipótese H0 foi fortemente rejeitada e, conseqüentemente, a hipótese H1 não foi rejeitada. O gráfico da Figura 23, que possui gráfico da utilização em porcentagem para cada uma das execuções, mostra com clareza uma menor utilização de CPU na execução do código que não utiliza blockchain.

O resultado do Teste de Wilcoxon Pareado para a utilização da CPU com 10 usuários retornou um p-value de  $3,896120241954008 \times 10^{-18}$ , portanto a hipótese H0 foi fortemente

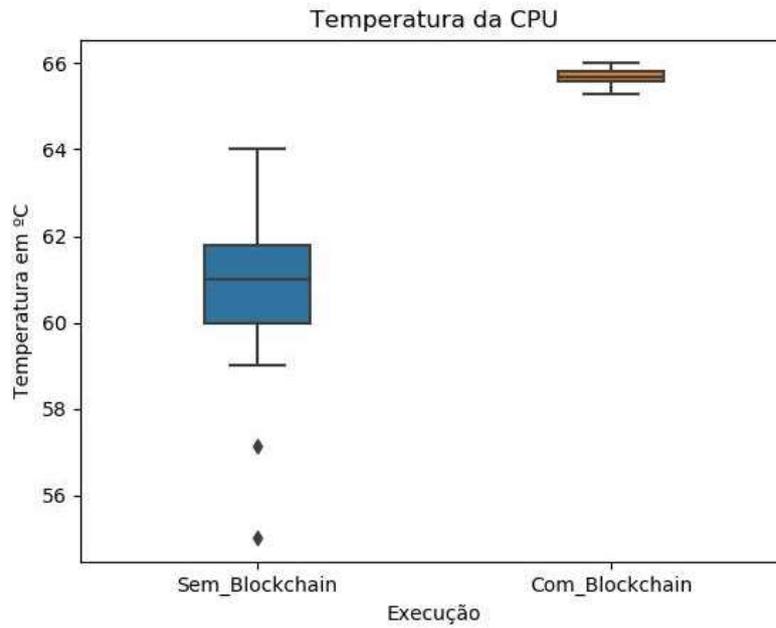


Figura 22 – Comparação de temperatura da CPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 10 usuário

Fonte: Próprio autor

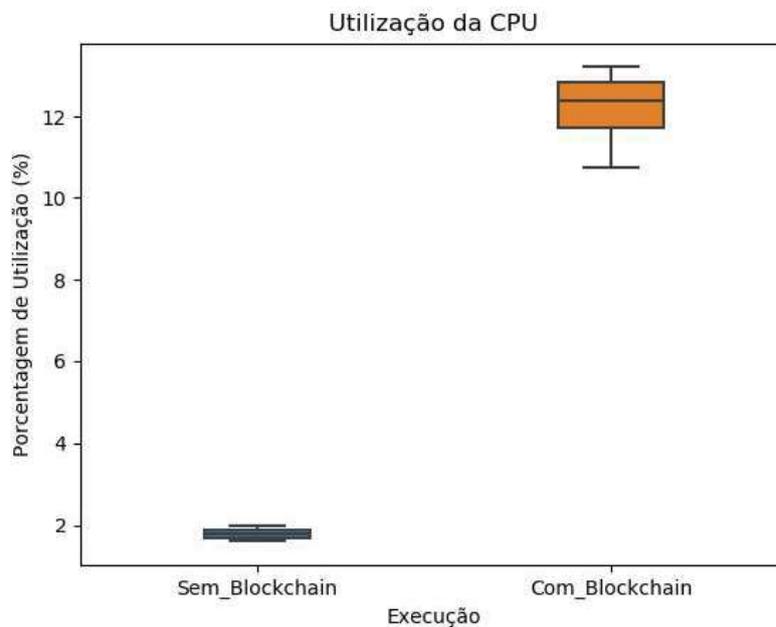


Figura 23 – Comparação de utilização da CPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 1 usuário

Fonte: Próprio autor

rejeitada e, conseqüentemente, a hipótese H1 não foi rejeitada. O gráfico da Figura 24, que possui gráfico da utilização em porcentagem para cada uma das execuções, mostra com clareza uma menor utilização de CPU na execução do código que não utiliza blockchain.

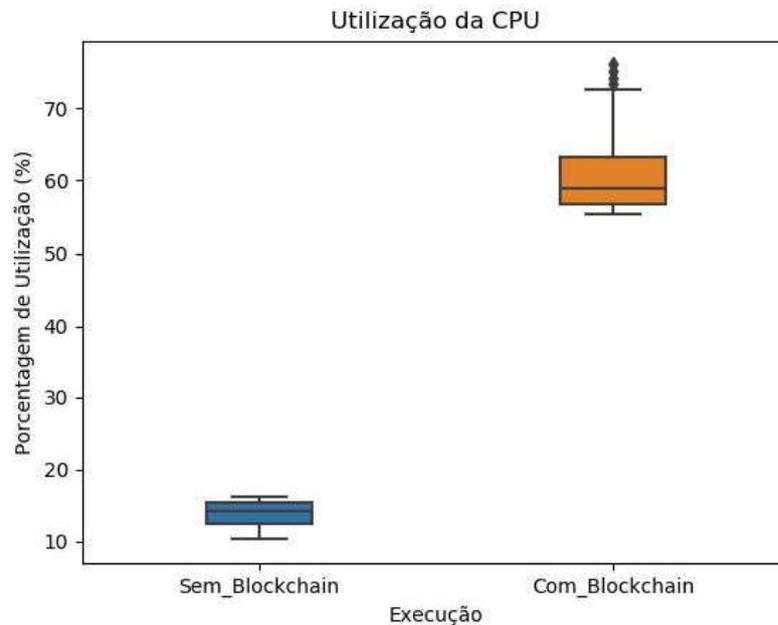


Figura 24 – Comparação de utilização da CPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 10 usuário

Fonte: Próprio autor

O resultado do Teste de Wilcoxon Pareado para a temperatura da GPU com 1 usuário retornou um p-value de  $1,3156486398062533 \times 10^{-16}$ , portanto a hipótese H0 foi fortemente rejeitada e, conseqüentemente, a hipótese H1 não foi rejeitada. O gráfico da Figura 25, que possui gráfico da temperatura em °C para cada uma das execuções, mostra com clareza uma maior temperatura de GPU na execução do código que não utiliza blockchain.

O resultado do Teste de Wilcoxon Pareado para a temperatura da GPU com 10 usuários retornou um p-value de  $1,6642247032344429 \times 10^{-16}$ , portanto a hipótese H0 foi fortemente rejeitada e, conseqüentemente, a hipótese H1 não foi rejeitada. O gráfico da Figura 26, que possui gráfico da temperatura em °C para cada uma das execuções, mostra com clareza uma maior temperatura de GPU na execução do código que não utiliza blockchain.

O resultado do Teste de Wilcoxon Pareado para a utilização da GPU com 1 usuário retornou um p-value de  $7,518792239776914 \times 10^{-15}$ , portanto a hipótese H0 foi fortemente rejeitada e, conseqüentemente, a hipótese H1 não foi rejeitada. O gráfico da Figura 27, que possui gráfico da utilização em porcentagem para cada uma das execuções, mostra com clareza uma menor utilização de GPU na execução do código que não utiliza blockchain.

O resultado do Teste de Wilcoxon Pareado para a utilização da GPU com 10 usuários

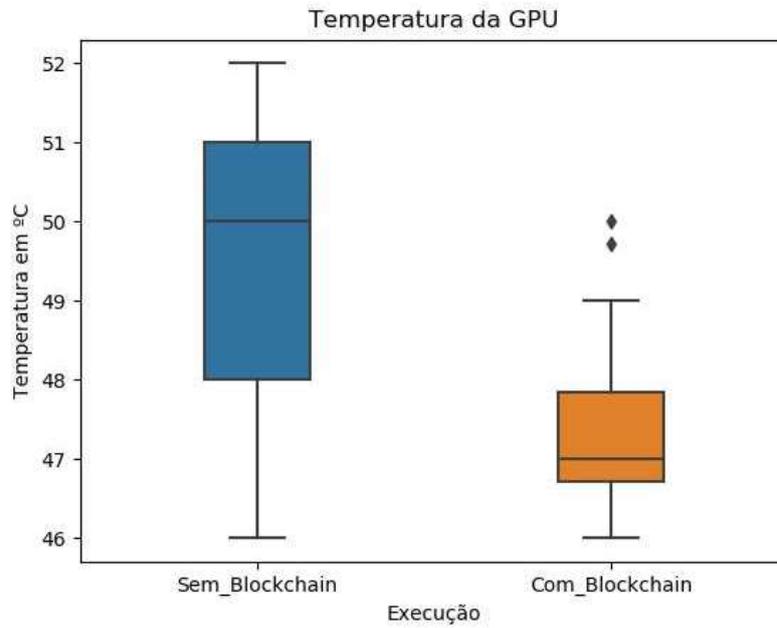


Figura 25 – Comparação de temperatura da GPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 1 usuário

Fonte: Próprio autor

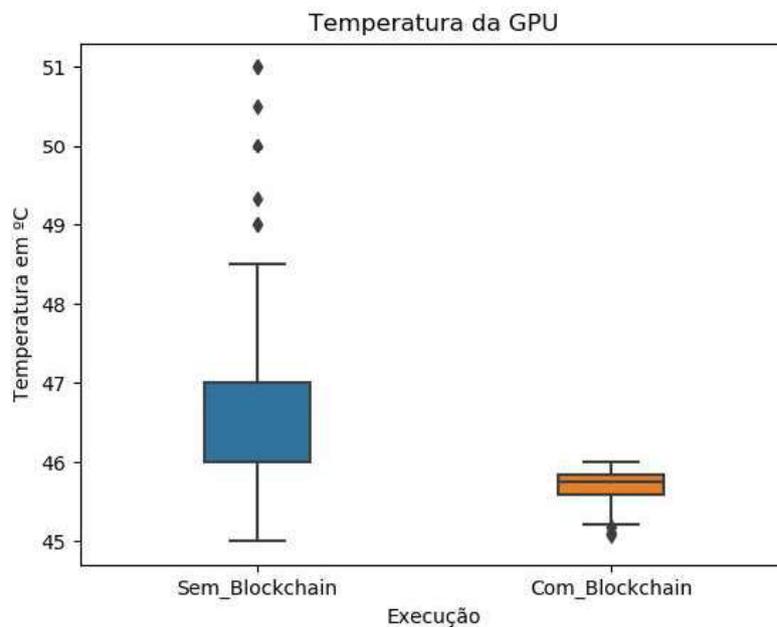


Figura 26 – Comparação de temperatura da GPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 10 usuário

Fonte: Próprio autor

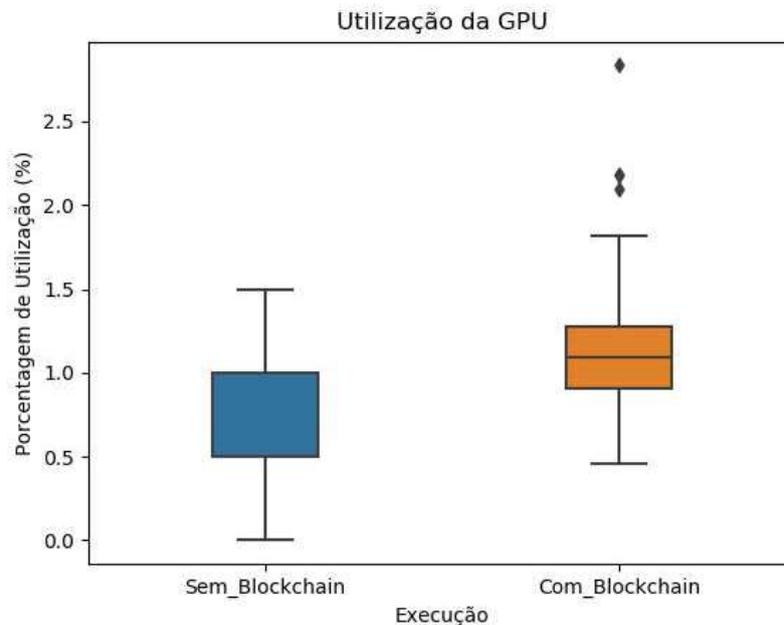


Figura 27 – Comparação de utilização da GPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 1 usuário

Fonte: Próprio autor

retornou um p-value de  $5,384030958467356 \times 10^{-09}$ , portanto a hipótese  $H_0$  foi fortemente rejeitada e, conseqüentemente, a hipótese  $H_1$  não foi rejeitada. O gráfico da Figura 28, que possui gráfico da utilização em porcentagem para cada uma das execuções, mostra com clareza uma maior utilização de GPU na execução do código que não utiliza blockchain.

O resultado do Teste de Wilcoxon Pareado para a utilização da Memória com 1 usuário retornou um p-value de  $4,319830929241881 \times 10^{-08}$ , portanto a hipótese  $H_0$  foi fortemente rejeitada e, conseqüentemente, a hipótese  $H_1$  não foi rejeitada. O gráfico da Figura 29, que possui gráfico da utilização em porcentagem para cada uma das execuções, mostra com clareza uma maior utilização de GPU na execução do código que não utiliza blockchain.

O resultado do Teste de Wilcoxon Pareado para a utilização da Memória com 10 usuários retornou um p-value de  $3,896559845095909 \times 10^{-18}$ , portanto a hipótese  $H_0$  foi fortemente rejeitada e, conseqüentemente, a hipótese  $H_1$  não foi rejeitada. O gráfico da Figura 30, que possui gráfico da utilização em porcentagem para cada uma das execuções, mostra com clareza uma menor temperatura de GPU na execução do código que não utiliza blockchain.

#### 4.2.4 Teste de Escalabilidade

Este subcapítulo foi pensado para apresentar o terceiro ambiente de testes onde as simulações variaram o número de contas solicitando transações de forma simultânea. O intuito

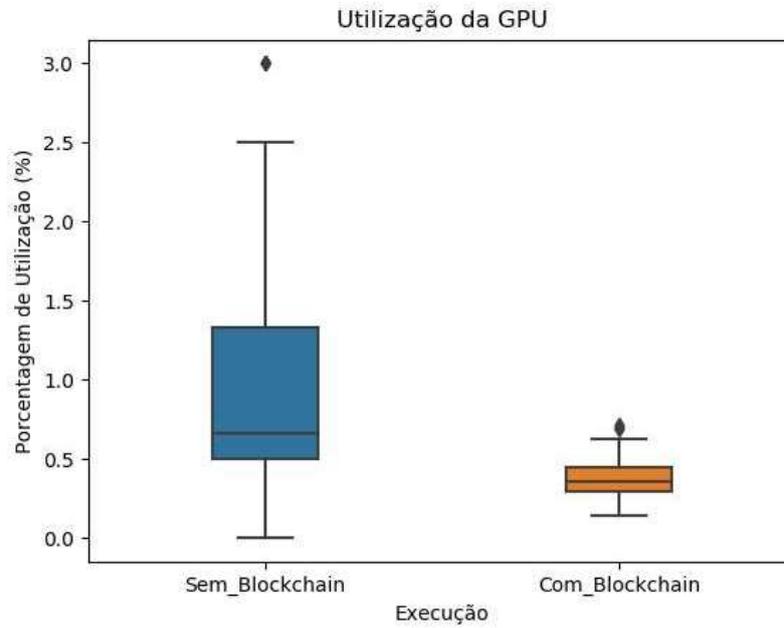


Figura 28 – Comparação de utilização da GPU entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 10 usuário

Fonte: Próprio autor

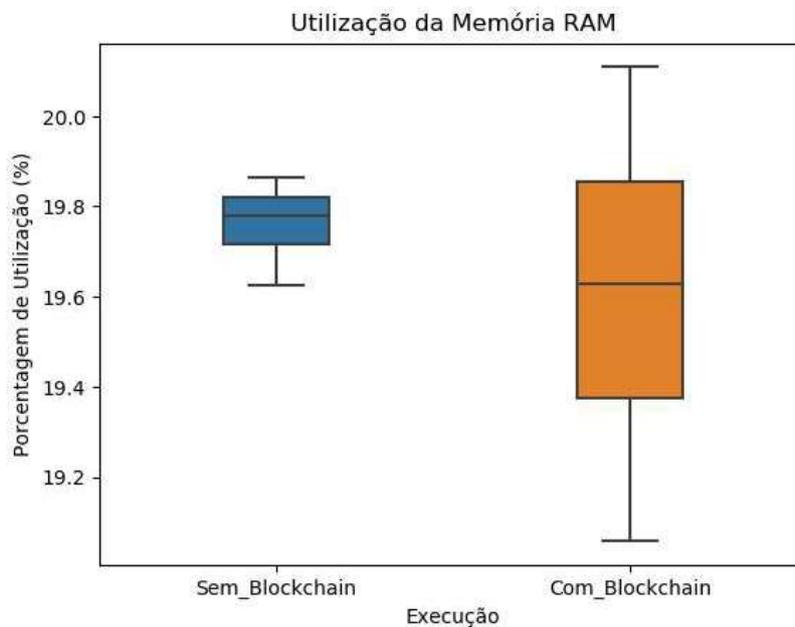


Figura 29 – Comparação de utilização da Memória entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 1 usuário

Fonte: Próprio autor

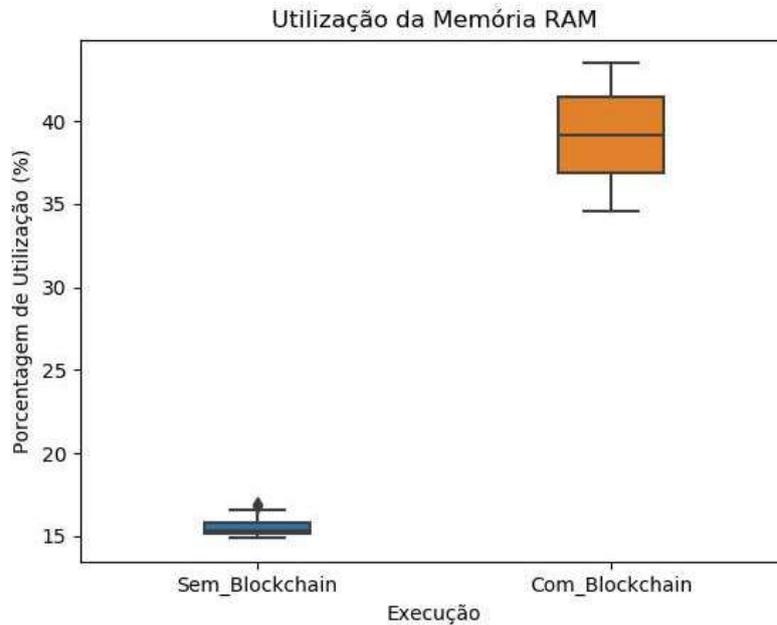


Figura 30 – Comparação de utilização da Memória entre execução de transações no modelo usual e blockchain em simulação com 10 usuário

Fonte: Próprio autor

dos resultados mostrados a seguir é de mostrar o quão escalável é a utilização de blockchain na aplicação escolhida. Foram feitas execuções em ambientes com 10, 20, 30 e 40 agentes, outras tentativas foram feitas mas a execução com blockchain não ocorreu da maneira esperada.

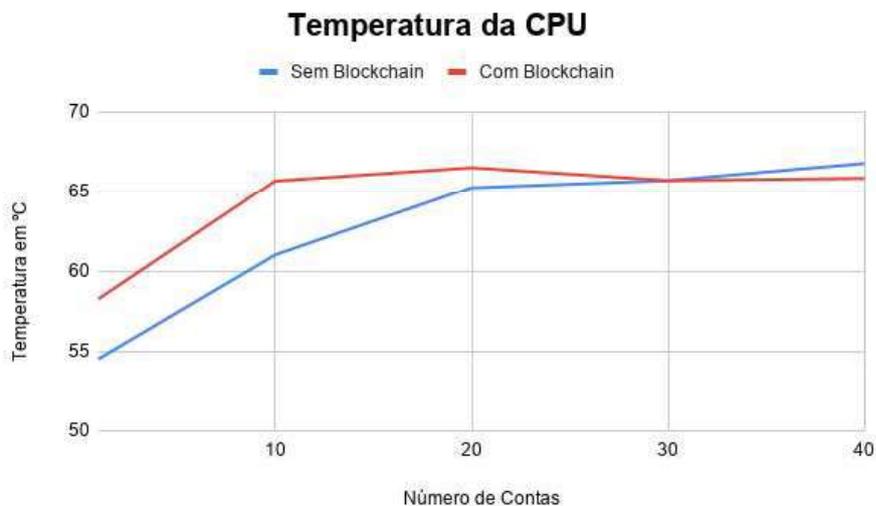


Figura 31 – Comparação de temperatura da CPU quando variando o número de contas simultâneas em execução de transações no modelo usual e blockchain

Fonte: Próprio autor

Novamente, a primeira comparação feita é a da Temperatura da CPU e podemos analisar na figura 31 que à medida que o número de contas aumenta, a temperatura aumenta tanto na implementação usual quanto no blockchain até o ponto em que elas começam a convergir e a partir dos 20 agentes as temperaturas ficam mais próximas. Os valores de temperatura geram um indicativo do que estaria ocorrendo com a comparação entre a utilização da CPU, quanto mais usa-se a CPU maior seria a sua temperatura.

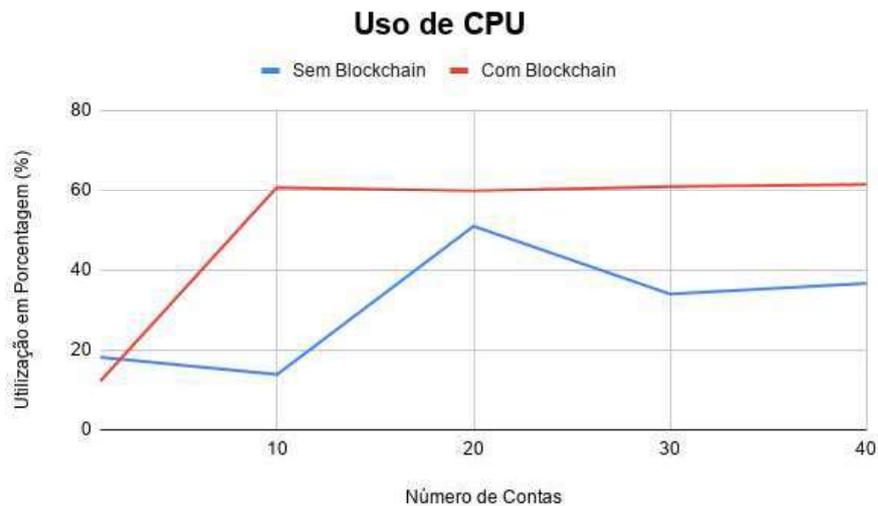


Figura 32 – Comparação de temperatura da CPU quando variando o número de contas simultâneas em execução de transações no modelo usual e blockchain

Fonte: Próprio autor

A validação da estimativa descrita anteriormente pode ser visualizada na figura 32 onde a linha representando a implementação comum apresenta números mais modestos quando a outra produz números de utilização maiores. Assim como o gráfico de temperatura há um momento em que as retas estão em ascensão e logo após elas se estabilizam aparentemente atingindo um limite de usabilidade do hardware em que está sendo comparado.

Após comparação entre as informações da CPU, chegamos aos indicativos trazidos pela GPU. Da mesma forma foram comparadas as temperaturas e os valores de utilização e é observável que as implementações, tanto a usual quanto a que utiliza Blockchain, apresentam índices que transparecem uma não utilização deste hardware em suas execuções. Observando a figura 33 pode-se avaliar que as temperaturas auferidas não apresentam crescimento explicável em relação às execuções, assim como são baixas se comparadas com a CPU por exemplo, levando assim a crer que não existe nenhum tipo de otimização em GPU fornecida pelas ferramentas usadas.

Da mesma forma, analisando a figura 34 descobrimos que a utilização da GPU é mínima ou até mesmo inexistente, como pode-se perceber que a maioria das aferições resultaram em

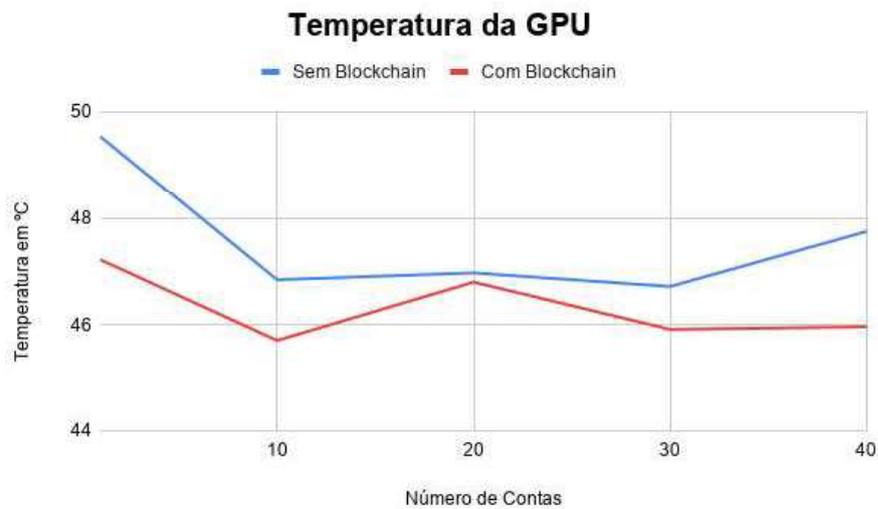


Figura 33 – Comparação de temperatura da CPU quando variando o número de contas simultâneas em execução de transações no modelo usual e blockchain

Fonte: Próprio autor

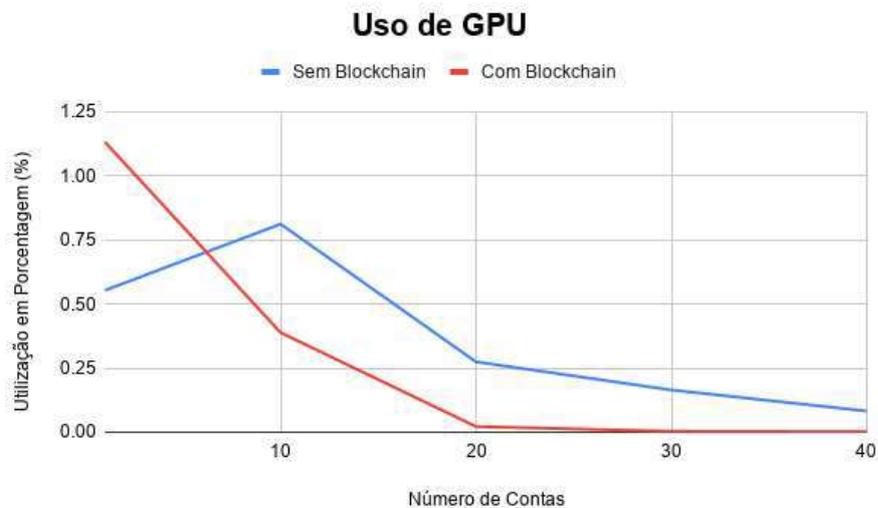


Figura 34 – Comparação de temperatura da CPU quando variando o número de contas simultâneas em execução de transações no modelo usual e blockchain

Fonte: Próprio autor

valores menores que 1%. Além disso a ideia de a utilização diminuir a cada vez que se adicionam agentes também compactua com a ideia de utilização mínima ou inexistente.

Por fim, a comparação em que pode-se observar de forma mais nítida a diferença de desempenho entre as duas aplicações está sendo apresentada na figura 35 onde são mostrados em porcentagem os índices de utilização de memória em cada uma das implementações variando

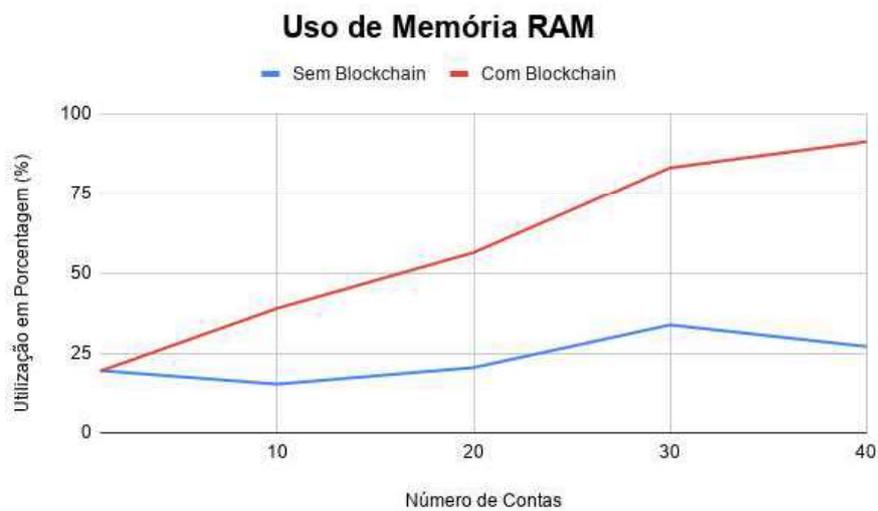


Figura 35 – Comparação de temperatura da CPU quando variando o número de contas simultâneas em execução de transações no modelo usual e blockchain

Fonte: Próprio autor

também o número de agentes simultâneos. É possível verificar que a implementação com blockchain tem um crescimento no uso desse recurso mais acelerado que o crescimento da implementação usual.

Além das duas apresentarem uma diferença relevante, outro fator é que, com a inclusão de 40 contas solicitando transações de forma simultânea, o blockchain apresentou o seu limite no hardware utilizado resultando em falhas e finalizações de processos caso aumentasse o número de contas. Isso demonstra que a inclusão do blockchain como gerenciador de transações apesar de trazer benefícios também eleva a complexidade gerando assim a necessidade de hardwares mais poderosos para este fim.

# 5

## Conclusão

No presente trabalho foi realizada uma análise de desempenho feitas em um sistema de gerenciamento de transações em microgrid de energias renováveis comparando execuções utilizando blockchain com execuções não utilizando essa ferramenta. Para a realização desta análise foi desenvolvido um ambiente de simulação para permitir o monitoramento do hardware utilizado. Para execução de maneira completa do ambiente, foi representada a geração de energia por parte das placas solares, o gerenciamento das quantidades excedentes em cada domicílio e por fim o gerenciamento de transações sendo representada na vida real por uma abertura de leilão ou por um lance em um leilão já cadastrado.

A motivação descrita na seção 1.1 concerne ao benefício de ter o gerenciamento de transações em um sistema de energia renovável sem a presença de um intermediário, ou seja, com a diminuição de taxas e gastos para uma terceira parte de confiança, em vez disso o blockchain exerceria este papel na rede. Após a execução das simulações foi possível, a partir da apresentações dos resultados medidos durante esta simulação e análise dos mesmos, responder à questão de pesquisa descrita na seção 1.2. Além disso, foi possível também, analisando outros aspectos dos resultados, obter algumas outras conclusões.

- (a) A primeira conclusão que foi obtida durante a análise dos resultados é que a métrica que mais sofre alteração com o aumento de complexidade nas simulações é a memória RAM.
- (b) A execução em blockchain apresenta índices piores que a simulação em ambiente usual, possivelmente devido ao fato de performar verificações mais complexas, provendo assim uma camada mais consistente de segurança.
- (c) É possível utilizar o blockchain em ambientes onde não haja uma quantidade considerável de contas requisitando transações simultaneamente no hardware informado.

- (d) Quando escalando a quantidade de agentes simultâneos no ambiente, a execução com blockchain cresce mais aceleradamente quanto à demanda de recursos computacionais.
- (e) Levando em consideração os resultados obtidos foi possível verificar que no hardware utilizado (Dell Inspiron 15 Gaming, memória RAM 8GB (1x8GB) 2133MHz DDR4, Intel Core i5-7300HQ, SSD kingston A400 480GB 500mb/s, GPU NVIDIA GeForce GTX 1050, Linux Ubuntu 16.04 LTS), o uso do blockchain não consegue apresentar resultados em situações em que o número de agentes simultâneos seja 50 ou mais. Neste caso, a execução apresenta erros e os processos são finalizados por falta de memória RAM disponível.
- (f) O índice de utilização da GPU em todos os ambientes de simulação foi baixo demonstrando que não há um uso do potencial desta ferramenta de maneira automatizada. Apesar de não utilizar nenhum tipo de instruções especiais para a utilização, esperava-se que os valores fossem maiores.
- (g) As temperaturas medidas não apresentam diferença significativa entre as duas execuções.

Concluindo o presente trabalho, foi também possível analisando todo o processo feito para a finalização deste verificar algumas contribuições:

- (a) Foi apresentado o impacto que o aumento de segurança gerado pelo blockchain causa na utilização de recursos computacionais (utilização da CPU, GPU e memória RAM e temperatura da CPU e GPU) na aplicação de gerenciamento de energia renovável.
- (b) Foi desenvolvido um método para simulação e análise da performance de transações em sistemas de gerenciamento de energias renováveis que pode ser utilizado futuramente para pesquisas em que tenham a mesma área de interesse.
- (c) Além do modelo em si, foi disponibilizado no apêndice todos os scripts, smart contracts e programas necessários para a replicação do experimento para que ele possa ser repetido com outras plataformas, aplicações, etc.
- (d) Foram disponibilizados resultados em que o gerenciamento com blockchain tem o potencial de funcionar no ambiente descrito, porém com uma limitação de contas consequentemente transações simultâneas.
- (e) Citada como uma das dificuldades em gerar as simulações, o desenvolvimento de um sistema que fizesse todo o processo de assinatura e validação das chaves pública e privada pelo backend foi feita e também disponibilizada no apêndice deste trabalho ajudando assim no uso do blockchain para simulações sem que fosse necessário o usuário clicar no botão aceitar da carteira digital.

## 5.1 Limitações

O desenvolvimento do ambiente de simulação apresentou uma complexidade considerável por conta da escassez de trabalhos que disponibilizassem de forma mais detalhada os processos realizados para a obtenção dos resultados. Essa situação levou a uma maior dificuldade em certos passos do trabalho como por exemplo a execução de várias solicitações de transações de forma automatizada. Na literatura encontrada as solicitações eram feitas e era necessário que o usuário clicasse em um botão para confirmar a solicitação, neste trabalho foi possível alterar essa situação para que as confirmações fossem feitas no backend a partir das chaves geradas pelo ganache.

Uma outra situação que pode apresentar uma ameaça à validade é que, com o intuito de focar nas transações, o presente trabalho desconsiderou algumas complexidades como por exemplo a simulação de forma mais profunda do "transporte" de energia entre as casas dos moradores envolvidos em uma venda.

Além das circunstâncias citadas anteriormente, vale ressaltar que as solicitações das transações foram feitas no mesmo hardware que as mesmas eram processadas gerando uma carga maior para a execução. Mesmo essa carga sendo equiparada nas duas execuções que são comparadas, o ideal seria que as solicitações partissem de um cliente (outro computador) para que os resultados mostrassem de forma isolada o trabalho do servidor.

Por fim, apesar de trabalhar para criar um ambiente completo e que todo o processo fosse altamente controlado, as situações expostas nessa seção mostra que algumas concessões foram necessárias para não extrapolar a complexidade da simulação e por consequência permitir a realização da mesma.

## 5.2 Trabalhos Futuros

Para a continuidade e o melhoramento da pesquisa desenvolvida no presente trabalho, destacam-se as seguintes ideias como possíveis trabalhos futuros:

Conforme a atual simulação apresenta a utilização de apenas uma plataforma de blockchain, é interessante a utilização de outras plataformas a fim de concluir se os resultados obtidos neste trabalho também seria a realidade nessas outras plataformas.

Aplicação de forma explícitas de comandos e diretivas para utilização de GPU nas execuções como forma de melhorar o desempenho e apresentar dados mais significantes em relação a este hardware.

Comparar a utilização de diferentes tamanhos de chaves privada e publica analisando o seu impacto no desempenho das execuções.

Analisar a possibilidade de utilização do blockchain em outras aplicações citadas neste trabalho.

# Referências

ANDROULAKI, E. et al. Hyperledger fabric: A distributed operating system for permissioned blockchains. In: . Association for Computing Machinery, Inc, 2018. v. 2018-January. ISBN 9781450355841. Cited By 45; Conference of 13th EuroSys Conference, EuroSys 2018 ; Conference Date: 23 April 2018 Through 26 April 2018; Conference Code:135980. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85050874028&doi=10.1145%2f3190508.3190538&partnerID=40&md5=6fd88d3c0db890c4c3443dd097e34baf>>. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.

BISWAS, K.; MUTHUKKUMARASAMY, V. Securing smart cities using blockchain technology. In: . [s.n.], 2017. p. 1392–1393. Cited By 158. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85013629531&doi=10.1109%2fHPC- SmartCity-DSS.2016.0198&partnerID=40&md5=34e5295612c26b047f9107f83a6e457d>>. Citado na página 19.

BRAGADEESH, S.; UMAMAKESWARI, A. Role of blockchain in the internet-of-things (iot). *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, v. 7, n. 2, p. 109–112, 2018. Cited By 0. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85046356305&doi=10.14419%2fijet.v7i2.24.12011&partnerID=40&md5=777a3f24d573999a7eda703dbe8c738a>>. Citado na página 28.

BUTERIN, V. *Ethereum Whitepaper*. 2013. Disponível em: <<https://ethereum.org/en/whitepaper/>>. Citado na página 20.

CHEN, W. et al. A survey of blockchain applications in different domains. In: . Association for Computing Machinery, 2018. p. 17–21. ISBN 9781450366465. Cited By 0; Conference of 2018 International Conference on Blockchain Technology and Applications, ICBTA 2018 ; Conference Date: 10 December 2018 Through 12 December 2018; Conference Code:144811. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85061784403&doi=10.1145%2f3301403.3301407&partnerID=40&md5=120f4e89b2ef009e06b0545e7ec3d82a>>. Citado na página 31.

CHRISTIDIS, K.; DEVETSIKIOTIS, M. Blockchains and smart contracts for the internet of things. *IEEE Access*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., v. 4, p. 2292–2303, 2016. ISSN 21693536. Cited By 1090. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84979828304&doi=10.1109%2fACCESS.2016.2566339&partnerID=40&md5=6e954454a54dc6453ba8b670d4f6d41e>>. Citado 3 vezes nas páginas 18, 20 e 21.

Cruz, J. P.; Kaji, Y.; Yanai, N. Rbac-sc: Role-based access control using smart contract. *IEEE Access*, v. 6, p. 12240–12251, 2018. ISSN 2169-3536. Citado na página 23.

Danzi, P. et al. Blockchain-based and multi-layered electricity imbalance settlement architecture. In: *2018 IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids (SmartGridComm)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–7. Citado na página 39.

DIMITROV, D. Blockchain applications for healthcare data management. *Healthcare Informatics Research*, Korean Society of Medical Informatics, v. 25, n. 1, p. 51–56, 2019. ISSN 20933681. Cited By 0. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record>.

[uri?eid=2-s2.0-85062186149&doi=10.4258%2fhir.2019.25.1.51&partnerID=40&md5=63f48ca23f7916836305c472075b9d30](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85062186149&doi=10.4258%2fhir.2019.25.1.51&partnerID=40&md5=63f48ca23f7916836305c472075b9d30)>. Citado na página 28.

DONG, Z.; LUO, F.; LIANG, G. Blockchain: a secure, decentralized, trusted cyber infrastructure solution for future energy systems. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, v. 6, n. 5, p. 958–967, 2018. Cited By 28. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85053504636&doi=10.1007%2fs40565-018-0418-0&partnerID=40&md5=e47bd276d03de19ef91f9b720239b268>>. Citado 3 vezes nas páginas 7, 28 e 29.

GAO, W.; HATCHER, W.; YU, W. A survey of blockchain: Techniques, applications, and challenges. In: . Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. v. 2018-July. ISBN 9781538651568. ISSN 10952055. Cited By 3; Conference of 27th International Conference on Computer Communications and Networks, ICCCN 2018 ; Conference Date: 30 July 2018 Through 2 August 2018; Conference Code:140882. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85060440916&doi=10.1109%2fICCCN.2018.8487348&partnerID=40&md5=a03639d3da150c6ad824c1fe69866886>>. Citado na página 28.

GIL, A. *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. 6. ed. [S.l.]: Atlas, 2008. ISBN 978-85-224-5142-5. Citado na página 34.

GORANOVIC, A. et al. Blockchain applications in microgrids: An overview of current projects and concepts. In: . Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017. v. 2017-January, p. 6153–6158. ISBN 9781538611272. Cited By 9; Conference of 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON 2017 ; Conference Date: 29 October 2017 Through 1 November 2017; Conference Code:133535. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85046663744&doi=10.1109%2fIECON.2017.8217069&partnerID=40&md5=8ef4e974710a7d825385274601f11139>>. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 33.

GUO, Y.; LIANG, C. Blockchain application and outlook in the banking industry. *Financial Innovation*, SpringerOpen, v. 2, n. 1, 2016. ISSN 21994730. Cited By 39. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85018657883&doi=10.1186%2fs40854-016-0034-9&partnerID=40&md5=2db94a46c5b4fe36f91b1ecc83673dd4>>. Citado na página 31.

Huh, S.; Cho, S.; Kim, S. Managing iot devices using blockchain platform. In: *2017 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 464–467. Citado na página 22.

JAOUDE, J. A.; SAADE, R. G. Blockchain applications - usage in different domains. *IEEE Access*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., v. 7, p. 45360–45381, 2019. ISSN 21693536. Cited By 0. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85064569523&doi=10.1109%2fACCESS.2019.2902501&partnerID=40&md5=b963f8411ba3613bd72f39c18ba59cc7>>. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 31.

JIANG, Y. et al. A cross-chain solution to integrating multiple blockchains for iot data management. *Sensors (Basel, Switzerland)*, NLM (Medline), v. 19, n. 9, 2019. ISSN 14248220. Cited By 0. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85065652822&doi=10.3390%2fs19092042&partnerID=40&md5=56af30bcc45d73b937c7c3d1537f12e2>>. Citado na página 25.

Kim, J. M. et al. Proof of phone: A low-cost blockchain platform. In: *2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–4. ISSN 2158-4001. Citado na página 22.

KREKU, J. et al. Evaluating the efficiency of blockchains in iot with simulations. In: . [s.n.], 2017. p. 216–223. Cited By 6. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85024400888&doi=10.5220%2f0006240502160223&partnerID=40&md5=f1b887887765bdfb2de728bef2effd35>>. Citado na página 27.

KSHETRI, N. Can blockchain strengthen the internet of things? *IT Professional*, v. 19, n. 4, p. 68–72, 2017. Cited By 232. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85028731458&doi=10.1109%2fMITP.2017.3051335&partnerID=40&md5=09e5d5d497dfd35ebf40a56504426cd1>>. Citado na página 19.

LI, W. et al. Towards scalable and private industrial blockchains. In: . Association for Computing Machinery, Inc, 2017. p. 9–14. ISBN 9781450349741. Cited By 13; Conference of 1st ACM Workshop on Blockchain, Cryptocurrencies and Contracts, BCC 2017 ; Conference Date: 2 April 2017; Conference Code:127192. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85022203550&doi=10.1145%2f3055518.3055531&partnerID=40&md5=9a98c573419388c6461c1df9fc730c72>>. Citado na página 24.

Madala, D. S. V.; Jhanwar, M. P.; Chattopadhyay, A. Certificate transparency using blockchain. In: *2018 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 71–80. ISSN 2375-9259. Citado na página 23.

MANNARO, K.; PINNA, A.; MARCHESI, M. Crypto-trading: Blockchain-oriented energy market. In: . Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017. v. 2017-January, p. 1–5. ISBN 9788887237375. Cited By 9; Conference of 2017 AEIT International Annual Conference, AEIT 2017 ; Conference Date: 20 September 2017 Through 22 September 2017; Conference Code:134043. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85042692500&doi=10.23919%2fAEIT.2017.8240547&partnerID=40&md5=9a19a27c98e1238fbaf593c66f08c04a>>. Citado na página 39.

MANSKI, S. Building the blockchain world: Technological commonwealth or just more of the same? *Strategic Change*, Wiley-Blackwell Publishing Asia, v. 26, n. 5, p. 511–522, 2017. ISSN 10991697. Cited By 6. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85029888112&doi=10.1002%2fjsc.2151&partnerID=40&md5=94e364a34823e5383127f863371e1cee>>. Citado na página 32.

MATHWORKS. *250-kW Grid-Connected PV Array*. 2020. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/250-kw-grid-connected-pv-array.html>>. Acesso em: 14 jul. 2020. Citado na página 43.

MCGHIN, T. et al. Blockchain in healthcare applications: Research challenges and opportunities. *Journal of Network and Computer Applications*, Academic Press, v. 135, p. 62–75, 2019. ISSN 10848045. Cited By 0. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85062634311&doi=10.1016%2fj.jnca.2019.02.027&partnerID=40&md5=266679a64f43b178578df7e38d4255ea>>. Citado na página 29.

Mohanta, B. K.; Panda, S. S.; Jena, D. An overview of smart contract and use cases in blockchain technology. In: *2018 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–4. Citado na página 30.

Mondal, S. et al. Blockchain inspired rfid based information architecture for food supply chain. *IEEE Internet of Things Journal*, p. 1–1, 2019. ISSN 2327-4662. Citado na página 30.

MYUNG, S.; LEE, J.-H. Ethereum smart contract-based automated power trading algorithm in a microgrid environment. *Journal of Supercomputing*, Springer New York LLC, 2018. ISSN 09208542. Cited By 0; Article in Press. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85056836385&doi=10.1007%2fs11227-018-2697-7&partnerID=40&md5=9b35e870b8ccad66eea64178b3b0ecb7>>. Citado 5 vezes nas páginas 7, 33, 39, 46 e 47.

Pelaitis, D.; Spathoulas, G. Developing a universal, decentralized and immutable erasmus credit transfer system on blockchain. In: *2018 Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–6. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 31.

Pervez, H.; Haq, I. U. Blockchain and iot based disruption in logistics. In: *2019 2nd International Conference on Communication, Computing and Digital systems (C-CODE)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 276–281. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.

Pervez, H. et al. A comparative analysis of dag-based blockchain architectures. In: *2018 12th International Conference on Open Source Systems and Technologies (ICOSST)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 27–34. Citado na página 24.

Pokrovskaja, N. N.; Spivak, V. A.; Snisarenko, S. O. Developing global qualification-competencies ledger on blockchain platform. In: *2018 XVII Russian Scientific and Practical Conference on Planning and Teaching Engineering Staff for the Industrial and Economic Complex of the Region (PTES)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 209–212. Citado na página 31.

PUŠTIŠEK, M.; KOS, A. Approaches to front-end iot application development for the ethereum blockchain. In: . [s.n.], 2018. v. 129, p. 410–419. Cited By 28. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85047089514&doi=10.1016%2fj.procs.2018.03.017&partnerID=40&md5=64ab5ead362f3fb9b41c129829eb7ae>>. Citado 3 vezes nas páginas 19, 20 e 28.

RATANASOPITKUL, P. Blockchain - revolutionize green energy management. In: . IEEE Computer Society, 2019. v. 2018-October. ISBN 9789748257990. ISSN 21660581. Cited By 0; Conference of 2018 International Conference on Green Energy for Sustainable Development, ICUE 2018 ; Conference Date: 24 October 2018 Through 26 October 2018; Conference Code:144924. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85062835680&doi=10.23919%2fICUE-GESD.2018.8635666&partnerID=40&md5=fc92cd92381c03a4e1fa8a4279ea524b>>. Citado na página 26.

SANKARAN, S.; SANJU, S.; ACHUTHAN, K. Towards realistic energy profiling of blockchains for securing internet of things. In: . [s.n.], 2018. v. 2018-July, p. 1454–1459. Cited By 8. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85050964783&doi=10.1109%2fICDCS.2018.00148&partnerID=40&md5=44d7a68cc0c38d8cc6820c4e87edb1a3>>. Citado na página 27.

SARAF, C.; SABADRA, S. Blockchain platforms: A compendium. In: . Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. p. 1–6. ISBN 9781538656969. Cited By 2; Conference of 2018 IEEE International Conference on Innovative Research and Development, ICIRD 2018 ; Conference Date: 11 May 2018 Through 12 May 2018; Conference Code:137077. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85049911731&doi=10.1109%2fICIRD.2018.8376323&partnerID=40&md5=448238341259798d1ebb01dbc6f76ad6>>. Citado na página 25.

SERNA-SUAREZ, I.; ORDÓÑEZ-PLATA, G.; CARRILLO-CAICEDO, G. Microgrid's energy management systems: A survey. In: . [s.n.], 2015. v. 2015-August. Cited By 13. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84952000717&doi=10.1109%2fEEM.2015.7216662&partnerID=40&md5=24d9ddf2ca83666033862da55eab40cc>>. Citado na página 33.

Shukla, S. et al. Online voting application using ethereum blockchain. In: *2018 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 873–880. Citado na página 32.

TIAN, H.; HE, J.; DING, Y. Medical data management on blockchain with privacy. *Journal of Medical Systems*, Springer New York LLC, v. 43, n. 2, 2019. ISSN 01485598. Cited By 0. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85059493183&doi=10.1007%2fs10916-018-1144-x&partnerID=40&md5=528fb4d9e7d05b8935ee90b7b2a9bef8>>. Citado na página 24.

Turkanović, M. et al. Eductx: A blockchain-based higher education credit platform. *IEEE Access*, v. 6, p. 5112–5127, 2018. ISSN 2169-3536. Citado na página 31.

WU, B.; LI, Y. Design of evaluation system for digital education operational skill competition based on blockchain. In: . Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. p. 102–109. ISBN 9781538679920. Cited By 0; Conference of 15th International Conference on e-Business Engineering, ICEBE 2018 ; Conference Date: 12 October 2018 Through 14 October 2018; Conference Code:144172. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85061492489&doi=10.1109%2fICEBE.2018.00025&partnerID=40&md5=bad4e0b917f4e0b3580e1ce1c3e2fa2e>>. Citado na página 31.

Wu, L. et al. Democratic centralism: A hybrid blockchain architecture and its applications in energy internet. In: *2017 IEEE International Conference on Energy Internet (ICEI)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 176–181. Citado na página 39.

Xu, Q. et al. Building an ethereum and ipfs-based decentralized social network system. In: *2018 IEEE 24th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–6. ISSN 1521-9097. Citado na página 22.

ZHANG, Y.; WEN, J. The iot electric business model: Using blockchain technology for the internet of things. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, v. 10, n. 4, p. 983–994, 2017. Cited By 172. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84963642175&doi=10.1007%2fs12083-016-0456-1&partnerID=40&md5=18343b9edeb8e395c08461fe8327a5be>>. Citado na página 20.

ZHENG, Z. et al. An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends. In: . [s.n.], 2017. p. 557–564. Cited By 594. Disponível em:

<<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85019665012&doi=10.1109%2fBigDataCongress.2017.85&partnerID=40&md5=c2de287d12169cfed5a162648f1a266e>>. Citado 3 vezes nas páginas 18, 20 e 21.

ØLNES, S.; UBACHT, J.; JANSSEN, M. Blockchain in government: Benefits and implications of distributed ledger technology for information sharing. *Government Information Quarterly*, Elsevier Ltd, v. 34, n. 3, p. 355–364, 2017. ISSN 0740624X. Cited By 36. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85032571246&doi=10.1016%2fj.giq.2017.09.007&partnerID=40&md5=249a71b8948ecb79a1b4ab60b9aaaa3a>>. Citado na página 32.

# **Apêndices**

# APÊNDICE A – Códigos de Gerenciamento do Blockchain

Listing A.1 – Código do smart contract fabricante de leilões (AuctionFactory.sol)

```

1 pragma solidity >=0.4.21 <0.7.0;
2
3 import
4     "/home/thiago/Documentos/Coding/Truffle/desenv-node-bc/contracts/Auction.sol";
5 contract AuctionFactory {
6
7     function createAuction(uint32 auctionType, uint32 auctionStart,
8         uint32 biddingTime, uint256 min,
9         uint32 power, uint32 powerStart,
10        uint32 powerEnd) public returns(Auction) {
11        Auction newAuction = new Auction(auctionType, msg.sender,
12            auctionStart, biddingTime, min, power, powerStart,
13            powerEnd);
14        return newAuction;
15    }
16 }

```

Listing A.2 – Código do smart contract que gerencia um leilão (Auction.sol)

```

1 pragma solidity >=0.4.21 <0.7.0;
2
3
4 contract Auction {
5     //Contract type
6     uint32 public auctionType;
7     //Beneficiary's address
8     address payable public beneficiary;
9     //Time stamp of auction start
10    uint32 public auctionStart;
11    //Time stamp of auction end
12    uint32 public biddingTime;
13    //Limitation of minimum bidding amount
14    uint256 public min;
15    //Beneficiary's supply power

```

```
16 uint32 public power;
17 //Time stamp of supply start
18 uint32 public powerStart;
19 //Time stamp of supply end
20 uint32 public powerEnd;
21 //highest bidder at the moment
22 address public highestBidder;
23 //highest bidder's bidding amount
24 uint256 public highestBid;
25 //state of auction(end == true)
26 bool public ended;
27
28 //deposit of bidders amount
29 mapping(address => uint) pendingReturns;
30
31 //Constructor function for initialization of Contract
32 constructor(
33     uint32 _type,
34     address payable _beneficiary,
35     uint32 _auctionStart,
36     uint32 _biddingTime,
37     uint256 _min,
38     uint32 _power,
39     uint32 _powerStart,
40     uint32 _powerEnd
41 ) public {
42     auctionType = _type;
43     beneficiary = _beneficiary;
44     auctionStart = _auctionStart;
45     biddingTime = _biddingTime;
46     min = _min;
47     power = _power;
48     powerStart = _powerStart;
49     powerEnd = _powerEnd;
50 }
51
52 //bidding function, paid by tx
53 function Bid() payable public {
54     //check bidding time
55     require(now < biddingTime);
56     //English auction
57     if(auctionType == 1) {
```

```
58     //check the condition of bidding value
59     require(msg.value >= min);
60     require(msg.value > highestBid);
61
62     //freeze pre bidding amount
63     if (highestBid != 0) {
64         pendingReturns[highestBidder] += highestBid;
65     }
66
67     //set bidding amount
68     highestBidder = msg.sender;
69     highestBid = msg.value;
70
71     //Blind auction
72     } else if(auctionType == 2) {
73         //next version of this studies
74         require(false);
75     } else require(false);
76 }
77
78 //Withdraw function for bidder
79 function Withdraw() public returns (bool) {
80     //freezed
81     require(ended == true);
82
83     //bidder's total amount
84     uint256 amount = pendingReturns[msg.sender];
85     if (amount > 0) {
86         pendingReturns[msg.sender] = 0;
87
88         //wthdraw unaccepted bidding amount
89         if (!msg.sender.send(amount)) {
90             pendingReturns[msg.sender] = amount;
91             return false;
92         }
93     }
94     return true;
95 }
96
97 //finish function for beneficiary
98 //1. close the auction
99 //2. transfer bidding amount to beneficiary
```

```
100 function Auctionend() public {
101     //check the bidding time is over
102     require(now >= biddingTime);
103     //already end
104     require(!ended);
105     //set end
106     ended = true;
107     //transfer bidding amount to beneficiary
108     beneficiary.transfer(highestBid);
109     pendingReturns[highestBidder] -= highestBid;
110 }
111
112
113 }
```

Listing A.3 – Código utilizado na simulação para a solicitação de uma transação (a criação de um leilão) (App.js)

```
1
2
3 const Web3 = require('web3');
4 const EthereumTx = require('ethereumjs-tx');
5
6 // const INFURA_API_KEY = '135f54a4610f4cadb599dde761d10e5f';
7
8 const infura = 'HTTP://127.0.0.1:7545';
9
10 const web3 = new Web3(new Web3.providers.HttpProvider(infura));
11
12 // web3.eth.defaultAccount
13     = '0x68655B94854409D0a33e506Fe8F5ef97c48D3ad0';
14 web3.eth.defaultAccount = process.argv[2];
15
16 const abi = [
17     {
18         "constant": false,
19         "inputs": [
20             {
21                 "internalType": "uint32",
22                 "name": "auctionType",
23                 "type": "uint32"
24             }
25         ]
26     }
27 ]
```

```
25     "internalType": "uint32",
26     "name": "auctionStart",
27     "type": "uint32"
28   },
29   {
30     "internalType": "uint32",
31     "name": "biddingTime",
32     "type": "uint32"
33   },
34   {
35     "internalType": "uint256",
36     "name": "min",
37     "type": "uint256"
38   },
39   {
40     "internalType": "uint32",
41     "name": "power",
42     "type": "uint32"
43   },
44   {
45     "internalType": "uint32",
46     "name": "powerStart",
47     "type": "uint32"
48   },
49   {
50     "internalType": "uint32",
51     "name": "powerEnd",
52     "type": "uint32"
53   }
54 ],
55 "name": "createAuction",
56 "outputs": [
57   {
58     "internalType": "contract Auction",
59     "name": "",
60     "type": "address"
61   }
62 ],
63 "payable": false,
64 "stateMutability": "nonpayable",
65 "type": "function"
66 }
```

```
67   ];
68
69   // const pk =
70     '31EA2CBF59E7FABC2920B4A4044AFDEE1B538D193AC5EADAFEF015FC33070D39';
71   const pk = process.argv[3];
72
73   // const toadd =
74
75   //Contract Address
76   const address = '0x05CB95Ec6D068a9C0B481B7829Bc85adB8aB7dc2';
77
78   //let myBalanceWei =
79     web3.eth.getBalance(web3.eth.defaultAccount).toNumber()
80   //let myBalance = web3.fromWei(myBalanceWei, 'ether')
81   antes = Date.now();
82   web3.eth.getTransactionCount(web3.eth.defaultAccount, function
83     (err, nonce) {
84
85     // console.log('nonce value is ' + nonce);
86     const contract = new web3.eth.Contract(abi, address, {
87       from: web3.eth.defaultAccount,
88       gasPrice: 200000000000,
89       gas: 6721975,
90     });
91
92     const functionAbi = contract.methods.createAuction(1, 5000,
93       5000000000, 30, 100, 5000, 5000000000).encodeABI();
94
95     var details = {
96       "nonce": nonce,
97       "gasPrice": web3.utils.toHex(web3.utils.toWei('200000000000',
98         'wei')),
99       "gas": 6721975,
100      "to": address,
101      "value": 0,
102      "data": functionAbi,
103    };
104
105     const transaction = new EthereumTx(details);
```

```
104
105     transaction.sign(Buffer.from(pk, 'hex') );
106
107
108     var rawData = '0x' + transaction.serialize().toString('hex');
109     // console.log(rawData);
110
111     // const transactionId = web3.eth.sendRawTransaction(rawData);
112     // console.log(transactionId)
113
114     var duracao_total = 0;
115     var antes = 0;
116
117     antes = Date.now();
118     web3.eth.sendSignedTransaction(rawData)
119     .on('transactionHash', function(hash){
120         //console.log(['transferToStaging Trx Hash:' + hash]);
121     }).on('receipt', function(receipt){
122         //console.log(['transferToStaging Receipt:', receipt]);
123         duracao_total = Date.now() - antes;
124         console.log("Duracao : " + duracao_total);
125
126     }).on('error', console.error)
127
128
129
130 });
131
132
133 // console.log(abi);
```

# APÊNDICE B – Scripts para Captação de Dados

Listing B.1 – Script para execução do Ganache e exportação das chaves publicas e privadas para o arquivo accounts.txt. no exemplo está executando com 40 contas. (ganache.sh)

```

1 #!/bin/sh
2
3 ganache-cli -a 40 -p 7545 > accounts.txt

```

Listing B.2 – Script utilizado para executar o script de simulação com o número de vezes sendo regido pela quantidade de contas simultâneas. No exemplo existiam 40 contas. (runshell.sh)

```

1 #!/bin/sh
2 QTD_TEST=100;
3 QTDACCOUNTS=1;
4
5 for i in 40; do
6   QTDACCOUNTS=$i;
7   mkdir "$QTDACCOUNTS"usr_"$QTD_TEST"exe
8   for counter in $(seq 0 $(echo $QTDACCOUNTS-1 | bc)); do
9     public=$(cat accounts.txt | grep "($counter)" | grep 'ETH' |
10      cut -d' ' -f 2);
11     private=$(cat accounts.txt | grep "($counter)" | grep -v 'ETH' |
12      | cut -d' ' -f 2 | cut -d'x' -f 2);
13
14     # node src/app.js $public $private &
15     ./script.sh 0$counter $public $private $QTDACCOUNTS &
16   done
17   sleep 1000;
18 done

```

Listing B.3 – "Script utilizado para fazer as chamadas do arquivo app.js que é responsável pelas solicitações de transações. (script.sh)"

```

1 #!/bin/sh
2
3 QTD_TEST=100;
4 QTDACCOUNTS=4;

```

```
5 PATH_HWINFO="$QTDACCOUNTS"usr_"$QTD_TEST"exe/hw_info$1;
6 #echo $PATH_HWINFO;
7
8 # rm result_time
9 # rm result_classify
10 # rm clean_result
11 # rm -rd $PATH_HWINFO
12 # mkdir "$QTDACCOUNTS"usr_"$QTD_TEST"exe
13 mkdir $PATH_HWINFO
14
15 for counter in $(seq 1 $QTD_TEST); do
16     total=0;
17     for i in $(seq 1 10); do
18         node src/app.js $2 $3 > "$PATH_HWINFO"/temp_time;
19         total=$(echo $total+$(cat "$PATH_HWINFO"/temp_time | grep
20             Duracao | cut -d' ' -f 3) | bc)
21         #echo $total;
22     done
23     echo $total >> "$PATH_HWINFO"/result_time;
24     sleep 5
25 done
26
27 # sed '/^Extracting/ d' < result_time > clean_result_time
28
29 for counter in $(seq 1 $QTD_TEST); do
30     ./get_gpu_temp.sh $counter $1 $PATH_HWINFO &
31     ./get_gpu_usage.sh $counter $1 $PATH_HWINFO &
32     ./get_cpu_temp.sh $counter $1 $PATH_HWINFO &
33     ./get_cpu_usage.sh $counter $1 $PATH_HWINFO &
34     ./get_mem_usage.sh $counter $1 $PATH_HWINFO &
35     for i in $(seq 1 10); do
36         node src/app.js $2 $3;
37     done
38     $(ps -axf | grep "./get_gpu_temp.sh $counter $1 $PATH_HWINFO" |
39         grep -v grep | awk '{print "kill " $1}')
40     $(ps -axf | grep "./get_gpu_usage.sh $counter $1 $PATH_HWINFO" |
41         grep -v grep | awk '{print "kill " $1}')
42     $(ps -axf | grep "./get_cpu_temp.sh $counter $1 $PATH_HWINFO" |
43         grep -v grep | awk '{print "kill " $1}')
44     $(ps -axf | grep "./get_cpu_usage.sh $counter $1 $PATH_HWINFO" |
45         grep -v grep | awk '{print "kill " $1}')
46     $(ps -axf | grep "./get_mem_usage.sh $counter $1 $PATH_HWINFO" |
47         grep -v grep | awk '{print "kill " $1}')
```

```
41     sleep 5
42 done
43
44 ./get_hw_infos.sh $QTD_TEST $1 $PATH_HWINFO
```

Listing B.4 – Script responsável por captar os dados de temperatura da cpu. A execução é interrompida pela execução do arquivo script.sh (get\_cpu\_temp.sh)

```
1 #!/bin/sh
2
3 while (true); do
4     sensors | grep CPU | awk '{print $2}' | cut -d'.' -f 1 | cut -d'+'
5     -f 2 >> $3/cpu_temp_$1
6 done
```

Listing B.5 – Script responsável por captar os dados de utilização da cpu. A execução é interrompida pela execução do arquivo script.sh (get\_cpu\_usage.sh)

```
1 #!/bin/sh
2
3 while (true); do
4     top -b -n 1 | grep "%Cpu(s)" | awk '{print $2}' >> $3/cpu_usage_$1
5 done
```

Listing B.6 – Script responsável por captar os dados de temperatura da gpu. A execução é interrompida pela execução do arquivo script.sh (get\_gpu\_temp.sh)

```
1 #!/bin/sh
2
3 while (true); do
4     nvidia-smi | grep % | awk '{print $3}' | cut -d'C' -f 1 >>
5     $3/gpu_temp_$1
6 done
```

Listing B.7 – Script responsável por captar os dados de utilização da gpu. A execução é interrompida pela execução do arquivo script.sh (get\_gpu\_usage.sh)

```
1 #!/bin/sh
2
3 while (true); do
4     nvidia-smi | grep % | awk '{print $13}' | cut -d'%' -f 1 >>
5     $3/gpu_usage_$1
6 done
```

Listing B.8 – Script responsável por captar os dados de utilização da memória RAM. A execução é interrompida pela execução do arquivo script.sh (get\_mem\_usage.sh)

```
1  #!/bin/sh
2
3  while (true); do
4      top -b -n 1 | grep "KiB Mem" | awk '{print ($4-$6)*100/$4}' >>
        $3/mem_usage_$1
5  done
```

Listing B.9 – Script para organizar dados extraídos por cada conta/agente em um arquivo csv (get\_hw\_infos.sh)

```
1  #!/bin/sh
2
3  QTD_TEST=$1
4
5
6  # rm $3/hw_info$2.csv
7  for counter in $(seq 1 $QTD_TEST); do
8      sed -i.bak s/,/\./g $3/cpu_usage_$counter
9      sed -i.bak s/,/\./g $3/gpu_usage_$counter
10     sed -i.bak s/,/\./g $3/mem_usage_$counter
11 done
12
13 rm $3/*.bak
14
15 printf "cpu_temp, gpu_temp, mem_usage, cpu_usage, gpu_usage\n" >>
        $3/hw_info$2.csv
16
17 for counter in $(seq 1 $QTD_TEST); do
18     echo TESTE $2 $counter/$QTD_TEST;
19
20     # Retirando valores N/A
21     cat $3/cpu_temp_$counter | grep -v N/A > $3/cpu_temp_now;
22     mv $3/cpu_temp_now $3/cpu_temp_$counter;
23     # Calculando media da temperatura da cpu
24     count=$(wc -l < $3/cpu_temp_$counter); total=0; contador=0;
25     for i in $( awk '{ print $1; }' $3/cpu_temp_$counter ); do
26         total=$(echo $total+$i | bc )
27     done
28     printf "%f, " $(echo "scale=6; $total / $count" | bc) >>
        $3/hw_info$2.csv
```

```
29
30 # Calculando media da temperatura da gpu
31 count=$(wc -l < $3/gpu_temp_$counter); total=0; contador=0;
32 for i in $( awk '{ print $1; }' $3/gpu_temp_$counter ); do
33     total=$(echo $total+$i | bc )
34 done
35 printf "%f, " $(echo "scale=6; $total / $count" | bc) >>
36     $3/hw_info$2.csv
37
38 # Calculando media do uso da memoria
39 count=$(wc -l < $3/mem_usage_$counter); total=0; contador=0;
40 for i in $( awk '{ print $1; }' $3/mem_usage_$counter ); do
41     total=$(echo $total+$i | bc )
42 done
43 printf "%f, " $(echo "scale=6; $total / $count" | bc) >>
44     $3/hw_info$2.csv
45
46 # Calculando media do uso da cpu
47 count=$(wc -l < $3/cpu_usage_$counter); total=0; contador=0;
48 for i in $( awk '{ print $1; }' $3/cpu_usage_$counter ); do
49     total=$(echo $total+$i | bc )
50 done
51 printf "%f, " $(echo "scale=6; $total / $count" | bc) >>
52     $3/hw_info$2.csv
53
54 # Calculando media do uso da gpu
55 count=$(wc -l < $3/gpu_usage_$counter); total=0; contador=0;
56 for i in $( awk '{ print $1; }' $3/gpu_usage_$counter ); do
57     total=$(echo $total+$i | bc )
58 done
59 printf "%f\n" $(echo "scale=6; $total / $count" | bc) >>
60     $3/hw_info$2.csv
61
62 done
```