

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC  
CENTRO SÓCIO ECONÔMICO - CSE  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS - CNM  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

MATHEUS FILATRO KONSTANTINIDIS

**AS DECISÕES DE MINERAÇÃO DE BITCOIN APLICADAS À  
TEORIA DA FIRMA EM 2021**

Florianópolis

2021

Matheus Filatro Konstantinidis

**As Decisões De Mineração De Bitcoin Aplicadas À Teoria Da  
Firma Em 2021**

Monografia submetida ao curso de Ciências  
Econômicas da Universidade Federal de Santa  
Catarina, como requisito obrigatório para a  
obtenção do grau de Bacharelado.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Meurer

Florianópolis

2021

### Ficha de Identificação da Obra

Konstantinidis, Matheus

As decisões de mineração de bitcoin aplicadas à teoria da firma em 2021 / Matheus Konstantinidis ; orientador, Roberto Meurer, 2021.

50 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Sócio Econômico, Graduação em Ciências Econômicas, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Ciências Econômicas. 2. Bitcoin. 3. Mineração. 4. Teoria da Firma. I. Meurer, Roberto. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciências Econômicas. III. Título.

Matheus Filatro Konstantinidis  
**As Decisões De Mineração De Bitcoin Aplicadas À Teoria Da Firma Em 2021**

Florianópolis, 17 de setembro de 2021.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Roberto Meurer  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Gueibi Peres Souza  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Francis Carlo Petterini Lourenço  
Universidade Federal de Santa Catarina

Certifico que esta é a **versão original e final** do Trabalho de Conclusão de Curso que foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Economia por mim e pelos demais membros da banca examinadora.

---

Prof. Dr. Roberto Meurer  
Orientador

Florianópolis, 2021

## RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de apresentar as decisões de mineração da criptomoeda Bitcoin aplicadas à Teoria da Firma. Para atingir tal objetivo, esta monografia introduz e descreve a evolução da moeda digital desde seu surgimento, até o momento atual, em meados de 2021, destacando o crescimento de sua popularidade, seu preço de mercado e atividade de mineração. Em seguida, a teoria é apresentada e exemplificada, para servir de base para o entendimento do desenvolvimento principal da pesquisa realizada. É evidenciada a teoria da produção, dos custos e dos rendimentos de escala para fazer uma conexão com a atividade de mineração de Bitcoin. Após, é feita a análise das variáveis que afetam os retornos da operação de mineração, indicando o cálculo necessário para estimar a receita do empreendimento. As condições e preços dos fatores de produção do atual mercado são apresentadas para possibilitar os cálculos na análise de viabilidade da mineração de Bitcoin. Por fim, são apresentados os impactos da variação do preço de mercado, tarifa energética e poder computacional total da rede no faturamento e na lucratividade da operação de mineração. O custo de energia elétrica é identificado como o principal fator de produção que impacta nos lucros do empreendimento, devendo ser minimizados, enquanto há a maximização do poder computacional disponível na operação. O preço de mercado do Bitcoin e o poder *Hashrate* total da rede apresentam efeito direto na receita do empreendimento.

**Palavras-chave:** Bitcoin. Mineração. Teoria da Firma.

## ABSTRACT

The present work aims to present the Bitcoin cryptocurrency mining decisions applied to the Theory of Firm. To achieve this goal, it introduces and describes the evolution of digital currency from its emergence to the present time in mid-2021, highlighting its growth in popularity, market price, and mining activity. The theory is presented and exemplified to serve as a basis for understanding the research's significant development. The theory of production, costs, and returns to scale is evidenced to connect with the Bitcoin mining activity. Afterward, the analysis of the variables that affect the returns of the mining operation is carried out, indicating the necessary calculation to estimate the enterprise's revenue. The conditions and prices of production factors in the current market are presented to enable calculations in the Bitcoin mining feasibility analysis. Finally, the impacts of the variation in market price, energy tariff, and total computational power of the network on the billing and profitability of the mining operation are presented. The cost of electricity is identified as the main production factor that impacts the enterprise's profits and should be minimized while the computational power available in operation is maximized. Bitcoin's market price and the network's total Hashrate power directly affect the enterprise's revenue.

**Keywords:** Bitcoin. Mining. Theory of Firm.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo - Retornos Constantes de Escala.....	14
Tabela 2 - Exemplo - Retornos Decrescentes de Escala.....	15
Tabela 3 - Exemplo - Retornos Crescentes de Escala.....	15
Tabela 4 - Maiores <i>Pools</i> de mineração por Blocos minerados.....	25
Tabela 5 - Os países com as tarifas de eletricidade mais baixas para empresas em US\$ por kWh (dezembro, 2020).....	27
Tabela 6 - ASICs com maior Hashrate do mercado em 2021 (Th/s).....	28
Tabela 7 - Relação entre ASICs adquiridas e o prazo para o retorno do investimento.....	34

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparação entre o Hashrate da rede e a Dificuldade da mineração do Bitcoin (de 2009 à 2013).....	11
Gráfico 2 - Comparação entre o Hashrate da rede e a Dificuldade da mineração do Bitcoin (de 2013 à 2021).....	11
Gráfico 3 - Tipos de Retorno de Escala.....	16
Gráfico 4 - Maximização de Lucros - Curva de Custos, Receita e Lucro.....	18
Gráfico 5 - Gráfico 5 - Evolução do preço histórico do Bitcoin (em US\$).....	19
Gráfico 6 - Evolução do Preço do Bitcoin em dólares (US\$) em comparação com o crescimento da dificuldade de mineração de 2009 à 2013.....	21
Gráfico 7 - Evolução do Preço do Bitcoin em dólares (US\$) em comparação com o crescimento da dificuldade de mineração de 2013 à 2021.....	21
Gráfico 8 - Distribuição das <i>Pools</i> do Bitcoin em blocos minerados (julho 2021).....	24
Gráfico 9 - Evolução das receitas e despesas da operação de mineração de Bitcoin (em US\$).....	32
Gráfico 10 - Relação entre ASICs adquiridas e Prazo para o retorno do investimento.....	35
Gráfico 11 - Impacto do preço do Bitcoin na receita e lucro da operação de mineração (em US\$).....	36
Gráfico 12 - Impacto da variação na tarifa de energia nos lucros da operação de mineração (em US\$).....	37
Gráfico 13 - Impacto da variação do <i>Hashrate</i> do sistema na receita e lucro da mineração (em US\$).....	38
Gráfico 14 - O resultado de uma queda no preço do Bitcoin e no <i>Hashrate</i> total sobre a receita e lucro de uma operação de mineração.....	39
Gráfico 15 - Resultado de uma valorização no preço do Bitcoin e no <i>Hashrate</i> total sobre a receita e lucro de uma operação de mineração.....	40
Gráfico 16 - Comparação entre a evolução do preço do Bitcoin e do <i>Hashrate</i> total da rede (ago. 2018 até ago. 2021).....	41

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
1.1 TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA	10
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo Geral	12
1.2.2 Objetivos Específicos	12
1.3 JUSTIFICATIVA	12
<b>2 O FUNCIONAMENTO DO BITCOIN, A MINERAÇÃO E A TEORIA DA FIRMA</b>	<b>13</b>
2.1 O SISTEMA DO BITCOIN	13
2.1.1 Proof of Work e a Mineração de Bitcoin	13
2.2 A TEORIA DA FIRMA	16
<b>3 UMA ANÁLISE DOS IMPACTOS DA VARIAÇÃO DO PREÇO DE MERCADO DO BITCOIN NAS DECISÕES DE MINERAÇÃO</b>	<b>23</b>
3.1 A MINERAÇÃO DO BITCOIN TORNA-SE UM EMPREENDIMENTO	23
3.2 A OPERAÇÃO DE MINERAÇÃO DE CRIPTOATIVOS APLICADA NA TEORIA DA FIRMA	25
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA

Em 2008, dentro do contexto da grande crise do subprime, no momento do colapso do sistema financeiro estadunidense, uma proposta inovadora foi publicada na internet. Em um período de grande desconfiança da população mundial com o sistema financeiro, especialmente nos Estados Unidos e na Europa, o pseudônimo Satoshi Nakamoto (2008) divulgou um documento técnico conhecido como *White Paper* que apresentava um plano denominado: “*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*” (NAKAMOTO, 2008).

A proposta era clara, desenvolver um sistema financeiro de transações totalmente descentralizado que não dependesse da intermediação de qualquer instituição central para funcionar confiavelmente. O projeto utilizaria da tecnologia da criptografia para desenvolver um sistema anônimo, seguro, que não pudesse ser fraudado e ainda descentralizado.

Com a proposta de não haver um órgão regulador, Nakamoto (2008) indica que o próprio sistema do Bitcoin buscaria ajuda de seus apoiadores para possibilitar o funcionamento apropriado das transações feitas com a moeda. A dinâmica implementada foi o conceito de *Proof of Work* (ANDERSON e FRANKENFIELD, 2021), criada em 1993 com o intuito de combater *junk mails* (e-mails indesejados), nesse momento passou a funcionar como uma validação de que todas as transações que foram registradas no sistema do Bitcoin realmente eram reais. Assim, em um exemplo em que o sistema do Bitcoin possui dez pessoas validando as transações que ocorrem em tempo real, todas as transações precisam ser anotadas por cada um destes dez integrantes. Caso uma transação esteja sendo indicada nas anotações de apenas uma dos dez validadores, o sistema considera esta transação como fraude e não realiza a operação financeira. Estes validadores do sistema são chamados de Mineradores e o ato de validar as transações feitas com Bitcoin é a mineração.

O motivo pelo qual um indivíduo possa querer participar deste sistema de validação de transações feitas com Bitcoin, é o fato de ter a chance de ser remunerado por este trabalho com a própria criptomoeda (BITCOIN NEWS, 2013). A cada dez minutos, um conjunto de transações chamado de bloco (ou *block*) é validado pelos mineradores e por fim um dos mineradores que participou da validação receberá uma quantia fixa de Bitcoins. Inicialmente a quantia era de 50 BTC (50 Bitcoins) e esta vem reduzindo pela metade a cada quatro anos, o que é chamado na rede de *Halving*. Em 2012 passou a ser 25 BTC, em 2016 12,5 BTC e no

ano de 2020 reduziu-se novamente e chegou a quantia de 6,25 BTC. Este prêmio que o sistema paga a cada bloco de validação é a única injeção de Bitcoins que ocorre no sistema. Conseqüentemente, pode-se observar que em algum dado momento as injeções de Bitcoin irão se encerrar. O sistema já foi iniciado com esta programação e as injeções de Bitcoin se encerrarão quando 21 milhões de unidades da moeda forem atingidas, o que está previsto para 2140.

Para participar na dinâmica de mineração do Bitcoin é necessário ter um computador para realizar o processo de validação (NASCIMENTO, D. 2021). O próprio computador realiza todo o trabalho utilizando de seu poder de processamento para fazer as validações de transações. Para explicar o funcionamento do sistema de pagamento do prêmio para os mineradores, é possível observar novamente o exemplo dos dez mineradores. Neste caso, assumindo que todos os dez possuem computadores iguais com o mesmo poder de processamento total, a probabilidade de receber o prêmio ao finalizar as validações do próximo bloco são as iguais. O indivíduo 1 receberia o primeiro prêmio, em seguida o indivíduo 5 e assim por diante de maneira aleatória. Mas a dinâmica muda quando alguns possuem mais poder de processamento do que os outros validadores, um segundo computador por exemplo. Quem possui mais poder de processamento terá mais chances de ganhar o próximo prêmio ao fim das validações do próximo bloco de transações.

Pode-se notar que o sistema do Bitcoin beneficia-se com o maior número de mineradores possível, pois quanto mais validadores, mais seguro e confiável será o sistema de transações do Bitcoin. A partir disso, de acordo com Nascimento (2021), há uma corrida em que começam a surgir mais mineradores, buscando adquirir mais poder computacional para conquistar mais chances de receber o próximo prêmio. Com a valorização exponencial da criptomoeda desde 2008, valendo menos de um dólar americano na época, até os dias atuais, atingindo o valor de mais de 63 mil dólares americanos no dia 13 de abril de 2021 por uma unidade de Bitcoin, a corrida pela moeda batizada por alguns de “ouro digital” torna-se mais intensa e incessante.

Este trabalho tem como seu principal objetivo descrever todos os fatores existentes para fazer uma operação de mineração de Bitcoin funcionar adequadamente e de maneira lucrativa. Além disso, o estudo busca analisar quais são os impactos da variação do preço de mercado do Bitcoin nos resultados e decisões dos mineradores. Por fim, introduz a Teoria da

Firma como referência de teoria para basear os cálculos e explicações dos cenários hipotéticos testados e apresentados.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Analisar como a oscilação do preço de mercado do Bitcoin pode afetar as decisões dos mineradores da criptomoeda em 2021.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Apresentar os fatores de produção determinantes para o funcionamento das operações de mineração do Bitcoin e outros criptoativos;
- Observar a variação histórica do preço do Bitcoin e colocá-la em comparação com a evolução da intensidade total da mineração no sistema;
- Verificar as variáveis que influenciam na lucratividade e decisão de produção dos mineradores de Bitcoin;
- Indicar os impactos da variação do preço do Bitcoin no mercado de mineração do ano de 2021.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

A relevância deste trabalho está na busca por entender os motivos para o aumento da popularidade da mineração do Bitcoin e outras criptomoedas, além de analisar como este mercado é rentável e quais são as variáveis que o afetam. Esta pesquisa apresenta o crescimento do mercado de mineração de Bitcoin desde seu surgimento e consolida as informações e cálculos necessários para a estruturação de uma operação lucrativa.

Ademais, em março de 2021 o consumo de energia anual da mineração do Bitcoin foi estimado ser maior do que o consumo energético anual da Noruega (LU, 2021). Dado os impactos ambientais que um consumo energético da grandeza de um país pode causar, o mercado de mineração de criptoativos deve ser estudado para a identificação do porquê deste receber tanta atenção de pequenos e grandes empreendedores.

Este estudo traz um referencial bibliográfico predominantemente recente, sendo uma pesquisa atualizada deste setor que rapidamente muda todos os anos, com a intensa variação

no preço do Bitcoin e outros criptoativos e o constante surgimento de novas tecnologias utilizando a *Blockchain*.

## **2 O FUNCIONAMENTO DO BITCOIN, A MINERAÇÃO E A TEORIA DA FIRMA**

### **2.1 O SISTEMA DO BITCOIN**

O Bitcoin foi a primeira moeda digital criada, uma criptomoeda, lançada por Satoshi Nakamoto (2008). Uma moeda existente apenas na internet que utiliza códigos criptografados para evitar fraudes, clonagem e manter a confiabilidade em seu valor. O Bitcoin (ou “BTC”) surgiu no momento de crise no sistema financeiro estadunidense e queda na confiança sobre o setor bancário no período de 2007-2008, oferecendo a proposta de uma moeda não só criptografada e segura existente apenas na internet, como também uma moeda descentralizada que não depende de bancos ou outros agentes intermediários para realizar o controle e regulação. Quando Nakamoto (2008), o pseudônimo do criador do sistema do Bitcoin, divulgou seu *White Paper “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”* (“Bitcoin: Um Sistema Ponto-a-Ponto De Dinheiro Eletrônico) este visualizou a importância de uma dinâmica financeira independente de intermediários para garantir a segurança da moeda digital. Surgiu então a necessidade de solucionar a seguinte questão: como serão evitadas transações fraudulentas numa dinâmica em que não há um órgão fiscalizador centralizado?

#### **2.1.1 Proof of Work e a Mineração de Bitcoin**

A solução para esta questão foi incentivar os participantes deste sistema a auxiliar na verificação de cada transação feita com a moeda digital. Estes participantes colocam seus computadores para analisar cada transação e anotá-las digitalmente, em troca de concorrerem a uma recompensa em Bitcoins. Como indicado por Nascimento (2021), a cada 10 minutos, um “bloco” de transações é analisado e validado por diversos participantes deste sistema, criando digitalmente uma sequência de blocos em cadeia que armazenam todas as transações já feitas com Bitcoin até hoje, o que gerou o termo “*blockchain*” ouvido nos últimos anos.

O sistema adotou a estratégia de *Proof of Work* com o intuito de comprovar a participação dos validadores nas transações. Esta estratégia busca criar um desafio na forma de um quebra cabeça matemático arbitrário que exige do poder de processamento dos

computadores na validação de cada bloco para evitar que alguém engane o sistema. Desta forma, o sistema do Bitcoin conseguiu provar-se seguro para processar transações P2P (de pessoa para pessoa) sem necessitar da moderação de um terceiro. Aquele que conseguir resolver a desafiadora equação matemática primeiro, levará a recompensa daquele bloco de transações. A recompensa iniciou em 2009 na quantia de 50 BTC e a cada quatro anos o sistema reduz pela metade este prêmio, caindo para 25 BTC em 2012, 12,5 BTC em 2016 e 6,25 BTC em 2020.

Neste cenário, se o sistema possui 10 validadores, todos com um poder de processamento igual, cada participante possui a mesma probabilidade de garantir a recompensa para cada bloco. Mas a partir do momento que um validador possui mais poder de processamento, este tem maior probabilidade de garantir as recompensas em comparação aos seus concorrentes. Esses “validadores” que auxiliam na verificação das transações em troca de disputar a recompensa em Bitcoins são chamados de “Mineradores”, por haver uma similaridade na competição e grande dificuldade de conquistar a recompensa buscada. Assim, com o crescimento da quantidade de mineradores no sistema do Bitcoin em busca da recompensa, maior será o desafio matemático que estes precisam resolver para disputar o grande prêmio.

Quanto maior o número de mineradores, maior será a dificuldade de minerar um bloco de transações, apontado por Frankenfield e Anderson (2021). Isto se dá pois o sistema é programado para recalcular a cada 2016 blocos minerados - em torno de 2 semanas - se deve dificultar o quebra-cabeças matemático ou facilitá-lo. Esta conclusão é atingida observando em quanto tempo o bloco é minerado, ou seja, em quanto tempo alguém recebe o prêmio daquela rodada de validação. Se em média os últimos 2016 blocos foram minerados em menos de 10 minutos - talvez por um número maior de mineradores ou poder computacional - o sistema dificultará os desafios matemáticos para encontrar o equilíbrio da validação de um bloco de transações a cada 10 minutos. O mesmo ocorre no caso contrário, se a quantidade de mineradores diminui e demora mais tempo para um minerador chegar à solução do desafio matemático, o sistema facilitará os desafios para baixar o tempo de validações para 10 minutos por bloco.

Este objetivo de manter a validação dos blocos a cada 10 minutos foi uma escolha do criador Satoshi Nakamoto (2008) em manter a velocidade do crescimento do sistema constante - sempre adicionando novas moedas a cada 10 minutos no sistema até atingir o limite máximo de 21 milhões de unidades da moeda previsto para o ano de 2140 - e também

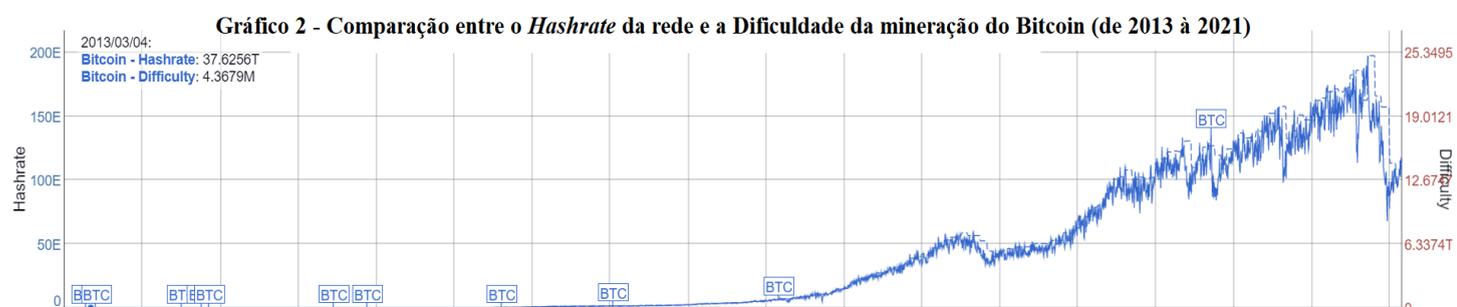
gerar mais segurança para a validação das transações ao reduzir consideravelmente as chances de a mesma transação ser registrada em dois diferentes blocos. Como haverá pelo menos 10 minutos entre cada bloco de transações, é menos provável que uma transação seja gravada duas vezes.

Com toda esta dinâmica, os mineradores buscam aumentar cada vez mais seu poder de processamento comprando mais computadores e máquinas específicas para aumentar as suas probabilidades de ganhos na mineração de Bitcoin e outras criptomoedas que adotam a mesma tecnologia. O termo *Hash* é uma unidade de medida utilizada para indicar o poder computacional por segundo usado na mineração de criptomoedas. Significa a velocidade de mineração, pois computadores com maior poder de *Hash* têm maior rapidez para resolver os desafios matemáticos que os sistemas de *Proof of Work* possuem. É comum na venda de computadores específicos para a mineração de criptomoedas como o Bitcoin, que sejam evidenciados os *Hash* de cada máquina. As que possuem maior poder computacional, ou seja, maior *Hash power*, serão mais caras para produzir e para comprar, porque serão mais eficientes na mineração. O *Hashrate* é o termo que indica quanto de poder computacional será necessário para resolver o desafio matemático do sistema dentro dos 10 minutos propostos, ou seja, quanto maior o *Hashrate*, maior a dificuldade de minerar.

Serão apresentados os gráficos 1 e 2 indicando a evolução do *Hashrate* do Bitcoin desde seu início, que pode ser considerado como a intensidade da mineração. Este é um cálculo feito a partir da quantidade de blocos minerados em um dia e a dificuldade da mineração no mesmo dia. Como o sistema se autorregula, há alta correlação entre a intensidade e a dificuldade da mineração, como pode-se observar:



Fonte: Adaptado de <http://bitinfocharts.com> (2021)



Fonte: Adaptado de <http://bitinfocharts.com> (2021)

Por estes motivos indicados que há alguns anos era possível minerar Bitcoin de forma lucrativa apenas com um computador de mesa ou notebook comum, mas hoje isso já não é uma realidade, como será possível observar na próxima seção deste trabalho.

A lucratividade de criar uma operação de mineração de Bitcoin criou uma espécie de corrida do ouro desde 2008-2009, se intensificando com a valorização da criptomoeda, principalmente nos últimos anos. A relação entre os fatores de competição, valor de mercado do Bitcoin, preço das máquinas de mineração e custos de energia são de grande relevância para identificar se uma operação de mineração será lucrativa ou não.

## 2.2 A TEORIA DA FIRMA

Ronald H. Coase (1937), economista britânico, criou o conceito da Teoria da Firma em seu artigo “*The Nature of Firm*”. Esta teoria possui sua visão voltada para a produção de bens e serviços, a produtividade e os custos de produção.

Coase (1937) afirmava que as firmas são responsáveis apenas pela oferta dos bens ou serviços, enquanto calculam suas expectativas sobre a demanda futura, a qual não controlam. Desta forma, o foco das empresas está nos fatores de produção, a minimização dos custos e a maximização dos lucros, que serão explicados em seguida.

### 2.2.1 Fatores de Produção

Os fatores de produção são indicados como os elementos essenciais para realizar a produção de bens e serviços (REIS, 2020). Dentre estes recursos estão o trabalho, a terra e o capital. O trabalho é implementado com a contratação e alocação de pessoas para atuar no processo produtivo. A terra engloba os recursos provenientes da natureza e a terra fértil para o cultivo, além do aproveitamento de elementos da natureza para produzir, como a utilização dos raios solares e das correntezas de um rio para gerar energia elétrica. Quando se fala de capital, não resume-se apenas ao recurso financeiro empregado na produção, mas também ao capital fixo, que são máquinas, instalações e equipamentos, em parte responsáveis pela produtividade e tecnologia desenvolvida dentro de uma empresa.

Na Teoria da Produção, os fatores de produção são divididos em duas categorias: fatores variáveis e fatores fixos. A primeira categoria se refere aos recursos que são alterados em quantidade se o volume de produção aumenta ou diminui. Estes são a energia elétrica,

matéria-prima e mão-de-obra, pois se alteram em um curto prazo de acordo com a quantidade que será produzida.

Os fatores fixos, por outro lado, são os recursos que, independente da quantidade produzida, continuarão constantes no curto prazo. Estes podem ser: instalações e ferramentas. Máquinas na maioria dos casos também são consideradas fator fixo de produção pois apenas serão alteradas no longo prazo. Quando se trata da mineração de Bitcoin, as máquinas são um fator essencial e necessário para manter uma operação ativa, lucrativa e eficiente, ou seja, as melhores máquinas produzirão maior poder computacional com menos energia despendida. Como será apresentado na próxima seção, existem diversas máquinas dedicadas à mineração de criptoativos e, escolher a mais eficiente em poder de *Hash* torna-se primordial para garantir o máximo de retorno sobre o investimento realizado.

### 2.2.2 Produção e Produtividade

Para explicar o conceito de minimização de custos e maximização de lucros é necessário antes definir a produção e produtividade (DORFMAN, 2006). O significado de produção é o processo de transformar os recursos, ou seja, os fatores de produção, em bens e serviços que serão ofertados no mercado. A função de produção em microeconomia pode ser representada de forma simplificada da seguinte forma:  $Q = f(N, K, M, T)$ , onde “Q” significa a quantidade de produto produzida que está em função de “N”, a mão-de-obra, “K”, o capital empregado na produção, “M”, as matérias-primas utilizadas e “T”, sendo a área cultivada no caso da utilização da terra. Com esta função é possível observar que a quantidade produzida dependerá da aplicação dos fatores de produção.

Na Teoria da Produção, quando se aborda o conceito de produtividade, refere-se à quantidade que pode ser produzida com determinados recursos. Numa hipotética pequena produção de sapatos, se em um determinado mês são produzidos 200 sapatos e no próximo mês, apesar de não haver o aumento das quantidades de nenhum fator de produção, são produzidos 300 sapatos, a produtividade aumentou. Na função de produção, quando se calcula a produtividade média, pode ser considerado apenas um fator de produção isoladamente, permitindo analisar a produtividade média daquele fator específico. O cálculo é o quociente entre a quantidade produzida e quanto foi utilizado do recurso:  $PMe(xi) = q/xi$ , sendo “q” a quantidade produzida e “xi” quando foi empregue do fator variável de produção.

Compreendendo o racional da produtividade média, a produtividade marginal de um fator é o próximo passo. Retornando ao exemplo hipotético da produção de sapatos, no

primeiro mês a quantidade produzida foi de 200 sapatos com a utilização de 10 trabalhadores, apresentando uma produtividade média do fator mão-de-obra de 20 sapatos por trabalhador. Para identificar a produtividade marginal desse fator, é feita a seguinte pergunta: quanto será, então, produzido se for adicionada uma unidade nova de mão-de-obra, ou seja, mais um trabalhador na produção? A produtividade marginal significa exatamente isso, qual é a variação na produção quando se aumenta em uma unidade o fator de produção “x”. Voltando ao exemplo, no segundo mês é avaliada a produtividade marginal de um trabalhador adicional na produção dos sapatos. Se a produção de sapatos foi de 215 sapatos para o segundo mês, indica que a produtividade marginal da mão-de-obra foi de 15 unidades de sapatos, e a produtividade média, de 19,6 sapatos.

Na situação hipotética apresentada observa-se que mesmo a produção total de sapatos aumentando de 200 para 215 unidades com o acréscimo de um novo trabalhador, a produtividade média reduziu-se de 20 sapatos para 19,6 sapatos por trabalhador. Esse é um exemplo de rendimentos decrescentes de escala, que será explicado a seguir.

### 2.2.3 Retornos de Escala

Os retornos (ou rendimentos) de escala são o resultado do aumento da produção pela adição de mais unidades dos fatores produtivos. O conceito analisa o modo como a quantidade produzida aumenta ao longo do tempo. Por exemplo, se em uma empresa aumentam-se os fatores de produção em 10% qual será o aumento da quantidade produzida? A resposta para esta questão poderá ser uma de três: um aumento de exatamente 10% na quantidade produzida; um aumento menor do que 10% na produção; ou um aumento de mais de 10% no produzido. Cada resultado apresenta um tipo de retorno de escala.

O retorno de escala constante ocorre quando a produtividade marginal é igual à produtividade média da produção. Isso significa que adicionar mais uma unidade de mão-de-obra, por exemplo, terá uma produção média igual à anterior. Uma produção de sapatos produz 200 unidades no primeiro mês com 10 funcionários, ao adicionar mais um funcionário produzirá 220 unidades. Este é um caso de rendimentos constantes de escala, como pode-se identificar na tabela 1:

<b>Tabela 1 - Retornos Constantes de Escala</b>			
<b>Nº de Trabalhadores</b>	<b>Produção (Quantidade Produzida por mês)</b>	<b>Produto Médio</b>	<b>Produto Marginal do Trabalho</b>
0	0	0	0
1	20	20	20
2	40	20	20
3	60	20	20
4	80	20	20

Os retornos decrescentes de escala ocorrem quando a produtividade marginal é superior à produtividade média. Empregando mais uma unidade de mão-de-obra no processo produtivo resulta em uma produção média por trabalhador menor do que a anterior. Este é o exemplo da produção de 10 funcionários que faziam 200 sapatos por mês, ao entrar mais um funcionário a quantidade produzida passa a ser de 215 unidades. Ou seja, a produção aumentou, porém com menos unidades produzidas por trabalhador. Se a firma continuasse a aumentar o seu número de trabalhadores, teria contínuos retornos decrescentes, como apresentado na tabela 2:

<b>Tabela 2 - Retornos Decrescentes de Escala</b>			
<b>Nº de Trabalhadores</b>	<b>Produção (Quantidade Produzida por mês)</b>	<b>Produto Médio</b>	<b>Produto Marginal do Trabalho</b>
0	0	0	0
1	30	30	30
2	59	29,5	29
3	87	29	28
4	114	28,5	27
5	140	28	26
6	165	27,5	25

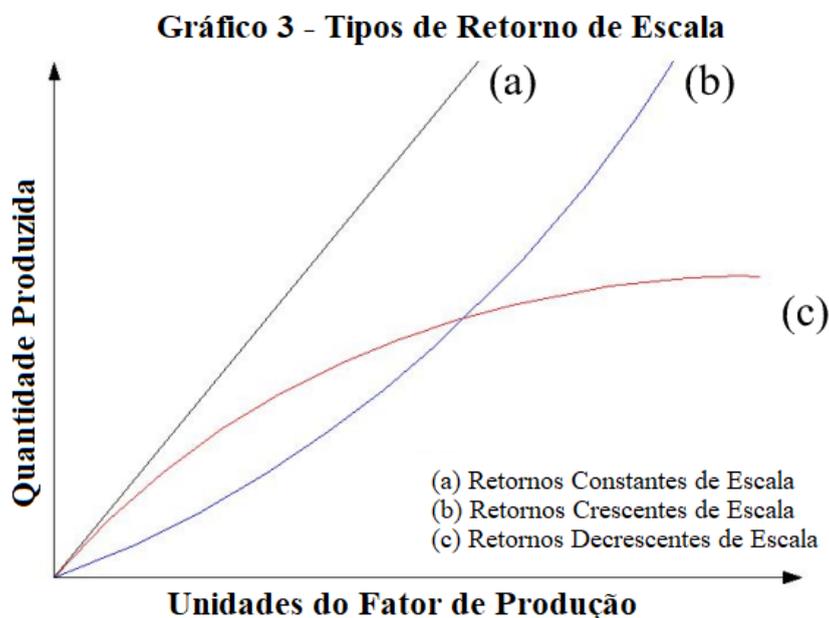
Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, os retornos crescentes de escala ocorrem quando a produtividade marginal é maior do que a quantidade produzida média. No exemplo da produção de sapatos, o aumento da quantidade produzida, com um trabalhador extra participando do processo produtivo, seria maior do que a produtividade média, ou seja, maior do que 20 unidades. Se a empresa decidir continuar aumentando seu número de funcionários, teria os seguintes números da tabela 3:

<b>Tabela 3 - Retornos Crescentes de Escala</b>			
<b>Nº de Trabalhadores</b>	<b>Produção (Quantidade Produzida por mês)</b>	<b>Produto Médio</b>	<b>Produto Marginal do Trabalho</b>
0	0	0	0
1	30	30	30
2	62	31	32
3	96	32	34
4	132	33	36
5	170	34	38
6	210	35	40

Fonte: Elaborado pelo autor.

As curvas de retorno de escala são representadas no gráfico 3 da seguinte forma no processo produtivo:



Fonte: Adaptado pelo autor.

### 2.2.4 Minimização de Custos e Maximização de Lucros

A Teoria dos Custos procura adicionar à teoria da firma os custos presentes para realizar o processo produtivo e o objetivo das empresas de reduzi-los ao mínimo possível, como apontado por Dorfman (2006). Cada um dos fatores de produção apresentados anteriormente possuem custos e estes podem ser variáveis ou fixos. Os custos variáveis estão atrelados a fatores variáveis de produção como a energia elétrica, mão-de-obra e matéria prima, enquanto os custos fixos de produção se referem aos fatores de produção fixos: máquinas, ferramentas e instalações. É a junção destes dois tipos de custos que compõem o custo total de uma produção.

Assim como a função de produção, também pode-se calcular o custo médio da quantidade produzida, que será a divisão entre o custo total e a quantidade da produção:  $CM = CT/q$ , onde “CM” representa o custo médio, “CT” o custo total e “q” a quantidade produzida.

Para medir o custo marginal da produção, basta identificar o aumento no custo total para a produção de uma unidade extra. Se para produzir 10 mesas foram necessários R\$ 100,00 de custo total e, ao produzir mais uma mesa, este custo total aumenta para R\$ 105,00,

o custo marginal é R\$ 5,00, reduzindo, neste caso o custo médio da produção de R\$ 10,00 por mesa para aproximadamente R\$ 9,56 por mesa.

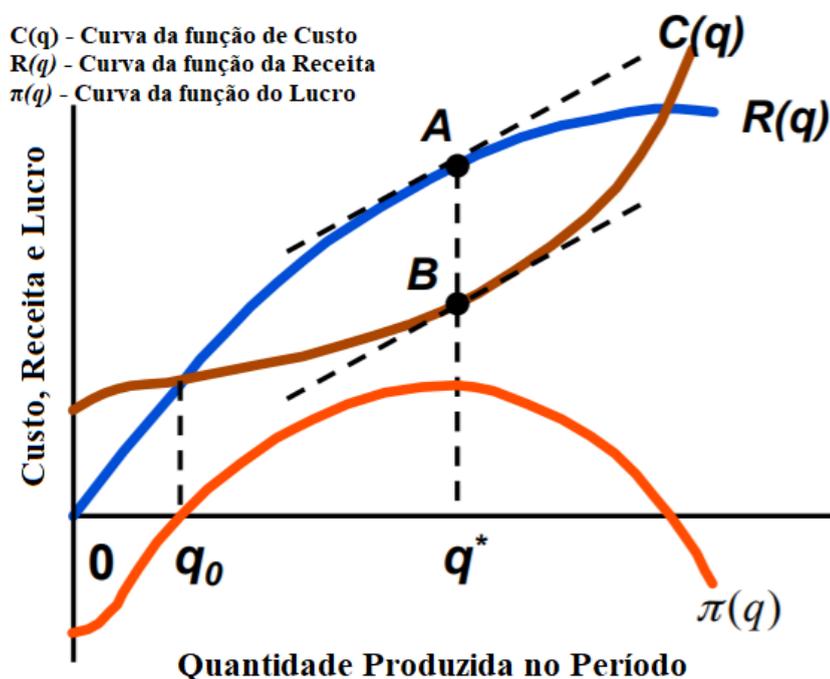
A Teoria dos Rendimentos complementa a Teoria dos Custos e da Firma apresentando o conceito de receita, receita marginal e receita média de uma produção. A receita basicamente é o produto entre a quantidade produzida de um bem e o seu preço, com a produção e venda de 200 sapatos a um preço de R\$ 100,00 a receita total é de R\$ 20.000,00.

Da mesma forma que o custo médio é calculado, a receita média é o quociente entre a receita total com a quantidade produzida, o que resume-se a receita advinda de uma única quantidade do bem, ou seja, o próprio preço de venda. A receita marginal, por sua vez, seguindo o mesmo racional do custo marginal, é o cálculo de quanto a produção de uma unidade extra do bem impactará na receita total da empresa.

A identificação dos custos e receitas numa produção é essencial pois permite encontrar o lucro da operação. Se uma empresa possui uma receita total de R\$ 20.000,00 e um custo total de R\$ 12.000,00, o seu lucro total foi de R\$ 8.000,00. Também é possível calcular o seu lucro marginal seguindo a mesma lógica: ao produzir mais uma unidade do bem, quanto é adicionado ao lucro total da produção?

Com a finalidade de minimizar os custos e maximizar os lucros da produção, é necessário que a firma produza uma quantidade de produtos em que o seu custo marginal se iguale à sua receita marginal, ou seja, quando o lucro marginal é igual a zero significa que a firma maximizou os seus lucros. Neste momento, a produção de uma unidade a mais do bem ou uma unidade a menos resulta no custo marginal maior que a receita marginal, saindo do ponto ótimo de maximização dos lucros. Não há mais o que aumentar na produção nestas condições, pois o aumento da quantidade produzida a partir deste ponto será menos lucrativo para a empresa, como é apresentado no gráfico 4:

**Gráfico 4 - Maximização de Lucros, Curva de Custos, Receita e Lucro**



Fonte: Adaptada pelo autor de USP Microeconomia, e-disciplinas.

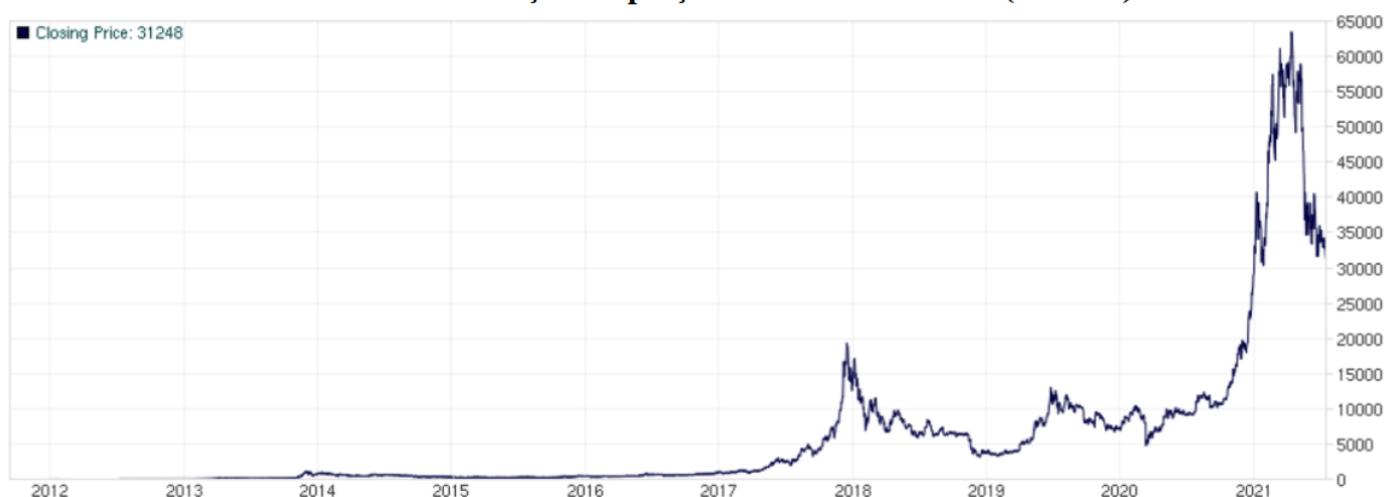
O gráfico 4 apresenta as curvas da função da receita, custos e lucro e indica o ponto ótimo de produção para que o lucro seja maximizado (ponto “ $q^*$ ”). A partir deste momento, não é mais interessante aumentar a produção, pois isso reduzirá o lucro total.

Com a teoria apresentada, é possível introduzi-la na mineração de Bitcoin e outras criptomoedas que utilizam a tecnologia do *proof of work*, descrevendo seus fatores de produção, seus custos e retornos sobre escala, permitindo a realização de análises de viabilidade e sensibilidade do empreendimento ao considerar todas as variáveis presentes.

### 3 UMA ANÁLISE DOS IMPACTOS DA VARIAÇÃO DO PREÇO DE MERCADO DO BITCOIN NAS DECISÕES DE MINERAÇÃO

Com a valorização do Bitcoin em seu preço de mercado, a criptomoeda começa a se popularizar e ganhar atenção de entusiastas pela tecnologia e também os adotantes iniciais da moeda como um investimento, devido à sua volatilidade não usual, em comparação com a encontrada na bolsa de valores americana e no restante do mundo. A evolução do preço do Bitcoin é apresentada no gráfico 5:

**Gráfico 5 - Evolução do preço histórico do Bitcoin (em US\$)**



Fonte: Adaptado de <http://bitinfocharts.com> (2021)

Para uma base comparativa, o preço do bitcoin em janeiro de 2012 esteve em torno de US\$ 6,00. Em meados de janeiro de 2014, US\$ 850,00. No ano de 2016, havia se reduzido para US\$ 430,00. No primeiro dia do ano de 2018, US\$ 13.500,00 e no início de 2020, US\$ 7.200,00, para então chegar ao seu último topo histórico no dia 13 de abril de 2021, em aproximadamente US\$ 63.400.

#### 3.1 A MINERAÇÃO DO BITCOIN TORNA-SE UM EMPREENDIMENTO

No momento em que o Bitcoin começa a se popularizar como reserva de valor e também um ativo de valorização, alguns indivíduos entusiastas da tecnologia, os chamados *inovadores* (ROGERS, 2003) na adoção da criptomoeda, colocaram seus computadores pessoais para operar como forma de suporte ao sistema descentralizado que estava surgindo. Não tinham, na época, a noção de que este processo de mineração se tornaria um empreendimento dos tempos modernos que enriqueceria milhares de pessoas.

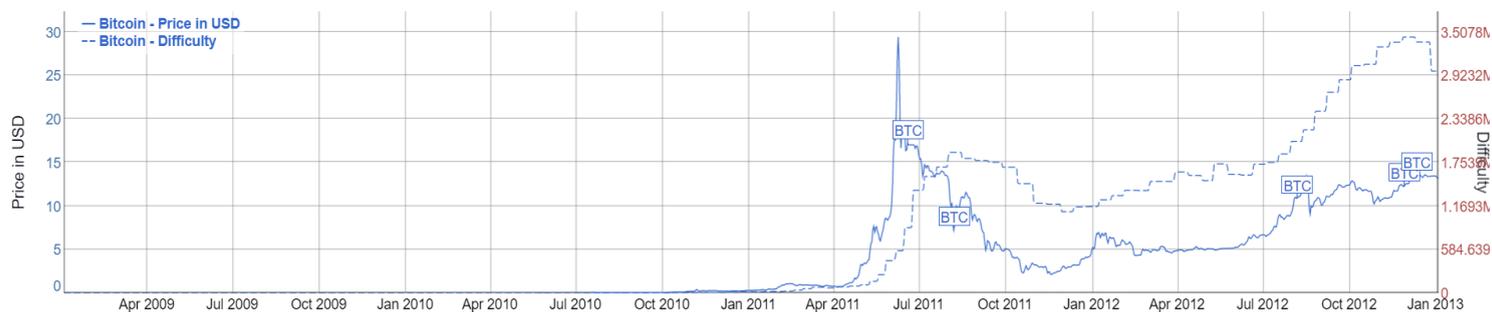
Até o período de 2012-2013 os mineradores utilizavam apenas os seus computadores pessoais (TRUIC, 2020). Enquanto o BTC valia menos de US\$ 100,00, não existia a estrutura industrial que hoje é predominante nas operações de mineração. Qualquer indivíduo minerador tinha a chance de ser o ganhador da rodada de validações de um bloco da *blockchain* apenas utilizando o seu computador de mesa ou notebook. Isso se dava pois o número de pessoas dispostas a ser validadores da rede do BTC se limitava aos indivíduos que tinham motivações de impulsionar esta promessa de um sistema monetário descentralizado, ou seja, predominantemente não eram as motivações financeiras, que cresceram nos últimos anos com a valorização da moeda.

Um fator adjacente que mantinha probabilidades de ganho com a mineração mais altas do que atualmente era o *Hashrate* da época. Naquele momento, com menos poder computacional e menos competição, graças a um número reduzido de mineradores, o sistema mantinha um *Hashrate* baixo. Estas condições permitiam que fosse possível minerar Bitcoin apenas com um computador comum.

Porém, a dinâmica da mineração começou a mudar no momento em que o Bitcoin passou a ser visto como um ativo que se valorizaria cada vez mais no futuro. Com a evolução da adoção da moeda digital e o aumento de seu preço de mercado, indivíduos passaram a enriquecer com a mineração do BTC. Até o primeiro *Halvin* de 2012 - momento em que o prêmio pela resolução do desafio matemático de validação do bloco de transações cai pela metade - mineradores que ganhavam a recompensa recebiam 50 unidades de BTC. Essa quantidade em janeiro de 2014 com o preço do Bitcoin em torno de US\$ 850,00 já equivalia a US\$ 42.500,00. Os indivíduos perceberam não só o potencial de valorização da criptomoeda, mas também que ao aumentar seu poder computacional, ou até apenas o fato de utilizarem dois computadores para fazer o trabalho de validação, teriam mais probabilidades de ganhar as recompensas da *blockchain* a cada 10 minutos.

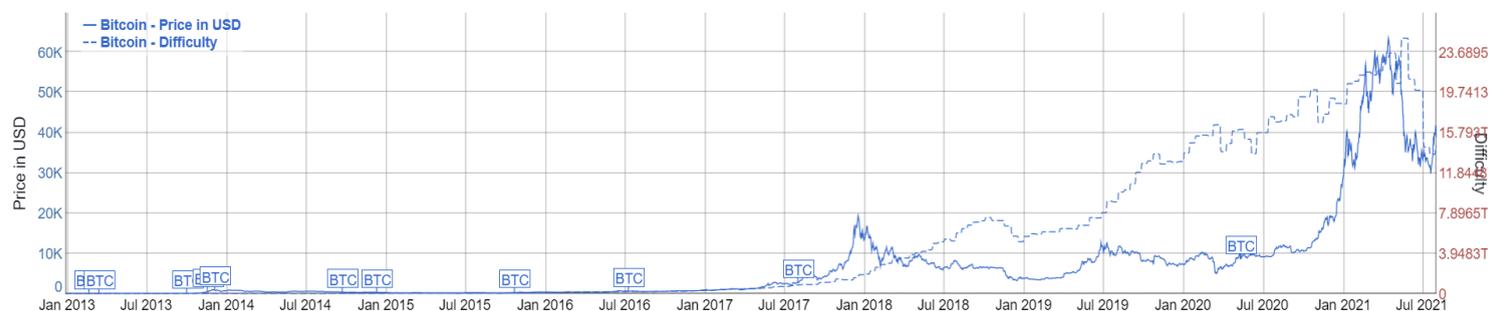
A partir deste ponto mais pessoas passam a ver a mineração de Bitcoin como um empreendimento, número que cresce a cada ano. Como pode-se observar nos gráficos 6 e 7, que comparam a evolução do preço de mercado do Bitcoin e a dificuldade de minerar, indicando o aumento do número de mineradores do sistema e a alta da concorrência:

**Gráfico 6 - Evolução do Preço do Bitcoin (em US\$) em comparação com o crescimento da dificuldade de mineração de 2009 à 2013**



‘Fonte: Adaptado de <http://bitinfocharts.com> (2021)

**Gráfico 7 - Evolução do Preço do Bitcoin (em US\$) em comparação com o crescimento da dificuldade de mineração de 2013 à 2021**



Fonte: Adaptado de <http://bitinfocharts.com> (2021)

Fica claro que o crescimento da popularidade da moeda digital resultou não só no aumento do número de adotantes da moeda como um ativo que poderia vir a valorizar ainda mais, como também no aumento da quantidade de validadores da rede, que perceberam a mineração como um empreendimento lucrativo. O aumento da concorrência passou a exigir mais poder computacional dos indivíduos para manter uma operação de mineração rentável, o que será apresentado posteriormente.

### 3.2 A OPERAÇÃO DE MINERAÇÃO DE CRIPTOATIVOS APLICADA NA TEORIA DA FIRMA

O Bitcoin é considerado por alguns como o Ouro Digital, rótulo que baseia-se nas características de reserva de valor da moeda, apesar de sua alta volatilidade (CUNHA, 2020) em conjunto com a valorização do preço de mercado dos dois ativos. Porém há similaridades entre a mineração do Bitcoin e a mineração do Ouro.

Começando pelo termo “minerar”, na mineração de ouro há um expressivo investimento em máquinas que farão o trabalho de escavação. Este capital fixo exige um investimento alto, sofre depreciação e pode quebrar ou ter custos de manutenção ao longo dos

anos de atividade. Este investimento gera a oportunidade de um ganho futuro ao colocar trabalhadores para operar as máquinas, tendo uma probabilidade de encontrar ouro e gerar lucros para o empreendedor que decidiu montar a operação de mineração. É planejado também que as máquinas paguem-se ao longo dos anos, para gerar o retorno do investimento e criar a possibilidade de se adquirir mais máquinas, que aumentarão ainda mais a probabilidade de encontrar ouro e lucrar com o empreendimento.

Além do investimento em capital fixo há também gastos com energia em forma de combustível para as máquinas e também para iluminar as minas de ouro, sendo essenciais para as atividades, gerando custos altos para manter as operações. Pode-se identificar os principais fatores de produção da mineração do ouro: máquinas, energia, e trabalhadores. Neste ramo, a concorrência também poderá ser um fator que afeta as probabilidades de encontrar ouro. Com mais empresas mineradoras há mais disputa pelo mesmo ouro.

Da mesma forma são as operações de mineração de criptomoedas, os principais investimentos no empreendimento são: a compra de máquinas de mineração, que aumentam as probabilidades de obter lucro na operação ao proporcionar um alto poder computacional; os gastos com energia elétrica para manter as máquinas operando e que crescem à medida que mais máquinas são implementadas; e a concorrência é um fator determinante na dificuldade de manter uma operação lucrativa. Quanto mais mineradores no sistema, menor a probabilidade de ser o primeiro a resolver o desafio matemático dos blocos de 10 minutos, assumindo um poder computacional constante. A afirmação anterior traz duas consequências: a necessidade de sempre haver investimentos em novas máquinas e a busca por possuir o máximo de poder computacional para manter-se competitivo. Estes dois pontos de atenção serão apresentados a seguir.

Não há escala nos negócios de mineração de criptomoedas se não houver frequente compra de máquinas para aumentar o poder computacional de uma operação. Pode-se perceber que mão-de-obra não é um fator de produção predominante na mineração do Bitcoin. É necessário possuir trabalhadores para instalar as máquinas e realizar manutenções, mas estes são custos baixos em comparação com os custos de energia e investimentos em novas ASICs. Desta forma são chamadas as máquinas, ou computadores, de minerar criptomoedas. ASIC significa em inglês *Application-specific Integrated Circuit*, ou Circuito Integrado de Aplicação Específica, ou seja, em uma explicação simplificada, são computadores especializados em minerar criptoativos. Estas máquinas não podem ser usadas para mais nada

além de assumir o papel de validadores do sistema da *blockchain*. São mais eficientes e possuem maior poder computacional que os computadores comuns, trazendo mais lucratividade na mineração.

A questão indicada acima demonstrando a importância das ASICs na mineração, levanta o seguinte questionamento: se as máquinas neste mercado são mais efetivas para uma operação produtiva e escalável que a mão-de-obra e há uma constante necessidade de adicionar mais unidades de máquinas para escalar o negócio, não deveriam ser tratadas como os “trabalhadores” da produção?

No ponto de vista de um processo produtivo descrito na Teoria da Produção e dos Retornos de Escala, as máquinas poderiam ser consideradas como “os trabalhadores” na mineração do Bitcoin. Numa produção comum seguindo a teoria, é rentável adicionar mais trabalhadores ao processo produtivo até o ponto de maximização dos lucros. Da mesma forma, é essencial que um empreendedor, atuando no mercado de mineração de criptomoedas, empregue frequentemente mais máquinas na sua operação para garantir maior faturamento e lucros. Como será apresentado, a receita total de uma operação de mineração está diretamente relacionada à quantidade de máquinas que esta possui, assim como ocorre numa produção comum e pouco automatizada, em que o trabalhador tem impacto direto na produção.

A segunda consequência advinda do mercado de mineração é a busca por aumentar o poder de *Hash*, ou poder computacional, o máximo possível, mesmo que isso signifique não possuir 100% de participação no negócio. Desta forma, surgiram as *Pools* de mineração no final de 2010 (SEDGWICK, 2019). *Pools* significam piscinas e foram criadas com a ideia de aumentar as probabilidades de lucrar no sistema. Se um indivíduo “A” possui um poder computacional de 100 TH/s - e TH significa Tera-*Hash*, uma unidade de medida para indicar trilhões de *Hash* utilizados (HANNAN, 2019) - e um indivíduo “B” possui 200 TH/s, estes se juntariam para ter mais chances de serem os vencedores da rodada de validação e dividir os lucros entre si. O indivíduo “B” ficaria com aproximadamente 67% e o indivíduo “A”, 34%.

Essa dinâmica ocorre em larga escala tendo início a partir de 2010, quando milhares de indivíduos começaram a juntar-se e dividir as fatias de receita proporcionalmente à quantidade de poder de *Hash* que cada indivíduo fornece à *Pool*. Estas *Pools* cobram uma taxa para estar associado a elas e são gigantes conglomerados de mineradores que trabalham juntos para resolver os desafios matemáticos e faturar com os prêmios em Bitcoin. O gráfico 8 apresenta as maiores *Pools* do sistema do Bitcoin:

**Tabela 4 - Maiores *Pools* de mineração por Blocos minerados em 24 horas (10 de agosto, 2021)**

Ranking	Pool	Cota da taxa de hash	Taxa de hash	Blocos minerados
0	<u>Total da Rede</u>	100.00 %	112.86 EH/s	154
1	<u>AntPool</u>	15.58 %	17.59 EH/s	24
2	<u>Poolin</u>	14.29 %	16.12 EH/s	22
3	<u>F2Pool</u>	12.34 %	13.92 EH/s	19
4	<u>Foundry USA</u>	10.39 %	11.73 EH/s	16
5	<u>ViaBTC</u>	10.39 %	11.73 EH/s	16
6	<u>unknown</u>	9.74 %	10.99 EH/s	15
7	<u>Binance Pool</u>	7.14 %	8.06 EH/s	11
8	<u>BTC.com</u>	5.84 %	6.60 EH/s	9
9	<u>SlushPool</u>	3.25 %	3.66 EH/s	5
10	<u>Huobi.pool</u>	2.60 %	2.93 EH/s	4
11	<u>OKExPool</u>	2.60 %	2.93 EH/s	4
12	<u>Rawpool</u>	2.60 %	2.93 EH/s	4
13	<u>1THash</u>	0.65 %	732.83 PH/s	1
14	<u>EMCDPool</u>	0.65 %	732.83 PH/s	1
15	<u>MARA Pool</u>	0.65 %	732.83 PH/s	1

Fonte: Adaptado de <https://btc.com/stats/pool>

As *pools* de mineração possuem sistemas próprios que permitem organizar os mineradores para que trabalhem de forma orquestrada e eficiente (BARONE e MANSA, 2020). Ao escolher uma *pool* de mineração, é questionado se o seu tamanho em poder de *Hash* total influenciará no faturamento final do minerador. A resposta direta é que o minerador estará sempre recebendo proporcionalmente à quantidade de poder de *Hash* que oferecer ao sistema da *pool* em que está inserido. Porém, quanto maior uma *pool* maior será a probabilidade de esta vencer a próxima rodada de validação de 10 minutos. A principal diferença entre *pools* maiores e menores está na frequência de conseguir minerar novos blocos, apesar de não haver influência no total de faturamento que um minerador terá no médio prazo, já que todas as quinze maiores *pools* vencem rodadas de validação todos os dias. A tabela 4 indica exatamente esta frequência ao apresentar quantos blocos cada uma das *pools* minerou dentro de 24 horas.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de BTC.com (2021).

No campo “Cota de taxa de hash” constam os *Hashrates* de cada agrupamento de mineradores, o que significa quanto possuem em poder computacional em comparação com a intensidade total da mineração do sistema do Bitcoin. As 5 maiores *pools*, dentro das 24 horas, detinham 62,99% do poder total da mineração, estando diretamente relacionado com a quantidade de blocos minerados no mesmo período, 97 blocos de 154 no total, que também representaram 62,99%. Esta relação traz a conclusão direta apresentada anteriormente de que quanto maior o poder computacional de um indivíduo, ou grupo de indivíduos, maior será a probabilidade de minerar os blocos de transações. *Pools* menores e que não aparecem no ranking da tabela 4, muitas vezes não mineram um bloco por dia, tendo uma frequência menor de rendimentos em comparação com os maiores grupos da rede. Entretanto, isso não significa que estar inserido em uma *pool* menor não seja interessante e rentável. Apenas indica que os rendimentos da operação irão ocorrer com menos frequência. Em um prazo médio de algumas semanas ou meses, se um indivíduo oferece 50 TH/s de poder computacional para uma *pool*, terá os mesmos rendimentos na operação, independente se estiver no maior grupo da rede ou na *pool* que está no vigésimo lugar em tamanho.

Todavia, um fator que deve ser considerado no cálculo de uma operação de mineração que está associada a uma *pool*, são as taxas cobradas pela performance na mineração, que variam entre 1% a 3% dos rendimentos em média (SETH, 2020), ou seja, no momento em que o pagamento é feito ao minerador proporcionalmente à sua contribuição em poder computacional, essa taxa é cobrada de seus rendimentos. As três maiores *pools* atualmente cobram uma taxa de performance de 2,5%, esta que será utilizada como base para os cálculos da estruturação de um novo investimento em uma operação de mineração de Bitcoin.

Apesar de haver estes custos para participar de uma *pool*, fazer parte de um grupo de milhares de mineradores que detém mais de 10% do *Hashrate* total do sistema do Bitcoin é consideravelmente mais vantajoso do que assumir os riscos de criar uma operação “*solo*” de investimento. Uma operação *solo* significa aderir ao sistema do Bitcoin como minerador, porém sem participar de uma *pool* de mineração. Este tipo de empreendimento não é viável para o caso do Bitcoin (SHARMA, 2017), pois há um grande sistema com centenas de milhares de mineradores e um poder de *Hash* total altíssimo para conseguir atingir 1%, 0,5% ou mesmo 0,1% deste *Hashrate* por conta própria. As estratégias *solo* são úteis principalmente para novas criptomoedas que estão recém iniciando seus sistemas e há pouca intensidade de mineração, ou seja, pouca concorrência.

Ao montar uma operação de mineração de criptomoedas, o custo de energia é um fator de produção variável que influencia com relevância na lucratividade e minimizá-lo terá impacto na velocidade do retorno sobre o investimento total. No Brasil, a ANEEL (2021) apresenta uma tarifa mínima convencional de R\$ 0,367 por kWh pela distribuidora CEGERO, em Santa Catarina e uma média ponderada considerando todo o consumo da região de R\$ 0,509/kWh. A tarifa máxima convencional brasileira, indicada pela ANEEL, fica no estado do Rio de Janeiro na cidade de Araruama, custando R\$ 1,108 por kWh. O estado mais barato em preço de energia é o Amapá, com uma média ponderada por consumo de R\$ 0,505/kWh em 2021, aproximadamente US \$ 0,0967/kWh. Já nos Estados Unidos, o preço comercial mínimo de energia no ano de 2021 apresentado pela *U.S. Energy Information Administration* (2021) é de US\$ 0,0497 por kWh. É possível também encontrar preços mais baixos de energia, chegando abaixo de 2 centavos de dólar na Angola e na Venezuela, porém, para um cenário mais realista, será utilizado no cálculo o preço de 7 centavos de dólar por kWh encontrado com maior facilidade em mais países mundialmente, como apresentado na tabela 5.

**Tabela 5 - Os países com as tarifas de eletricidade mais baixas para empresas em US\$ por kWh (dezembro, 2020)**

Ranking	País	Tarifa de energia
1	<u>Líbia</u>	\$0,007
2	<u>Angola</u>	\$0,015
3	<u>Lesoto</u>	\$0,021
4	<u>Etiópia</u>	\$0,022
5	<u>Quirguizistão</u>	\$0,030
6	<u>Butão</u>	\$0,034
7	<u>Argélia</u>	\$0,034
8	<u>Catar</u>	\$0,036
9	<u>Iraque</u>	\$0,041
10	<u>Argentina</u>	\$0,041
11	<u>Usbequistão</u>	\$0,042
12	<u>Noruega</u>	\$0,047
13	<u>Paraguay</u>	\$0,048
14	<u>Islândia</u>	\$0,049
15	<u>Zâmbia</u>	\$0,050
16	<u>Kuwait</u>	\$0,050
17	<u>Cazaquistão</u>	\$0,052
18	<u>Trindade e Tobago</u>	\$0,053
19	<u>Geórgia</u>	\$0,053
20	<u>Azerbaijão</u>	\$0,053
21	<u>Moçambique</u>	\$0,061
22	<u>Malávi</u>	\$0,062
23	<u>Sri Lanca</u>	\$0,065
24	<u>Arménia</u>	\$0,066
25	<u>África do Sul</u>	\$0,069

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Global Petrol Prices (2021)

Estes dados mostram como é mais custoso montar uma operação de mineração no Brasil e, por este motivo, é mais viável criar um empreendimento de escala em países como os Estados Unidos (PELLINI, 2021), conclusão esta que será apresentada a partir dos cálculos apresentados em seguida.

Os ASICs - máquinas de mineração de criptomoedas - evoluíram ao longo dos anos, desde antes de sua criação quando mineradores utilizavam os próprios computadores pessoais para minerar com algumas dezenas de *Mega-Hash* por segundo de poder computacional, entre 2009 e 2014, até o momento atual, em que os ASICs multiplicaram as taxas de *Hash* mais de

um milhão de vezes, tornando-se melhores, mais poderosas e mais eficientes (TAYLOR, 2017). Como indicado anteriormente, as máquinas ASICs são um fator essencial para iniciar e aumentar a escala de um empreendimento de mineração de Bitcoin, não sendo viável nos dias atuais se aventurar na rede deste criptoativo com menos de 5TH/s de poder computacional. Os custos de energia teriam de ser abaixo de 5 centavos de dólar por kWh e o preço do Bitcoin consideravelmente mais alto para manter-se acima do ponto de equilíbrio da operação, como será calculado posteriormente.

Para fazer uma comparação do que são 5 TH/s em quantidade de computadores, os computadores comerciais mais avançados em 2021 que utilizam grande processamento computacional possuem em torno de 100 Mh/s a 125 Mh/s de poder. Para alcançar 5 TH/s de *Hashrate* seriam necessários aproximadamente 40.000 computadores, o que não é nada viável financeiramente. Neste sentido, torna-se mais acessível investir em um equipamento dedicado a produzir o maior poder de processamento possível com menos energia despendida.

Na tabela 6 constam as máquinas com maior *Hashrate* e mais eficientes do mercado de 2021, incluindo seus preços aproximados, para a análise do investimento necessário para estruturar uma operação de mineração de Bitcoin:

<b>Tabela 6 - ASICs com maior <i>Hashrate</i> do mercado em 2021 (Th/s)</b>					
#	Modelo	<i>Hashrate</i>	Potência	Eficiência	Preço de Mercado (em US\$)
1	Whatsminer M30S++	112 Th/s	3472 W	31,0 W/T	12.000,00
2	Antminer S19 Pro (110Th)	110 Th/s	3250 W	29,5 W/T	11.500,00
3	Antminer S19j Pro (104Th)	104 Th/s	3068 W	29,5 W/T	9.700,00
4	Antminer S19j Pro (100Th)	100 Th/s	3050 W	30,5 W/T	8.700,00
5	Whatsminer M30S+	100 Th/s	3400 W	34,0 W/T	8.000,00
6	Antminer S19 (95Th)	95 Th/s	3250 W	34,2 W/T	8.900,00
7	Antminer S19j (90Th)	90 Th/s	3250 W	36,1 W/T	8.000,00
8	AvalonMiner 1246	90 Th/s	3420 W	38,0 W/T	7.000,00
9	Whatsminer M30S	86 Th/s	3268 W	38,0 W/T	8.500,00
10	Antminer T19 (84Th)	84 Th/s	3150 W	37,5 W/T	8.900,00
11	AvalonMiner 1166 Pro	81 Th/s	3400 W	41,2 W/T	6.000,00
12	Whatsminer M31S+	80 Th/s	3360 W	42,0 W/T	6.200,00

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Asicminervalue.com (2021).

É necessário apontar que os preços de mercado apresentados são aproximações, pois atualmente a escassez de oferta em relação à demanda dos *chips* de computador está elevando

os preços dos ASICs, além de também impactar outros mercados como de consoles de videogame, celulares e até de carros (SWENEY, 2021). Desta forma, no momento atual é necessário aguardar entregas de um a dois meses para receber os ASICs comprados.

A tabela 6 indica o poder de *Hash* de cada máquina de mineração (em Th/s), suas potências (em W) e seus graus de eficiência energética (comumente medidos em W/Th). A partir destes dados pode-se decidir qual ASIC será utilizada para a estruturação da operação. Tendo em vista o impacto que maior poder computacional tem sobre os retornos da mineração e o quão importante é observar o gasto energético da operação, o mais conveniente será escolher a máquina atualmente mais eficiente para o empreendimento. Sendo assim, a “Antminer S19j Pro” de 104Th/s é a melhor opção nesta situação. Apesar da “Antminer S19 Pro” de 110Th ser mais poderosa e ter a mesma eficiência, esta possui um preço por Th/s de US\$ 104,55 enquanto a máquina escolhida, US\$ 93,27, ou seja, esta decisão também dependerá do preço por unidade de *Hashrate*.

Todas as ASICs atuais, incluindo as apresentadas na tabela 6, já são entregues com a configuração necessária para realizar a mineração automaticamente, sendo apenas preciso conectar o endereço de IP da máquina - número de identificação atribuído a cada eletrônico conectado à internet, incluindo celulares e computadores - e a carteira digital de Bitcoin com o endereço de identificação da *Pool* de mineração escolhida. A instalação do ASIC é simples e a mineração se inicia em poucos minutos.

Entretanto, não é apenas a ASIC que compõe a configuração final para minerar Bitcoin. Também há alguns equipamentos e instalações essenciais para a operação estar completa (ABADA, 2021). Primeiramente, é necessário que, acompanhado de cada ASIC, tenha uma fonte de energia. Estas fontes externas são necessárias para garantir a utilização do alto fornecimento de energia de forma segura, protegendo tanto a máquina em caso de superaquecimento quanto o próprio ambiente e pessoas ao redor. As próprias empresas fornecedoras dos ASICs oferecem as fontes de energia adequadas e as mais atuais custam em torno de US\$ 200,00 cada uma. Cabos de energia de energia para acompanhar as fontes e suportar a voltagem também são necessários, custando US\$ 25,00 cada. Por último, uma máquina não conseguirá minerar se não estiver conectada à internet, exigindo um cabo de *ethernet* para cada ASIC (aquele que é conectado no *modem* do Wi-Fi), custando em torno de US\$ 10,00, e um serviço comum de internet para a conexão, cuja mensalidade é de US\$ 50,00 a US\$ 70,00.

Será também necessário considerar o tempo de vida das ASICs adquiridas, para incluir nos cálculos de viabilidade o valor que será depreciado anualmente e a futura reposição destas máquinas. Atualmente uma ASIC recém lançada possui uma duração de aproximadamente 3 a 5 anos (COMPASS, 2021) e, apesar de máquinas mais antigas e com menos poder de *Hash* também possuírem a mesma durabilidade dos materiais, estas podem se tornar improdutivas mais rapidamente, pois seu poder computacional desatualizado poderá ser superado pelas máquinas novas. Desta forma, será utilizado o tempo de vida de 4 anos para as máquinas, adicionando ao cálculo a depreciação no método linear (CFI, 2018) com o intuito de reposição após o período. É necessário apontar que não será incluído um valor residual das ASICs no cálculo da depreciação pois este não é certo atualmente devido à recente oscilação nos preços das máquinas graças à escassez na oferta de *chips* de computador, apresentado anteriormente. Logo, ao considerar um investimento de US\$ 10.000,00 para adquirir uma unidade da ASIC *Antminer S19j Pro* com os equipamentos adjuntos, será depreciado o valor de US\$ 2.500,00 anualmente durante os 4 anos.

Por fim, o aluguel de um espaço é necessário para colocar as máquinas de mineração e mantê-las ligadas 24 horas por dia. É comum mineradores que estão iniciando e possuem poucas máquinas as colocarem na garagem da sua residência, porém, os custos de energia residenciais tendem a ser substancialmente mais elevados em comparação com as tarifas industriais. Mesmo que seja viável esta prática no início do empreendimento, é vantajoso que a operação migre para um galpão para que tenha maiores vantagens de custo energético. Pesquisas realizadas em sites de aluguéis de estabelecimentos industriais a partir das regiões de custo energético mais baixo nos Estados Unidos indicaram um aluguel entre US\$ 300 e US\$ 500 para um galpão de 30m<sup>2</sup> de área privativa. Esta área é suficiente para comportar algumas dezenas de ASICs em estantes, sendo necessário mudar para um local maior apenas quando a quantidade de máquinas aumentar.

O cenário hipotético para o cálculo não irá incluir despesas mensais com mão-de-obra, tendo em vista o baixo número de máquinas que serão implementadas inicialmente, sendo necessários os serviços de um profissional qualificado apenas no momento de manutenção das máquinas.

Os cálculos de viabilidade à seguir visam alcançar um entendimento sobre a estruturação e administração de uma operação de mineração de Bitcoin e sua sensibilidade frente às mudanças de diversas variáveis presentes neste modelo de negócios, como a oscilação no preço da moeda digital, a variação no custo energético e a alteração da

dificuldade para minerar, consequência de um aumento na intensidade da mineração. No exemplo hipotético serão utilizados os custos variáveis de US\$ 0,07 por kWh de energia e 2,5% de taxas para operar na *Pool* escolhida.

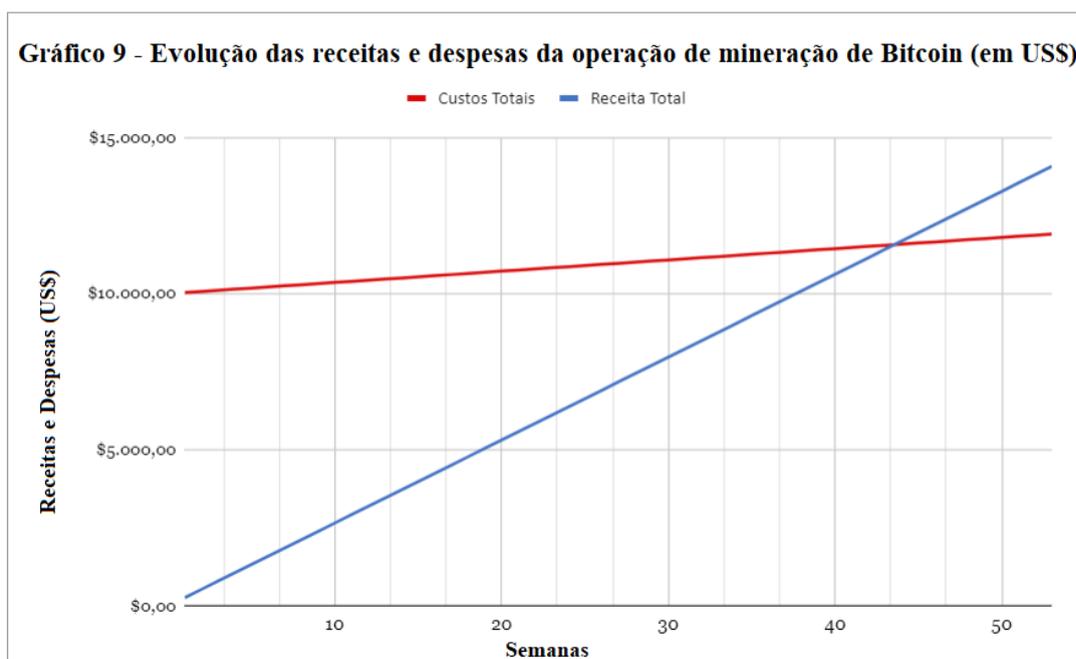
Para fazer o cálculo, primeiramente deve-se identificar quanto a operação representa em poder computacional ao se comparar com a intensidade total de mineração do sistema (ETHAN, 2019). No momento da elaboração deste trabalho este valor está em 113 milhões de TH/s (BLOCKCHAIN, 2021), porém frequentemente oscila, carregando também o indicador da dificuldade de mineração de forma correlacionada, como apresentado anteriormente. Utilizando o *Hashrate* da ASIC *Antminer S19j Pro* de 104 TH/s, é necessário realizar o seguinte cálculo: “(*Hashrate* da Operação) / (*Hashrate* Total do Sistema)”, ou seja, “(104 TH/s) / (113.000.000 TH/s) =  $9,2035 \cdot 10^{-7}$ ”.

Em segundo lugar, deve-se calcular o total de blocos minerados em 24 horas na *blockchain*. Como cada bloco é minerado dentro de 10 minutos em média, ou seja, 6 blocos por hora, resultando em um total de 144 blocos por dia. Com o prêmio atual por bloco minerado de 6,25 Bitcoins, multiplicam-se os 144 blocos minerados em um dia pelo prêmio da validação, alcançando 900 Bitcoins minerados. Neste momento deve-se adicionar as taxas de transação que são pagas aos mineradores por cada transferência feita com Bitcoin. As taxas totais de transação mais atualizadas (BLOCKCHAIN, 2021) são de 12,96 Bitcoins em 24 horas e serão adicionadas aos 900 Bitcoins minerados no mesmo período, resultando em 913 Bitcoin aproximadamente. Esta quantidade de 900 Bitcoins só irá alterar no momento que o prêmio por minerar um bloco se reduzir de 6,25 para 3,125 BTC, no próximo *Halvin*, previsto para 2024. O único fator variável do cálculo são as taxas de transação que se alteram diariamente.

Após identificar quantos blocos são minerados e quantos Bitcoins são recebidos diariamente, é possível realizar o cálculo de rendimentos. O número total de Bitcoin é multiplicado pela representatividade da operação em relação ao *Hashrate* total do sistema: “(913 BTC) \* ( $9,2035 \cdot 10^{-7}$ ) =  $8,4028 \cdot 10^{-4}$ ”. Esta é a quantidade de Bitcoins minerada pela operação. Para entender qual é o valor dessa quantia em dólares americanos é feita a conversão para a moeda: o preço atual do BTC no momento da elaboração deste trabalho é de US\$ 46.320,02 (BLOCKCHAIN, 2021). Ao fazer a conversão chega-se ao valor de: “( $8,4028 \cdot 10^{-4}$ ) \* (US\$ 46.320,02) = US\$ 38,92”. Esta é a receita de um dia de mineração do Bitcoin com o *Hashrate* de 104 TH/s.

Para calcular o lucro da operação deve-se verificar em primeiro lugar os custos diários de energia. A *Antminer S19j Pro* possui uma potência de 3.068 kW, apresentado na tabela 5. O gasto de energia diário é igual a:  $(3.068 \text{ kW}) * (24 \text{ horas}) = 73,632 \text{ kWh por dia}$ . Resgatando a tarifa hipotética de US\$ 0,07 kWh, ao calcular o gasto de energia dentro de 24 horas, se chega ao resultado de:  $(73,632 \text{ kWh por dia}) * (\text{US\$ } 0,07 \text{ kWh}) = \text{US\$ } 5,15 \text{ por dia}$ . Após descontar a taxa da *Pool* de mineração:  $\text{US\$ } 38,92 - 2,5\% = \text{US\$ } 37,95$ , o lucro da operação diária é calculado ao subtrair os custos de energia :  $\text{US\$ } 37,95 - \text{US\$ } 5,15 = \text{US\$ } 32,80 \text{ de lucro diário}$ .

Considerando o investimento inicial de aproximadamente US\$ 10.000,00 para adquirir uma *Antminer S19j Pro* e os equipamentos necessários, o retorno sobre o investimento inicial neste cenário é calculado da forma:  $(\text{US\$ } 10.000,00 \text{ investimento inicial}) / (\text{US\$ } 32,80 \text{ de lucro por dia}) = 305 \text{ dias para atingir o retorno sobre o investimento total}$ . O gráfico 9 de evolução das receitas e despesas da operação pode ser desenhado da seguinte forma:



Fonte: Elaborado pelo autor.

Fica nítido no gráfico 9 o momento em que a operação ultrapassa seu ponto de retorno do investimento realizado e torna-se lucrativa a partir do dia 305, semana 43, dentro das condições da hipótese apresentada, com um preço fixado de mercado do Bitcoin e o *Hashrate* constante no sistema. Desta forma, no exemplo apresentado o poder computacional da mineração frente ao *Hashrate* total do sistema permanece fixado no valor de  $9,2035 * 10^{-7}$ , o que não representa a realidade do mercado, indicados no gráfico 1 e 2. Contudo, antes de

realizar uma análise de sensibilidade da operação, alterando as principais variáveis, será essencial adicionar os custos fixos da operação e a depreciação, descritos anteriormente, que não estão presentes no cálculo anterior do gráfico 9. Estes custos fixos serão assumidos como: US\$ 500,00 por mês de aluguel de um galpão para instalar as máquinas e US\$ 50,00 para um serviço de conexão à internet. A depreciação será rateada diariamente para a realização dos cálculos, resultando em: “US\$ 2.500,00 / 365 dias = US\$ 6,85 por dia”.

Neste cenário, ao introduzir os custos fixos da operação, é necessário subtrair mensalmente o valor de US\$ 550,00. O lucro resultante da última hipótese que não inclui os custos fixos é de US\$ 32,80 e será subtraído deste valor os custos diários de aluguel e internet: “US\$ 550,00 / 30 dias = US\$ 18,33 por dia”. Além disso, também será adicionada a depreciação diária das máquinas neste cálculo, a US\$ 6,85 por máquina. O lucro final da operação passa a ser de: “US\$ 32,80 - (US\$ 18,33 + US\$ 6,85) = US\$ 7,62” e, como consequência, há um aumento no tempo esperado para receber o retorno do investimento inicial: US\$ 10.000,00 / US\$ 7,62 = 1312 dias.

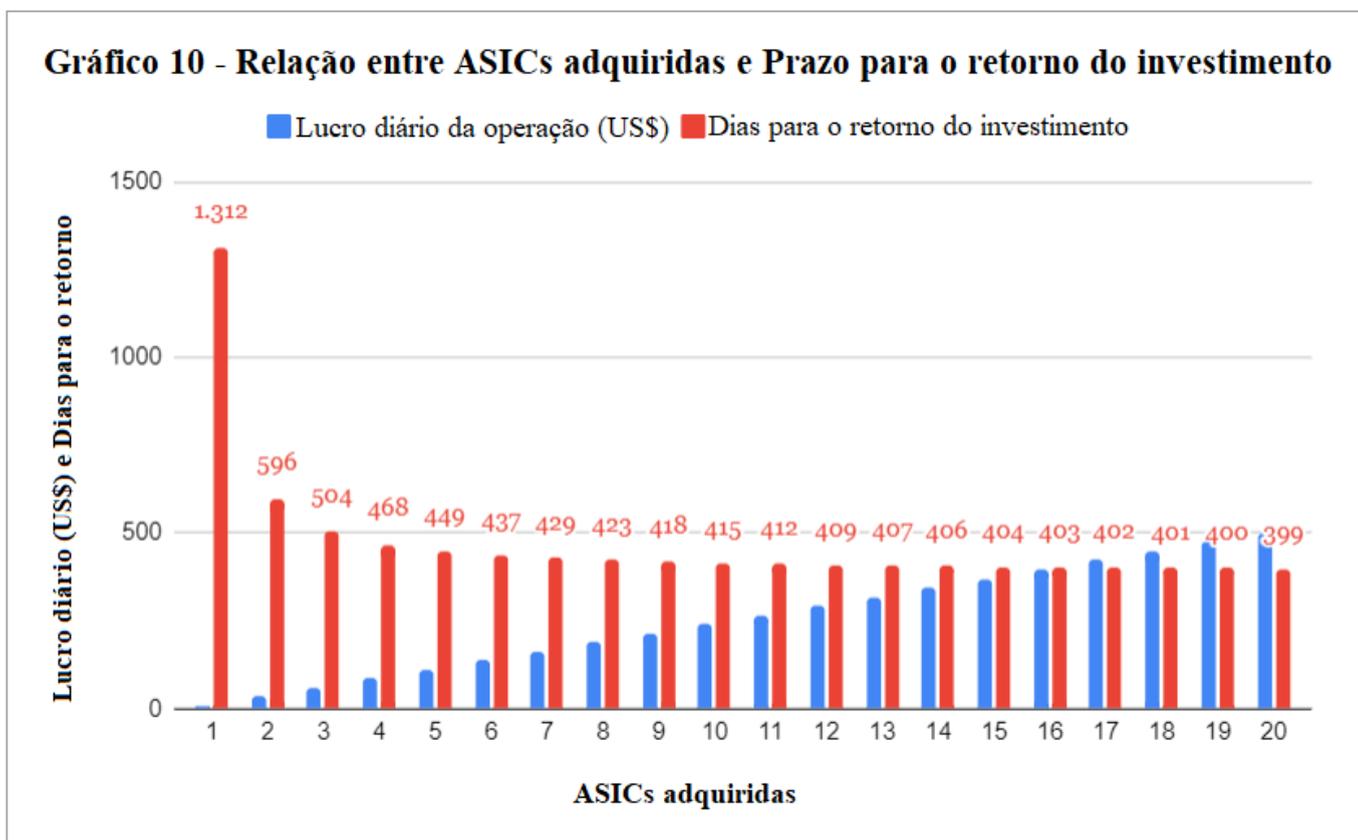
O cálculo a seguir medirá a relação entre a quantidade de máquinas adquiridas no momento da estruturação da operação e o prazo para o retorno do investimento realizado. Neste exemplo, se assumirá que uma compra de maior quantidade de máquinas não gerará nenhum desconto no preço médio por cada máquina, apesar de que na prática este resultado é esperado e faz sentido. Os custos de energia permanecerão iguais ao exemplo anterior (US\$ 0,07 por kWh), assim como todas as condições de *Hashrate*, dificuldade da mineração, preço do Bitcoin e despesas com aluguel e internet. Desta forma, os custos variáveis aumentarão sempre proporcionalmente à quantidade de máquinas, não havendo retornos melhores por máquina adicionada quando se compara “receita - custos variáveis”. Entretanto, o que o exemplo irá demonstrar ao se adicionar mais máquinas ao empreendimento será a redução do prazo do retorno do investimento, graças a uma diluição dos custos fixos da operação na receita de cada máquina adicionada. Este exemplo é apresentado na tabela 7 a seguir:

<b>Tabela 7 - Relação entre ASICs adquiridas e o Prazo para o retorno do investimento</b>				
ASICs adquiridas	Investimento inicial (US\$)	Lucro diário da operação (US\$)	Dias para o retorno do investimento	Redução do prazo para o retorno do investimento (%)
1	\$10.000,00	\$7,62	1.312	-
2	\$20.000,00	\$33,57	596	-54,60%
3	\$30.000,00	\$59,52	504	-15,40%
4	\$40.000,00	\$85,47	468	-7,15%
5	\$50.000,00	\$111,42	449	-4,11%
6	\$60.000,00	\$137,37	437	-2,67%
7	\$70.000,00	\$163,32	429	-1,87
8	\$80.000,00	\$189,27	423	-1,38%
9	\$90.000,00	\$215,22	418	-1,06%
10	\$100.000,00	\$241,17	415	-0,84%
11	\$110.000,00	\$267,12	412	-0,69%
12	\$120.000,00	\$293,07	409	-0,56%
13	\$130.000,00	\$319,02	407	-0,48%
14	\$140.000,00	\$344,97	406	-0,41%
15	\$150.000,00	\$370,92	404	-0,35%
16	\$160.000,00	\$396,87	403	-0,31%
17	\$170.000,00	\$422,82	402	-0,27%
18	\$180.000,00	\$448,77	401	-0,24%
19	\$190.000,00	\$474,72	400	-0,21%
20	\$200.000,00	\$500,67	399	-0,19%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se observar que, ao adicionar novas máquinas à operação os custos variáveis aumentam proporcionalmente, tendo um custo marginal da energia ao adicionar uma unidade extra de ASIC de US\$ 5,15 por dia, crescendo linearmente a cada máquina adicionada, que por sua vez, aumenta a produtividade marginal da mineração em 104TH/s, também crescendo linearmente ao adicionar uma ASIC extra. Porém, os custos fixos de aluguel e internet são diluídos em uma maior quantidade de máquinas, reduzindo então o prazo para o retorno do investimento realizado. Neste cenário, os US\$ 550,00 dólares que eram cobertos pelo lucro de uma máquina apenas, passam a ser cobertos por mais máquinas. Entretanto, é possível também visualizar que a redução do prazo para o retorno do investimento é cada vez menor ao adicionar mais máquinas, tendendo a um efeito mínimo com um número maior destas. Ao adicionar a sexta ASIC, há uma redução de pouco mais de uma semana no prazo de retorno, mas, logo após esta unidade adquirida, não há mais tanto incentivo para adquirir mais

máquinas no ponto de vista de alcançar o retorno do investimento mais rápido. O gráfico 10 representa visualmente o cenário:

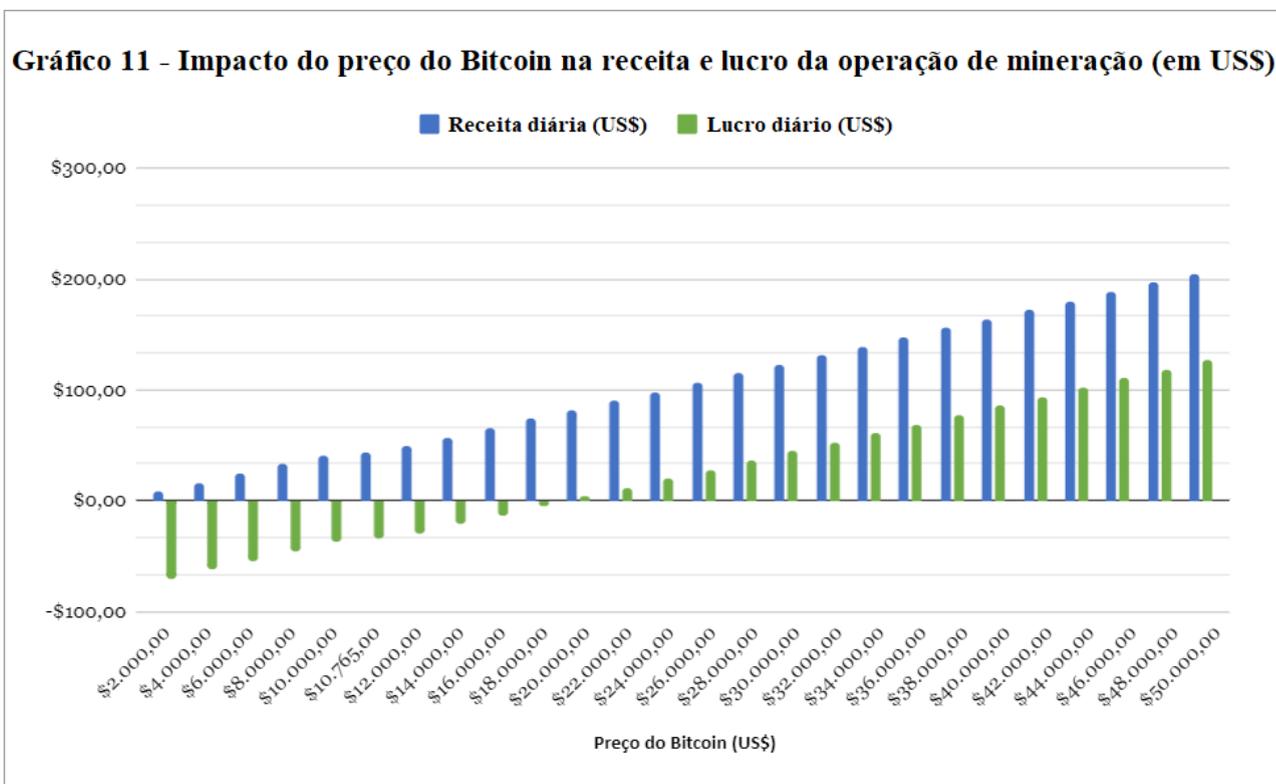


Fonte: Elaborado pelo autor.

Nestas condições, o máximo que poderá ser reduzido no prazo para o retorno do investimento será até chegar aos 385 dias. Estes custos serão diluídos sob a receita de milhares de máquinas em operação, tendo pouco impacto sobre o lucro da operação. É claro que adicionar mais máquinas sempre será vantajoso para aumentar a escala do empreendimento e faturar mais, sendo vantajoso aumentar a operação de 10 para 100 máquinas e de 100 para 1.000 máquinas. Porém, isso não afetará o prazo para o retorno do investimento inicial, não sendo possível diminuir, a estes custos fixos, abaixo de 385 dias para o retorno.

As variáveis que poderão influenciar no retorno do investimento de 385 dias do último exemplo são exatamente as que foram fixadas para simplificar a apresentação do cenário: o preço do Bitcoin, o Hashrate total do sistema e a tarifa de energia. No gráfico 11, apresenta-se os impactos que a variação no preço do Bitcoin, tudo o mais constante, causam na lucratividade da operação de mineração e, como consequência, nas decisões de mineração.

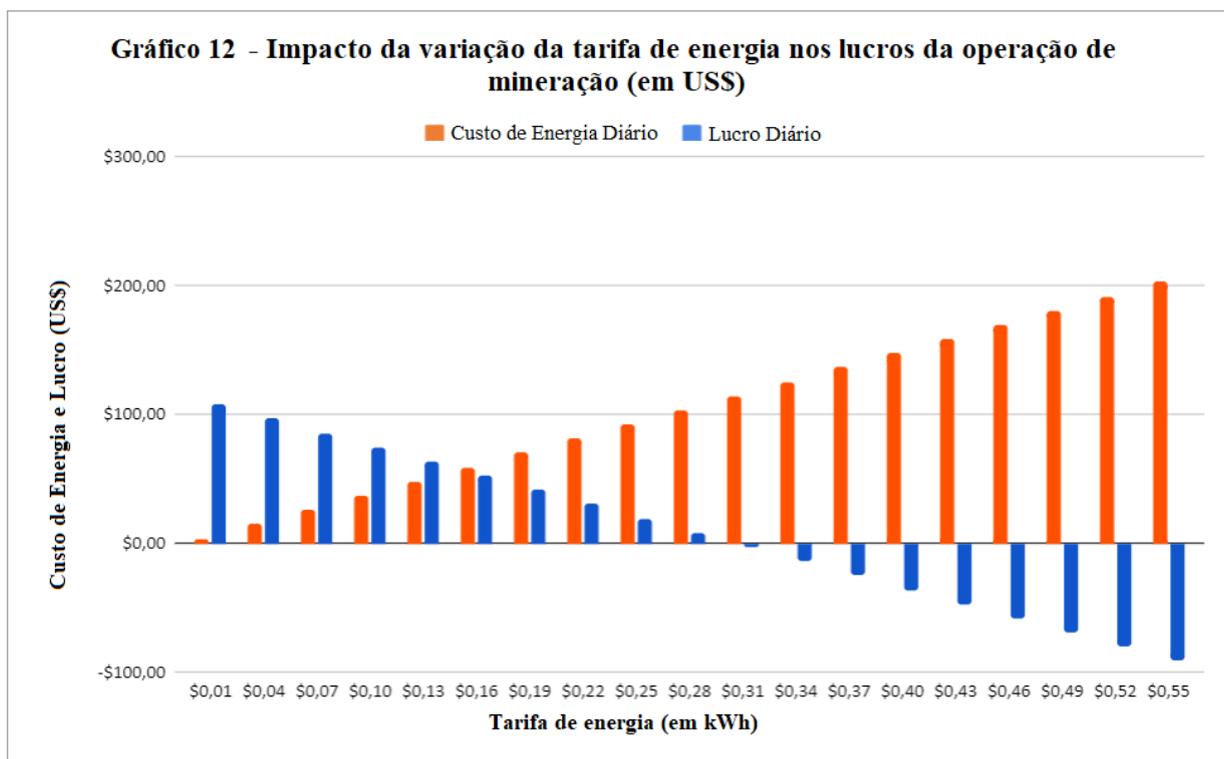
Todas as outras variáveis dos últimos exemplos ficarão fixas e o número de máquinas utilizadas será de cinco ASICs:



Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível identificar no gráfico 11 o ponto de equilíbrio da operação: quando o Bitcoin está em aproximadamente US\$ 20.000,00 em seu preço de mercado. Isso significa que, com todos os custos fixos e variáveis do empreendimento, com o Bitcoin a este preço, não há lucro nem prejuízo, a operação não gera resultados lucrativos. Contudo, também é possível identificar neste exemplo que, se o preço do Bitcoin cair para abaixo de US\$ 20.000,00, com todas as outras variáveis constantes, a operação terá prejuízo se continuar, e o minerador deverá desligar as máquinas para não gastar dinheiro que não terá retorno.

Em um cenário em que a variável a oscilar é a tarifa energética, tem-se um efeito tão forte quanto o preço do Bitcoin. Ao manter o preço de mercado do BTC fixo em US\$ 40.000,00 e alterar os custos de energia para operar cinco ASICs com os mesmos custos fixos, o resultado será o seguinte, apresentado no gráfico 12:

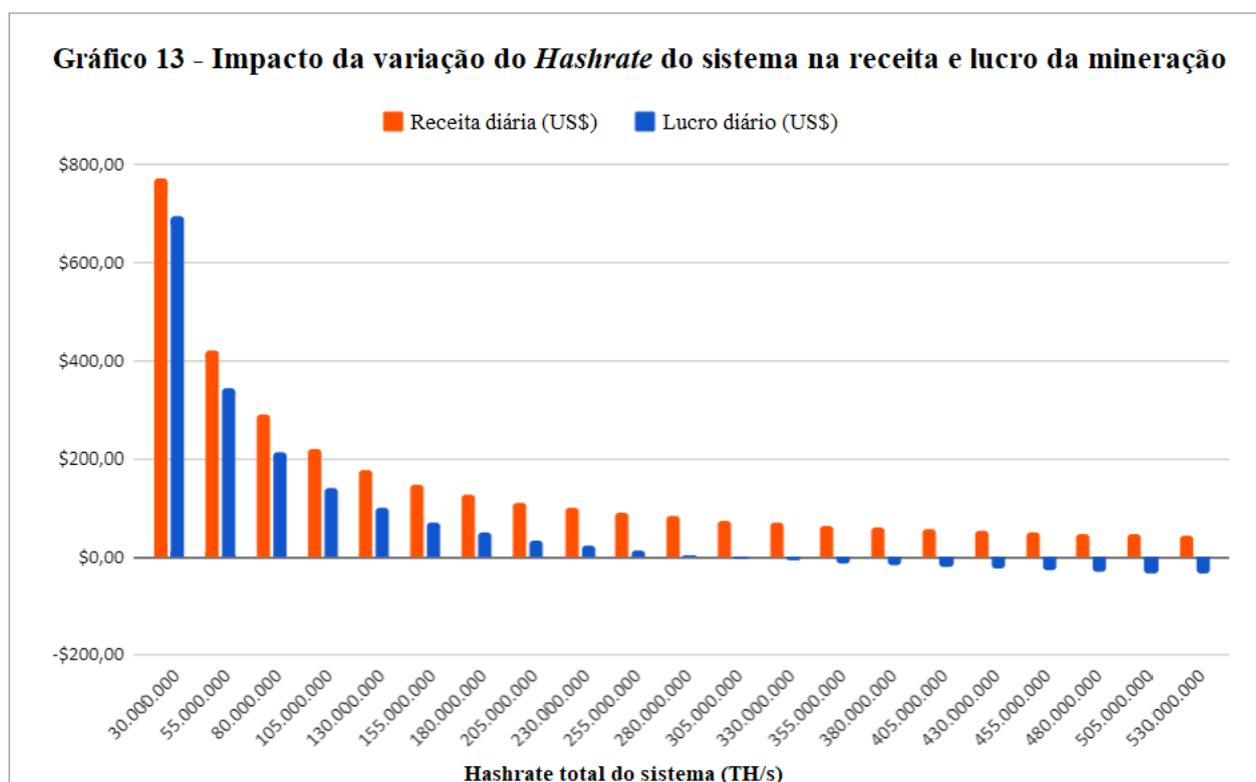


Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico 12 indica como as tarifas energéticas podem influenciar no resultado final da mineração, não sendo tão lucrativo operar com uma tarifa energética acima de US\$ 0,16/kWh, momento em que o custo de energia passa a representar mais de 50% da receita total, e tendo prejuízo ao minerar com uma tarifa acima de US\$ 0,30/kWh. É claro que estas tarifas não são comuns na maior parte das localidades, sendo possível facilmente encontrar uma tarifa abaixo de US\$ 0,11/kWh, porém o gráfico 12 demonstra a importância de buscar minimizar os custos variáveis da operação, fator que está mais perto do controle do minerador em comparação com o preço do Bitcoin, em que não tem controle algum. Isso pode ser feito ao construir parcerias com empresas de distribuição de energia ou com indústrias que vendem parte da energia que não utilizaram em suas operações, mas que já pagaram por esta. O ponto é: conquistar uma tarifa mais baixa de energia está mais ao controle do minerador do que as outras variáveis presentes na operação.

A última variável da mineração que pode ser medida isoladamente é o *Hashrate* total do sistema do Bitcoin. Como apresentado anteriormente, a receita de um minerador é diretamente proporcional à porcentagem que este possui da taxa de *Hash* total deste sistema. Nos cenários apresentados até o momento, o *Hashrate* manteve-se constante em 113.000.000 TH/s, mantendo também fixa a participação do minerador no sistema e por consequência, a

receita diária da operação: 5 ASICs de 104TH cada uma resulta em  $((104\text{TH/s} * 5) * (113.000.000\text{TH/s})) = 4.60176991 * 10^{-6}$  de participação de poder computacional no sistema. Ao multiplicar os Bitcoins premiados em 24 horas pela participação do minerador no sistema, será igual a:  $((913 \text{ BTC}) * (4.60176991 * 10^{-6})) = 0.00420141593 \text{ BTC}$  minerados por dia”. Se o BTC está cotado a US\$ 50.000,00 em preço de mercado, então:  $((0.00420141593 \text{ BTC}) * (\text{US\$ } 50.000,00)) = \text{US\$ } 210,07$  de receita total no dia”. Só resta subtrair 2,5% de taxas da *Pool* para chegar ao valor real da receita líquida de US\$ 204,82. O gráfico 13 representa os resultados de uma variação do *Hashrate* total do sistema do Bitcoin:

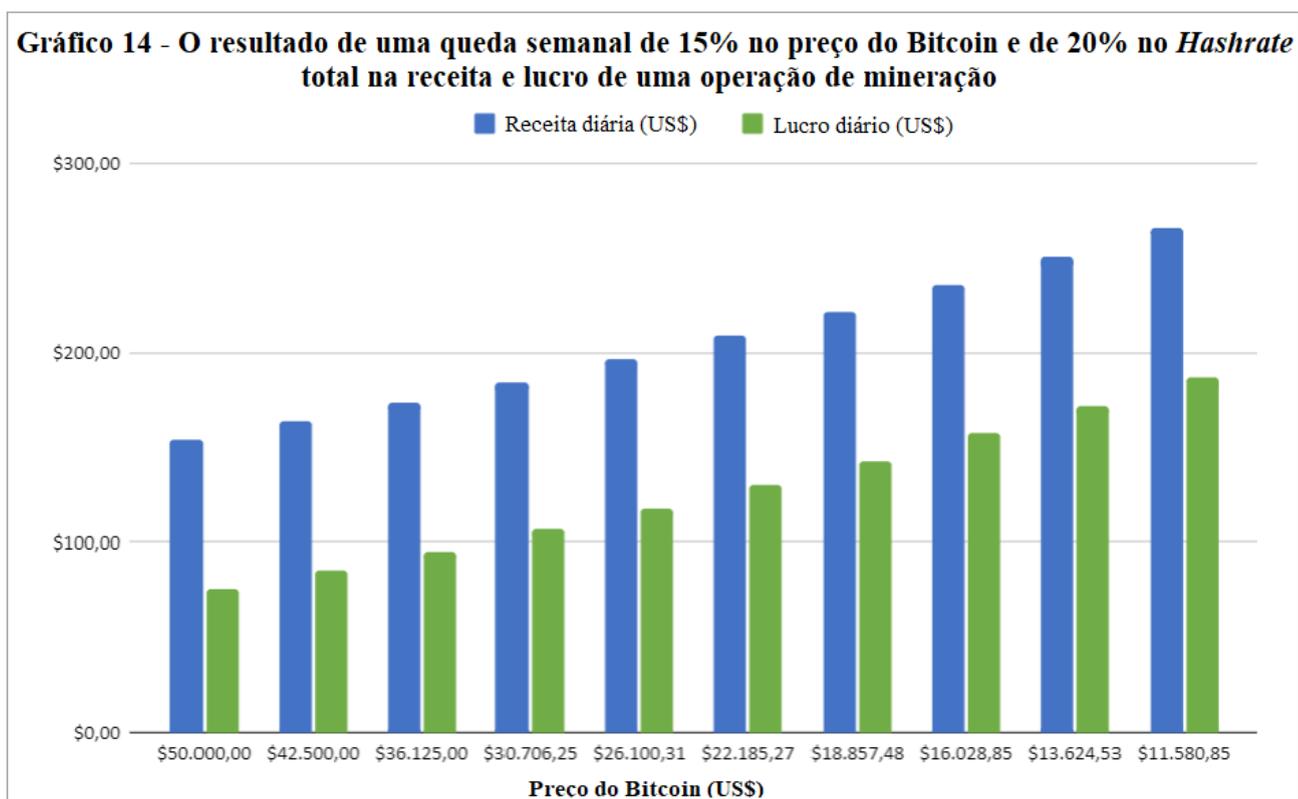


Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico 13 aponta o impacto que a variação do *Hashrate* total da mineração causa na receita e lucro da operação. À medida que a taxa de *Hash* aumenta, em um cenário em que mais indivíduos buscam minerar Bitcoin e aumentar sua capacidade produtiva com mais e melhores máquinas, a receita diminui e o lucro a acompanha proporcionalmente. Percebe-se também que a redução da receita passa a ser mais amena a cada aumento do *Hashrate* total, diminuindo a receita em mais de 45% de 30.000.000 TH/s para 55.000.000 TH/s, porém, tendo reduções menores a cada aumento. Apenas em aproximadamente 330.000.000 TH/s a operação passa a dar prejuízo e é necessário desligar as máquinas e parar de minerar, ou, por

outro lado, adquirir mais máquinas para aumentar o poder computacional da operação e a participação frente ao *Hashrate* da rede. Isto se dá pois, o aumento do *Hashrate* não afeta a lucratividade da operação, mas sim a receita, necessitando de um grande aumento do poder computacional do sistema para resultar no prejuízo desta operação hipotética.

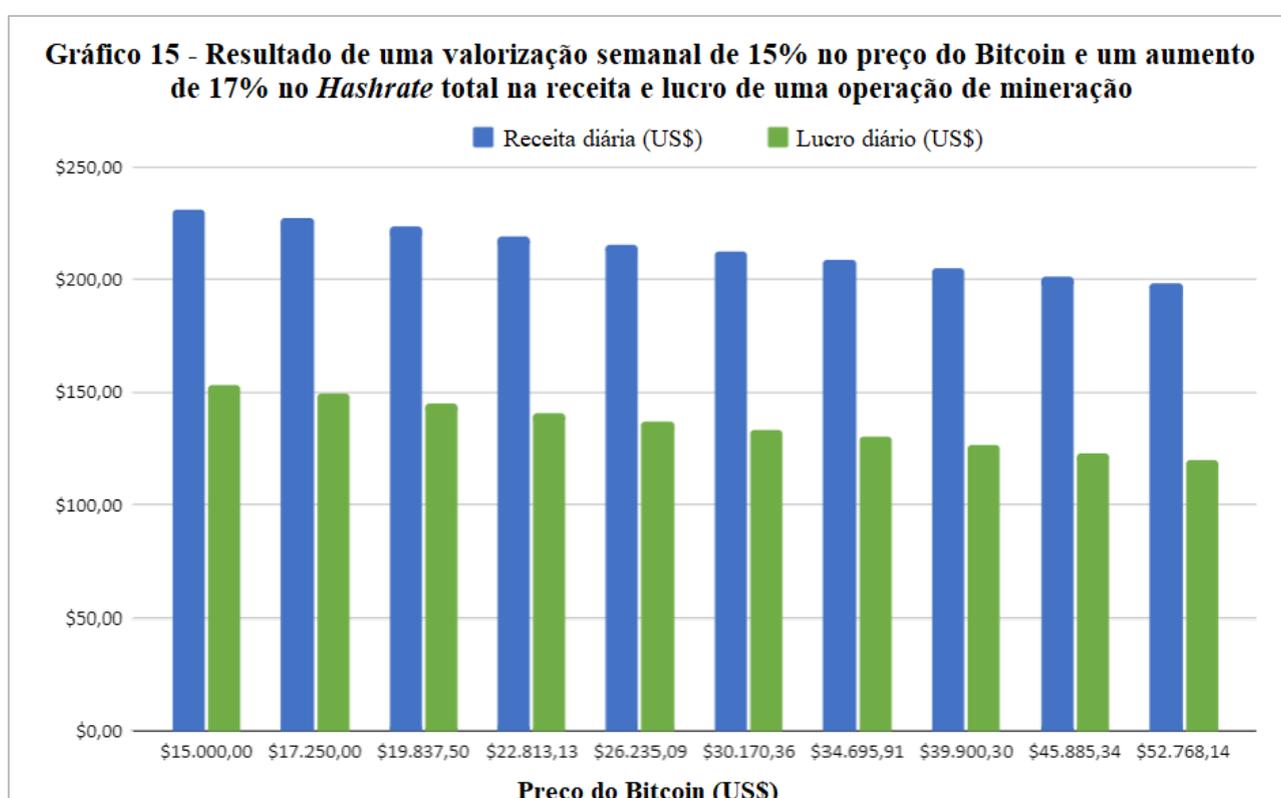
Por fim, será importante realizar uma análise mais próxima à realidade, em um momento hipotético em que os preços do Bitcoin estão caindo, porém a taxa de *Hash* e a dificuldade da mineração também caem devido à saída de alguns mineradores. Para isso, será exemplificado um cenário em que o Bitcoin está em US\$ 50.000,00 e caindo 15% semanalmente, até chegar a aproximadamente US\$ 11.580,00, enquanto o *Hashrate* total cai em 20% de semanalmente, a partir de 150.000.000 TH/s. Apesar da dificuldade da mineração ser calculada apenas a cada duas semanas, e não semanalmente, será utilizado o *Hashrate* como base para o cálculo, pois é um indicador mais confiável para representar quanto o minerador irá ganhar na mineração. A tarifa de energia elétrica mantém-se em US\$ 0,07/kWh e os custos fixos permanecem em US\$ 550,00. Novamente serão utilizadas cinco ASICs na operação. O resultado é indicado no gráfico 14:



Fonte: Elaborado pelo autor.

Mesmo com uma queda de 15% semanal no preço do Bitcoin é possível aumentar os resultados da operação caso a taxa de *Hash* do sistema caia em níveis mais elevados que o

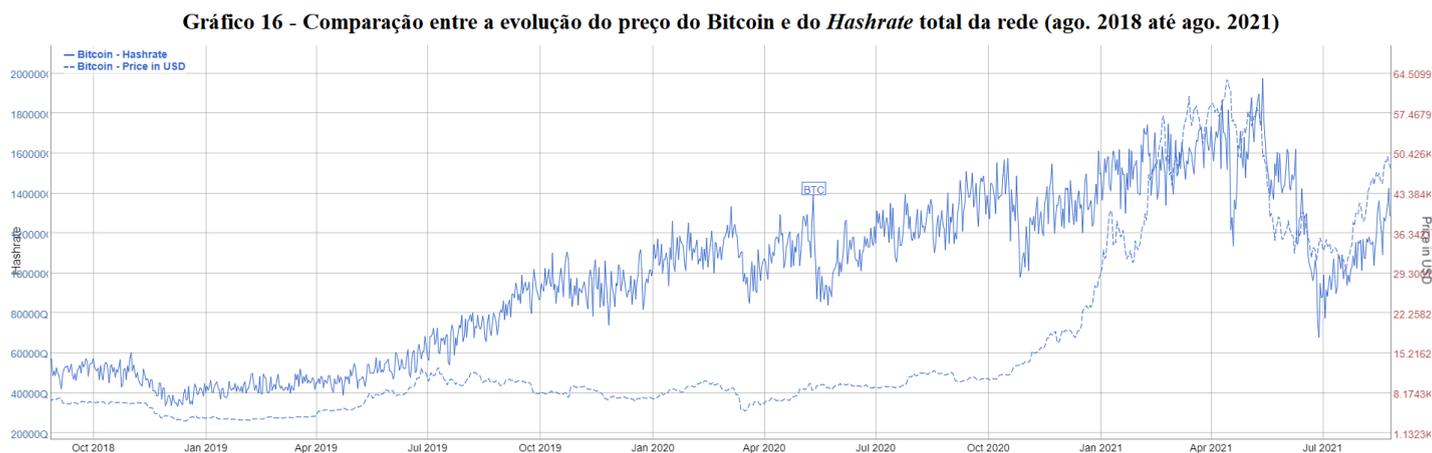
preço. Isso implica não em uma queda do faturamento e lucro operacional, mas em um aumento dos resultados destes indicadores. Um cenário deste significaria uma queda na confiança dos mineradores em relação à mineração do Bitcoin em maior grau de intensidade ao comparar com a queda na confiança dos detentores da moeda no mercado, que decidem vendê-la. Em suma, há mais mineradores saindo (em poder de *Hash* total do sistema) do que pessoas procurando vender seus Bitcoins. O mesmo pode ser testado em uma situação em que há grande ascensão do preço do BTC, em 15% por semana, entretanto, o *Hashrate* aumenta 17% por semana, com muitos mineradores entrando ansiosamente de volta ao sistema do Bitcoin para faturar. Apenas 2 pontos percentuais a mais que o aumento de preço de mercado. O gráfico 15 demonstra o cenário:



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conclui-se que, um aumento relativo do *Hashrate* frente ao preço do Bitcoin resultará em queda nos resultados da operação de mineração. Se as duas variáveis aumentam proporcionalmente, isso implicará na constância dos resultados da mineração. Isso se dá pois, apesar da participação do minerador no sistema diminuir - sendo constantes os 520 TH/s das 5 ASICs adquiridas, enquanto o sistema aumenta seu *Hashrate* de 30.000.000 THs 35.100.000 TH/s - a valorização da criptomoeda compensa a participação perdida. Ou seja, se a taxa de *Hash* do sistema crescer 100% e o preço do Bitcoin também subir 100%, não haverá alteração

nos resultados de faturamento e lucro da mineração. Porém, o *Hashrate* total do sistema não é algo que pode ser mensurado previamente, da mesma forma que a variação no preço do Bitcoin é imprevisível. Há momentos em que o preço do Bitcoin aumenta em 10% e o *Hashrate* em menor grau, apenas 5%, e há momentos em que o *Hashrate* oscila em um grau maior do que o preço da criptomoeda. O gráfico 16 apresenta estas variações ao comparar o preço de mercado do Bitcoin e o *Hashrate* total da rede nos últimos três anos:



Fonte: Adaptado pelo autor a partir de <https://bitinfocharts.com/> (2021).

Desta forma, a melhor estratégia para um novo empreendimento em uma operação de mineração de Bitcoin será: buscar minimizar as tarifas de energia elétrica ao procurar as melhores localidades para estabelecer a operação e reduzir os custos variáveis; maximizar a quantidade de máquinas adquiridas para a diluição dos custos fixos; e ter uma constante aquisição de novas máquinas com o objetivo de crescer o *Hashrate* da operação. A Teoria da Firma foi observada nos cenários hipotéticos apresentados com os cálculos de viabilidade e sensibilidade de uma operação de mineração. Pode-se entender a influência das variáveis do preço de mercado do Bitcoin, taxa de *Hash* da rede e a capacidade computacional da operação têm sobre a receita do empreendimento. Além disso, também nota-se como os custos variáveis de energia elétrica e os custos fixos de aluguel e internet afetam a lucratividade da operação, os custos variáveis em maior intensidade e os fixos em um menor grau. Por fim, identifica-se como é essencial o crescimento da produção, ou seja, o aumento do *Hashrate* da operação pela compra compra de mais e melhores máquinas de mineração dedicadas, para alcançar escalas maiores de retorno em faturamento e lucro neste empreendimento.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou responder quais são os impactos que as oscilações no preço de mercado do Bitcoin causam nos rendimentos e lucratividade de empreendimentos em mineração da criptomoeda. Com a variação no preço da moeda dos últimos anos, o objetivo principal foi entender como uma operação de mineração reage às mudanças da concorrência e de sua receita.

No decorrer deste estudo, observou-se que possuir um maquinário adequado para a mineração de Bitcoin é essencial para que a operação seja lucrativa, não sendo mais possível ter resultados significantes com o uso de computadores de mesa ou notebooks comuns desde 2014, quando a intensidade total da mineração da rede passou a crescer rapidamente. As ASICs são as máquinas comerciais atualmente mais poderosas para a realização da atividade de mineração e, estar atualizado tecnologicamente, com mais poder de *Hash*, trará benefícios de maior rentabilidade. Isso se dá pois para calcular quanto uma operação irá lucrar, é identificada a sua participação em poder computacional frente ao *Hashrate* total da rede do Bitcoin. Ou seja, quanto mais poder de *Hash* tiver uma operação, maiores serão os resultados. A solução para aumentar a escala do empreendimento será adicionar mais máquinas sempre que possível.

Este trabalho também analisou todos os fatores de produção determinantes para o modelo de negócios da mineração do Bitcoin, a partir dos conceitos da Teoria da Firma, evidenciando o custo variável de energia elétrica como o mais influente na lucratividade do negócio, sendo essencial buscar reduzir ao máximo as tarifas de energia pagas mensalmente. Os custos fixos de internet e aluguel de espaço físico apesar de afetarem os lucros inicialmente, com um número baixo de máquinas, são diluídos ao adicionar mais máquinas à operação, passando a não influenciar tanto no período de retorno do investimento.

Foram realizadas análises de viabilidade e sensibilidade para identificar como reagem os resultados da operação à medida que fatores de energia elétrica, preço de mercado do Bitcoin e *Hashrate* total da rede variam. Identificou-se a relação que a intensidade da mineração possui com o preço da criptomoeda, em que um aumento do preço não implica necessariamente no aumento da receita da operação, se o crescimento *Hashrate* tiver sido maior em comparação com o do preço. O contrário também é verdadeiro, foi demonstrado como uma queda no preço do Bitcoin pode não significar uma queda no faturamento do empreendimento, se a taxa de *Hash* do sistema cair em maior grau.

Todavia, apesar de ser um mercado rentável, o consumo total de energia elétrica na mineração de criptomoedas é alarmante e traz discussões sobre os impactos negativos mundialmente, especialmente quando se fala de sustentabilidade. Muitas sugestões já foram desenvolvidas para sanar o problema energético que é causado pela aplicação do *Proof of Work*, com o intuito de validar transações e tornar o sistema seguro e confiável. A principal proposição que já está sendo aplicada atualmente é o chamado *Proof of Stake* (FRANKENFIELD, 2021), em que a base para ser um validador do sistema não está relacionada com quanto poder computacional o indivíduo consegue utilizar, mas a quantidade de moedas que este possui, reduzindo consideravelmente o fator gasto de energia elétrica da equação e demonstrando ser mais seguro do que o *Proof of Work*. Apenas moedas alternativas ao Bitcoin e de menor tamanho de mercado atualmente utilizam o sistema de *proof of stake*, porém, esta é uma proposta que solucionará os problemas causados pelo excesso de energia despendida na mineração e espera-se que nos próximos anos a maior parte das criptomoedas utilizará a tecnologia.

Por fim, é sugerido para trabalhos posteriores pesquisas de verificação dos efeitos que uma transição do *proof of work* para o *proof of stake* podem causar na tecnologia e rede da *Blockchain* no futuro. Além disso, um estudo que procura validar se há oportunidade em montar uma operação dentro do modelo de *proof of stake* também será relevante para observar os movimentos do setor. Este tipo de transição pode alterar totalmente a dinâmica atual de mineração e será essencial para o entendimento das novas tendências do mercado de criptoativos deste ponto em diante.

## REFERÊNCIAS

- ABADA, I. How to setup Any Bitmain Miner (S19, T17, Z11, L7, Z15, E9, S3, S5, S5+, S7, S9, T9, T9+, L3+, L3++, A3, E3, X3, B3, V9, D3). **Bitcoin merch.** jul, 2021. Disponível em: <<https://bitcoinmerch.com/blogs/guides/how-to-setup-any-bitmain-miner-s19-t17-z11-l7-z15-e9-s3-s5-s5-s7-s9-t9-t9-l3-l3-a3-e3-x3-b3-v9-d3>>. Acesso em: 09 de ago. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Ranking de Tarifas. **ANEEL.** 2021. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/relatorio-ranking-tarifas>>. Acesso em: 09 de ago. 2021.
- ANDERSON, S; FRANKENFIELD, J. Proof of Work (PoW). **Investopedia.** jul, 2021. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/terms/p/proof-work.asp>>. Acesso em: 26 de ago. 2021
- BARONE, A; MANSA, J. How to Choose a Cryptocurrency Mining Pool. **Investopedia.** 2020. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/tech/how-choose-cryptocurrency-mining-pool/>>. Acesso em: 09 de ago. 2021.
- BITCOIN NEWS. Mineração: O processo de verificação e validação das transações do Bitcoin. **BITCOIN NEWS MEDIA GROUP.** c2013. Disponível em: <<https://bitcoinnews.com.br/mineracao-o-processo-de-verificacao-e-validacao-das-transacoes-do-bitcoin/>>. Acesso em: 08 de set. 2021.
- BLOCKCHAIN. Dificuldade de rede. **Blockchain.com.** ago, 2021. Disponível em: <<https://www.blockchain.com/charts/difficulty>>. Acesso em: 10 de ago. 2021.
- BLOCKCHAIN. Taxa de hash total (TH/s). **Blockchain.com.** ago, 2021. Disponível em: <<https://www.blockchain.com/charts/hash-rate>>. Acesso em: 10 de ago. 2021.
- BLOCKCHAIN. Taxas de transação totais (BTC). **Blockchain.com.** ago, 2021. Disponível em: <<https://www.blockchain.com/charts/transaction-fees>>. Acesso em: 10 de ago. 2021.
- BLOCKCHAIN. Preço de mercado (USD). **Blockchain.com.** ago, 2021. Disponível em: <<https://www.blockchain.com/charts/market-price>>. Acesso em: 10 de ago. 2021.
- CFI. Straight Line Depreciation - Uniform depreciation of an asset's value. **Corporate Finance Institute.** 2018. Disponível em: <<https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/accounting/straight-line-depreciation/>>. Acesso em: 22 de ago. 2021.
- COASE, R. H. **The Nature of the Firm.** *Economica.* v. 4. 1937. 386-405 p.
- COMPASS. How long do ASICs last?. **Compass.** abr, 2021. Disponível em: <<https://compassmining.io/education/how-long-do-asics-last/>>. Acesso em 23 de ago. 2021.
- CUNHA, J. M. B. O Bitcoin pode realmente se tornar o “ouro digital”? **InfoMoney.** jul, 2020. Disponível em: <<https://www.infomoney.com.br/colunistas/convidados/o-bitcoin-pode-realmente-se-tornar-o-ouro-digital/>>. Acesso em: 09 de ago. 2021.

DORFMAN, R. Theory of Production. **Encyclopaedia Britannica**. Ago, 2006. Disponível em: <<https://www.britannica.com/topic/theory-of-production>>. Acesso em: 12 de set. 2021.

ETHAN. Crypto Mining 101: Calculating Profitability. **London Blockchain Labs**. fev, 2019. Disponível em: <<https://medium.com/london-blockchain-labs/mining-101-calculating-profitability-7df1ff064279>>. Acesso em: 10 de ago. 2021.

FRANKENFIELD, J. Proof of Stake (PoS). **Investopedia**. abr, 2021. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/terms/p/proof-stake-pos.asp>>. Acesso em: 27 de ago. 2021.

GLOBAL PETROL PRICES. Preços da electricidade para os negócios. **GlobalPetrolPrices.com**. dez, 2020. Disponível em: <[https://pt.globalpetrolprices.com/electricity\\_prices/](https://pt.globalpetrolprices.com/electricity_prices/)>. Acesso em: 22 de ago. 2021.

HANNAN, E. Kilo, mega, giga, tera, peta, exa, zetta and all that. **Tech Target**. 2019. Disponível em: <<https://searchstorage.techtarget.com/definition/Kilo-mega-giga-tera-peta-and-all-that>>. Acesso em: 06 de ago. 2021.

How to Start a Bitcoin Mining Business. **TRUIC**. nov, 2020. Disponível em: <<https://howtostartanllc.com/business-ideas/bitcoin-mining#ongoing-costs>>. Acesso em: 09 de ago. 2021.

LU, M. Visualizing the Power Consumption of Bitcoin Mining. **Visual Capitalist**. abr, 2021. Disponível em: <<https://www.visualcapitalist.com/visualizing-the-power-consumption-of-bitcoin-mining/>>. Acesso em: 26 de ago. 2021.

NAKAMOTO, S. **Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System**. 2008. 9 p. Disponível em: <<https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>>. Acesso em: 15 de mai. 2021.

NASCIMENTO, D. P. O que é mineração de criptomoedas?. **Money Times**. fev, 2021. Disponível em: <<https://www.moneytimes.com.br/be-a-ba-cripto-mineracao/>>. Acesso em: 10 de set. 2021.

PELLINI, R. Faz Sentido Minerar Bitcoins no Brasil?. **Investing.com**. 2021. Disponível em: <<https://br.investing.com/analysis/faz-sentido-minerar-bitcoins-no-brasil-200441434>>. Acesso em: 09 de ago. 2021.

REIS, T. Fatores de produção: o que são e quais são suas características?. **Suno Research**. mai, 2020. Disponível em: <<https://www.suno.com.br/artigos/fatores-producao/>>. Acesso em: 11 de set. 2021.

ROGERS, E. M. **Diffusion of Innovations**. v. 5. 2003. 269 p.

SEDGWICK, K. A Short History of the World's Largest Bitcoin Mining Pools. **Bitcoin.com**. 2019. Disponível em: <<https://news.bitcoin.com/a-short-history-of-the-worlds-largest-bitcoin-mining-pools/>>. Acesso em: 06 de ago. 2021.

SETH, S. How Do Cryptocurrency Mining Pools Work?. **Investopedia**. 2020. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/tech/how-do-mining-pools-work/>>. Acesso em: 09 de ago. 2021.

SHARMA, T, K. What is Solo Mining & How it Works?. **Blockchain Council**. 2017. Disponível em: <<https://www.blockchain-council.org/blockchain/solo-mining-works/>>. Acesso em: 09 de ago. 2021.

SWENEY, M. Global shortage in computer chips 'reaches crisis point'. **The Guardian**. mar, 2021. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/business/2021/mar/21/global-shortage-in-computer-chips-reaches-crisis-point>>. Acesso em: 09 de ago. 2021.

TAYLOR, M, B. The Evolution of Bitcoin Hardware. **IEEE Computer Society**. set, 2017. Disponível em: <[https://michaeltaylor.org/papers/Taylor\\_Bitcoin\\_IEEE\\_Computer\\_2017.pdf](https://michaeltaylor.org/papers/Taylor_Bitcoin_IEEE_Computer_2017.pdf)>. Acesso em: 09 de ago. 2021.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **EIA**, c2021. Table 5.6.A. Average Price of Electricity to Ultimate Customers by End-Use Sector. Disponível em: <[https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm\\_table\\_grapher.php?t=epmt\\_5\\_6\\_a](https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.php?t=epmt_5_6_a)>. Acesso em: 09 de ago. 2021.