



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

João Pedro Baqueiro da Motta

Título: Gestão de estoques e seu impacto na qualidade de serviços na mineração
de Bitcoin

Florianópolis
2024

João Pedro Baqueiro da Motta

Título: Gestão de estoques e seu impacto na qualidade de serviços na mineração de Bitcoin

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia de Produção Civil do Centro de Tecnologia e Ciências da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil com habilitação em Engenharia de Produção.

Orientador(a): Prof.(a) Edson Pacheco Paladini

Florianópolis

2024

Motta, João Pedro Baqueiro da
Gestão de estoques e seu impacto na qualidade de
serviços na mineração de Bitcoin / João Pedro Baqueiro da
Motta ; orientador, Edson Pacheco Paladini, 2024.
113 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia de Produção Civil,
Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Civil. 2. Mineração de
Bitcoin. 3. Gestão da Qualidade. 4. Dimensionamento de
Estoques. 5. Manutenção de ASICs. I. Paladini, Edson
Pacheco. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia de Produção Civil. III. Título.

João Pedro Baqueiro da Motta

Título: Gestão de estoques e seu impacto na qualidade de serviços na mineração de Bitcoin

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil com habilitação em Engenharia de Produção e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia de Produção

Local Florianópolis, 13 de dezembro de 2024.

Coordenação do Curso

Banca examinadora

Dr. Edson Pacheco Paladini

Orientador

Prof.(a) Marina Bouzon

UFSC

Prof.(a) Viviane Vasconcellos Ferreira Grubisic

UFSC

Florianópolis, 2024

À minha família,
cuja sabedoria e resiliência me mostrou que o caminho da
engenharia não era apenas uma escolha, mas uma vocação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, que não pouparam esforços nem recursos para me proporcionar as melhores oportunidades. Vocês sempre acreditaram no meu potencial, mesmo quando eu ainda não enxergava o caminho à frente. O apoio de vocês foi o alicerce de cada uma das minhas conquistas. Este trabalho é, também, um reflexo do investimento de amor, paciência e dedicação que vocês sempre fizeram em mim.

Ao meu avô, que sempre foi um exemplo de integridade, sabedoria e dedicação ao ofício. Foi por meio de suas histórias e do seu amor pela engenharia que nasceu, em mim, o desejo de seguir por essa mesma estrada. Este trabalho é, em grande parte, uma homenagem à influência profunda que teve na minha vida.

Agradeço de forma especial ao professor Edson Pacheco Paladini, que teve a paciência e o interesse de me escutar enquanto eu divagava sobre Bitcoin e compreendeu o seu elo com Engenharia de Produção. Seu entusiasmo em explorar novas ideias e seu constante apoio acadêmico foram fundamentais para o desenvolvimento deste projeto.

Aos amigos que caminharam comigo durante essa jornada, meu mais sincero agradecimento. A união e o apoio mútuo que cultivamos foram essenciais para superar os obstáculos e chegar até aqui.

RESUMO

O estudo propõe aumentar a competitividade de uma empresa de mineração de Bitcoin por meio da criação de um modelo otimizado de estoques de peças e melhorias nas manutenções dos ASICs, equipamento crítico para operação. Utiliza-se a metodologia de pesquisa-ação, com abordagens qualitativas e quantitativas, para identificar pontos de melhoria de qualidade e definir um modelo de estoque que garanta maior disponibilidade dos equipamentos e eficiência nos indicadores operacionais, como o hashdelivery, disponibilidade e custos. O modelo de estoque visa garantir a qualidade e a produtividade dos processos produtivos da organização e enfatiza o produto sob o ponto de vista do usuário (qualidade). A pesquisa envolve a coleta de dados de manutenção, análise de custos relacionados a paradas e desenvolvimento de um sistema de controle de inventário. Os resultados obtidos incluem a redução do tempo de parada, a diminuição de custos de oportunidade com o objetivo de aumentar a satisfação do cliente e aumento de competitividade da empresa em um mercado de rápida expansão.

Palavras-chave: Mineração de Bitcoin; Gestão da Qualidade; Dimensionamento de Estoques; Manutenção de ASICs.

ABSTRACT

The study aims to enhance the competitiveness of a Bitcoin mining company by developing an optimized spare parts inventory model and improving the maintenance of ASICs, the critical equipment for operation. Action research methodology, employing both qualitative and quantitative approaches, is utilized to identify quality improvement points and design an inventory model that ensures greater equipment availability and improved operational indicators, such as hashdelivery, uptime, and costs. The inventory model focuses on ensuring the quality and productivity of the organization's production processes, emphasizing the user-centric perspective of quality. The research includes maintenance data collection, cost analysis related to downtime, and the development of an inventory control system. The results demonstrate reduced downtime, lower opportunity costs, increased customer satisfaction, and improved competitiveness in a rapidly expanding market.

Keywords: Bitcoin Mining; Quality Management; Inventory Sizing; ASIC Maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Módulos de mineração de Bitcoin - Fonte: Arthur.Inc.....	2
Figura 2 - Blocos da Mempool - Fonte: Mempool.....	16
Figura 3 - Transações dentro de um bloco - Fonte: Mempool.....	17
Figura 4 - Crescimento da rede do Bitcoin ao longo dos anos - Fonte: Mempool.....	17
Figura 5 - Novas máquinas comparadas a dificuldade de rede.....	18
Figura 6 - Exemplo de ASIC modelo S19 J Pro (Fonte: Bitmain)	19
Figura 7 - Custo de energia do mercado americano dos últimos 5 anos.....	20
Figura 8 - Ciclos da investigação ação (Tripp, 2005).....	23
Figura 9 - Conversão entre unidades de Hashrate.....	29
Figura 10 - Business Model Canvas simplificado	33
Figura 11 - Parcelas fixa e variáveis da recompensa do bloco.....	34
Figura 12 - Preço do Bitcoin do último ano.....	35
Figura 13 - Crescimento do poder computacional da rede do Bitcoin	35
Figura 14 - Ranking das maiores pools da rede e sua proporção	37
Figura 15 - Faturamento histórico dos mineradores por PH/s alocado.....	38
Figura 16 - Hashprice dos últimos 4 anos	39
Figura 17 – Preço de ASICs por faixa de eficiência.....	42
Figura 18 - Representação de estoque cíclico Chopra (2003)	46
Figura 19 – Organograma de etapas do modelo proposto	54
Figura 20 – Intervenções gerais por modelo desde janeiro de 2023	56
Figura 21 - Ciclo anual de intervenções gerais.....	56
Figura 22 - Clima ao longo do ano na região de operação.....	57
Figura 23 - Número total de intervenções por modelo.....	57
Figura 24 - Intervenções gerais na linha A ao longo do período	58
Figura 25 - Ciclo anual de intervenções na linha A	58
Figura 26 - Intervenções na linha A, por tipo de intervenção no período.....	59
Figura 27 - Ciclo anual de tipos de intervenção na linha A.....	59
Figura 28 - Intervenções com troca de peças da linha A no período.....	60
Figura 29 - Ciclo anual de intervenções com troca de peças linha A	60
Figura 30 - Parâmetros estatísticos por peça	61
Figura 31 - Composição da ASIC e custos relacionados.....	65

Figura 32 - Tempos de pedido por peça.....	67
Figura 33 - Lote típico praticado para cada peça	68
Figura 34 - Parâmetros de estoque para o verão	70
Figura 35 Parâmetros de estoque para o inverno	70
Figura 36 - Estoque médio ao longo do ano por peça.....	70
Figura 37 - Custos diretos de estoque.....	72
Figura 38 - Valor individual equivalente de cada peça da ASIC nos lucros..	72
Figura 39 - Estimativa do custo de oportunidade do estoque.....	73
Figura 40 - Custo anual total de estoques	73
Figura 41 - Custo de aquisição dos estoques iniciais	75
Figura 42 - Custo total anual esperado para o primeiro ano dos estoques ..	75
Figura 43 - Custo total anual esperado com mitigação de custos	77
Figura 44 - Custo de oportunidade de paradas antes do modelo.....	78
Figura 45 - Custo de oportunidade dos períodos de parada com o modelo .	78
Figura 46 - Cálculo de Hashdelivery devido à falta de estoques	80
Figura 47 - Cálculo de Hashdelivery com o modelo de estoques.....	80
Figura 48 - Comparativo de estoques com frota total.....	86

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E TERMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASIC	Circuito integrado de aplicação específica utilizado para minerar
BITCOIN	Criptomoeda descentralizada que permite transações entre pares
BLOCKCHAIN	Tecnologia de registro distribuído por meio de blocos interligados
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i> ou Despesas de Capital
ESG	<i>Environmental, Social, and Governance</i>
HALVING	Evento que reduz pela metade a recompensa de mineração
HASH	Função criptográfica que transforma um conjunto de dados
HASHRATE	Poder computacional medido em <i>Hashes</i> realizados por segundo
IA	Inteligência Artificial
P2P	<i>Peer to peer</i> , ou entre pares em português
PH/S	<i>PetaHash / second</i> , um quatrilhão (10^{15}) de <i>Hashes</i> por segundo
POOLS	Espécie de cooperativa para mineração de Bitcoin
POW	<i>Proof of Work</i> , Prova de Trabalho para validar transações
TH/s	<i>TeraHash per second</i> , um trilhão (10^{12}) de <i>Hashes</i> por segundo
TI	Tecnologia da Informação
TOKENS	Representações digitais de ativos ou direitos
UPTIME	Tempo de atividade disponível sem interrupções.
HOSTING	Disponibilização de serviços e infraestrutura sob demanda
WACC	Custo Médio Ponderado de Capital

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
1.2	JUSTIFICATIVAS.....	4
1.3	PROBLEMA E QUESTÃO DE PESQUISA.....	5
1.4	OBJETIVOS.....	6
1.4.1	Objetivos gerais	7
1.4.2	Objetivos específicos	7
1.5	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	7
1.6	INSERÇÃO DO TEMA NA ÁREA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.....	8
1.7	ESTRUTURA DO TEXTO.....	9
2	REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1	GESTÃO DA QUALIDADE NO PROCESSO.....	12
2.2	ASPECTOS PRÁTICOS RELACIONADOS À MANUTENÇÃO.....	13
2.2.1.1	<i>Ações preventivas</i>	13
2.2.1.2	<i>Ações corretivas</i>	14
2.2.1.3	<i>Disponibilidade</i>	14
2.3	O BITCOIN E A MINERAÇÃO.....	14
2.3.1	O que é o Bitcoin	14
2.3.2	Mineração de Bitcoin	15
2.3.3	ASICs e sua função na mineração de Bitcoin	18
2.4	ESTOQUES.....	20
2.4.1	Papel dos Estoques	20
2.4.2	Parâmetros decisórios do estoque	20
3	METODOLOGIA	23
3.1	CARACTERIZAÇÃO CIENTÍFICA DO ESTUDO.....	23
3.1.1	Pesquisa-Ação	23
3.1.2	Abordagem qualitativa e quantitativa	24
3.1.3	Análise exploratória dos dados coletados	24
3.1.4	Análise de viabilidade	24
3.1.5	Métodos adotados	25
3.2	DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....	25

3.2.1	Indicadores:	28
3.2.1.1	<i>Hashdelivery</i>	28
3.2.1.2	<i>Custos</i>	29
3.2.1.3	<i>Uptime</i>	30
3.2.1.4	<i>Outros</i>	30
4	SUORTE PRÁTICO	32
4.1	CONTEXTO DA EMPRESA DE MINERAÇÃO.....	32
4.1.1	Remuneração da mineração	33
4.1.1.1	<i>Recompensa do bloco</i>	33
4.1.1.2	<i>Valor do Bitcoin</i>	34
4.1.1.3	<i>Competitividade de rede</i>	35
4.1.1.4	<i>Colaboração com a rede e tempo de operação</i>	36
4.1.1.5	<i>Hashprice</i>	38
4.1.2	Outros fatores que influenciam na mineração	39
4.1.3	Relacionamento com clientes e mercado	41
4.1.4	Custos da mineração de Bitcoin	41
4.1.4.1	<i>Custo de equipamentos e infraestrutura</i>	41
4.1.4.2	<i>Custo de energia</i>	42
4.1.4.3	<i>Custos administrativos</i>	43
4.2	O PAPEL DOS ESTOQUES E ROTINAS DE CONTROLE.....	43
4.3	DIMENSIONAMENTO DE ESTOQUES.....	45
4.3.1	Estoque	45
4.3.2	Estoque cíclico	45
4.3.3	Estoque de emergência	46
4.3.4	Ponto de pedido	46
4.3.5	Nível de serviço	47
4.3.6	Estoque médio	47
4.3.7	Lote econômico de pedido	47
4.3.8	Lote médio de pedido	48
4.4	ENCERRAMENTO DO CAPÍTULO.....	48
5	DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO MODELO	50
5.1	ESTRUTURA DO DESENVOLVIMENTO DO MODELO.....	52
5.2	ANÁLISE DOS DADOS DE MANUTENÇÃO.....	55
5.2.1	Gráficos de manutenções gerais	55

5.2.2	Gráficos da linha A de ASICs.....	57
5.2.3	Gráficos da linha A com troca de peça.....	59
5.2.4	Estatísticas de demanda de peças.....	61
5.3	DADOS ADICIONAIS ÚTEIS AO CÁLCULO DE ESTOQUES.....	62
5.3.1	Dados de mercado.....	62
5.3.1.1	<i>Hashprice média esperada.....</i>	62
5.3.1.2	<i>Custo de aquisição de uma máquina inteira em bom estado.....</i>	63
5.3.2	Dados econômicos da empresa.....	63
5.3.2.1	Custo de energia:.....	63
5.3.2.2	<i>Faturamento mensal esperado por ASIC.....</i>	64
5.3.2.3	<i>Lucro mensal esperado por ASIC.....</i>	64
5.3.2.4	WACC (Weighted Average Cost of Capital).....	64
5.3.2.5	Revenue Share.....	65
5.3.2.6	Nível de serviço.....	65
5.3.3	Dados de ASICs e peças.....	65
5.3.4	Dados de logística interna e externa.....	66
5.3.4.1	<i>Tempo de Ressuprimento.....</i>	66
5.3.4.2	<i>Lote de pedido.....</i>	67
5.4	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE ESTOQUE.....	68
5.5	CUSTOS RELACIONADOS AO MANTIMENTO DE ESTOQUE.....	71
5.5.1	Custos diretos.....	71
5.5.2	Custos indiretos de estoque.....	72
5.5.3	Custos anuais totais.....	73
5.5.4	Custos de implementação.....	73
5.5.4.1	<i>Aquisição Inicial.....</i>	74
5.5.4.2	<i>Custo anual total esperado para iniciar a operação do modelo.....</i>	75
5.5.4.3	<i>Estratégia de mitigação de custos.....</i>	76
5.6	ESTIMATIVA DE IMPACTOS DO MODELO PROPOSTO.....	77
5.6.1	Custo de oportunidade dos tempos de parada.....	78
5.6.2	Hashdelivery.....	79
5.7	ADAPTAÇÕES E CUSTOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO.....	80
5.7.1	Rotinas e processos.....	81
5.7.1.1	<i>Configuração dos espaços de inventário no sistema supervisorio... </i>	81
5.7.1.2	<i>Organização de almoxarifado.....</i>	81

5.7.1.3	<i>Rotina de registro e conferência de estoque</i>	82
5.8	ANÁLISE DA VIABILIDADE DO MODELO DE ESTOQUES	82
5.8.1	Análise da pertinência das alterações propostas	82
5.8.2	Análise da eficácia esperada pelo modelo	83
5.8.3	Avaliação por tomadores de decisão	84
5.8.4	Análise dos resultados em relação a expectativa	86
6	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES DE ESTUDOS FUTUROS	88
6.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
6.2	SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS	90
	REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo introduzir o leitor sobre o contexto em que o trabalho está inserido, os desafios que pretende abordar bem como seus objetivos.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O presente estudo trata de um assunto relativamente novo, sendo necessária uma contextualização mais estruturada para entender a relação entre o tema e a Engenharia de Produção.

Apesar de ter sido criado em 2008 por Satoshi Nakamoto, o Bitcoin demorou para que se tornasse um assunto amplamente discutido na mídia e por investidores comuns. Já a mineração, parte essencial do Bitcoin, que será discutida mais adiante, está presente desde o início da criação do ativo digital (Nakamoto, 2008), mas vem tomando escala industrial somente nos últimos anos com o surgimento das ***Application Specific Integrated Circuits (ASICs)***, a partir de 2013 (Kim, 2020).

As ASICs, por sua vez, terão uma sessão dedicada ao longo do trabalho para tratar de suas características pertinentes ao estudo. Porém, por enquanto, basta a explicação de que é por meio desses equipamentos especializados que a mineração de Bitcoin é realizada e se trata de um dos temas principais do estudo.

Dessa forma, é necessária a introdução de alguns conceitos, panoramas e explicações com o objetivo de situar o leitor. Além disso, tem-se o objetivo de demonstrar que, apesar de ser um mercado inovador, a aplicação de metodologias da Engenharia de Produção já consagradas pode ser muito benéfica para essa profissionalização e industrialização.

No atual panorama tecnológico, os *Data-Centers* assumem uma posição central como infraestruturas vitais para uma variedade de setores, impulsionados pela enorme quantidade de dados gerados e processados globalmente (Simões, 2023). Dentro desse espectro, os *data centers* dedicados à mineração de criptomoedas se destacam como uma vertente especializada, focalizada na operação de infraestrutura dedicada à mineração (leia-se validação de transações) de ativos digitais, como o Bitcoin.

Os *Data-Centers* tradicionais e os *Data-Centers* de mineração frequentemente são comparados devido a sua característica de abrigar computadores de alta potência e prestar serviços para uma rede. Porém, são indústrias com suas próprias especificidades, protocolos, máquinas e padrões e, por

esse motivo, normalmente a mineração de Bitcoin é chamada de “*Mining Farms*” e sua tradução seria “fazendas de mineração”.

Na figura 1, observa-se uma solução modular e transportável de uma mineradora americana, mas que possui operação no Brasil:

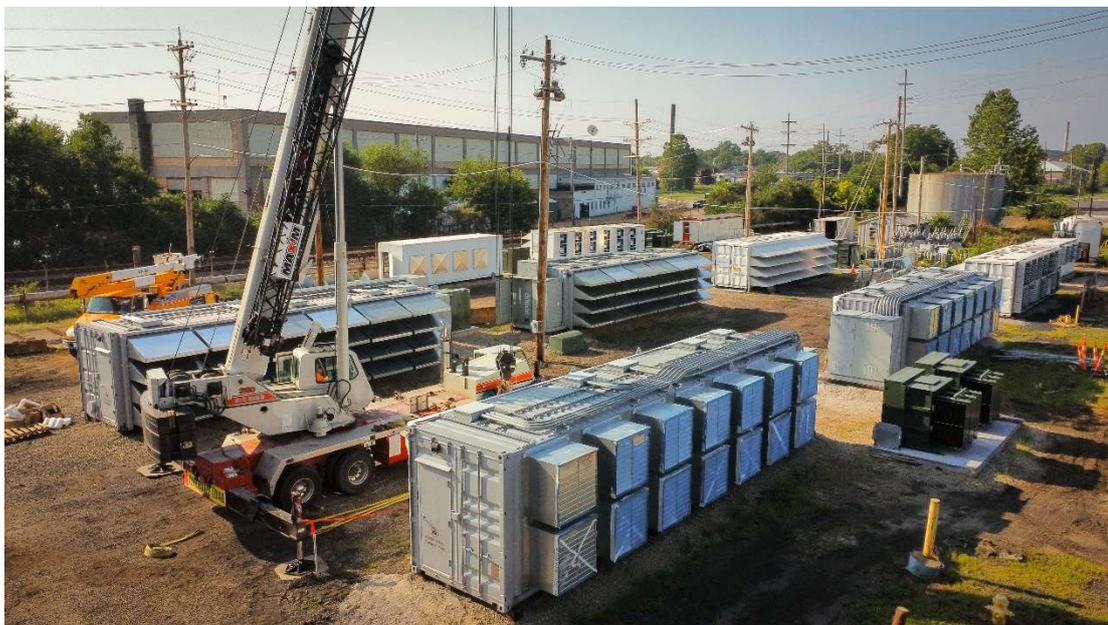


Figura 1 - Módulos de mineração de Bitcoin - Fonte: Arthur.Inc

O que começou como um sonho de dinheiro alternativo por Satoshi Nakamoto, atualmente já é moeda oficial de países como El Salvador (My First Bitcoin, 2024). Com essa crescente visibilidade e adoção de criptoativos, incentivada pelo interesse crescente de investidores institucionais e do público em geral, o mercado de mineração de criptomoedas testemunha um crescimento exponencial. No entanto, esse crescimento é acompanhado por desafios significativos relacionados à eficiência operacional, controle e manutenção das unidades de processamento especializadas (ASICs), abordadas no item 2.1.3.

Em meio a esse cenário dinâmico, ainda, o ano de 2024 é marcado pelo esperado *Halving* do Bitcoin. Esse evento, muitas vezes acompanhado por especulações e flutuações de preços, acrescenta uma camada adicional de complexidade ao ambiente de mineração, exigindo respostas ágeis e estratégias adaptativas para manter a rentabilidade e a competitividade.

Além disso, o recente atingimento do maior preço histórico do Bitcoin, juntamente com os sentimentos exacerbados do mercado, vem impulsionando a

demanda por mais poder computacional. Desde o início do presente estudo em abril de 2024 até sua finalização em dezembro do mesmo ano, tanto o preço do ativo em dólar quanto a quantidade de competidores registraram recordes. Essa pressão vem fomentando uma corrida pelas oportunidades e, ao mesmo tempo, pela sobrevivência dos mineradores inseridos nesse contexto.

Um fator agravante é a expansão acelerada da Inteligência Artificial (IA) que requer recursos semelhantes aos utilizados na mineração de criptoativos, intensificando a competição por infraestrutura de Tecnologia da Informação (TI) e fontes de energia, o que vem aumentando ainda mais a pressão sobre os participantes do mercado.

Com todos esses fatores, surge também a necessidade de direcionamentos de esforços para um negócio responsável do ponto de vista ESG (Environmental, Social and Governance). Esse fator se conecta fortemente com o setor de Data Centers no geral, mas ainda mais com a mineração de Bitcoin devido ao seu caráter altamente dependente de energia. Por esse motivo, o setor é frequentemente cobrado em relação a sua responsabilidade ambiental, mas cada vez mais, sobre seu caráter social.

Assim, o setor enfrenta o desafio constante de aprimorar suas práticas e tecnologias para maximizar a eficiência e permanecer competitivo em um ambiente em rápida evolução tendo em vista todos esses fatores. Empresas que não se adaptarem correm o risco de perder competitividade e solvência, sendo absorvidas por concorrentes maiores ou obrigadas a deixar o mercado, levando a uma maior concentração em torno de competidores mais eficientes e adaptados.

Nesse contexto, o controle e a manutenção eficazes dos meios de mineração, as *ASICs*, tornam-se críticos para garantir a rentabilidade e a sustentabilidade das operações. Apesar de ser evidente a relação direta entre qualidade operacional das *ASICs* e uma oferta de serviços de qualidade, o setor ainda não teve tempo de se profissionalizar em escala industrial. Por isso, as oportunidades de amadurecimento e profissionalização da gestão da qualidade no processo são diversas.

Em resumo, observa-se que a mineração de Bitcoin passou de uma prática limitada para uma indústria em expansão, impulsionada pela inovação tecnológica e pela crescente demanda por poder computacional. No entanto, o setor enfrenta desafios relacionados à eficiência operacional e sustentabilidade, exigindo a

adaptação das práticas de gestão para manter competitividade e viabilidade econômica. Nesse contexto, a relação entre as metodologias da Engenharia de Produção, dimensionamento e controle de estoques e o setor de mineração de criptomoedas é o tema central do estudo em questão.

1.2 JUSTIFICATIVAS

É de conhecimento geral que, empresas que não se adequam a necessidades de mercado, são rapidamente superadas e substituídas por aquelas que se preocupam com as necessidades dos clientes. Por isso, em um momento crucial de expansão do setor como apresentado, empresas que não buscarem o aumento da competitividade, serão expurgadas do mercado.

Por sua vez, a Engenharia de Produção, bem como suas áreas análogas, pode fornecer as ferramentas, a técnica e a formalidade necessárias para o aumento da qualidade bem como competitividade.

Dificuldades com processos, estratégias e melhorias são o núcleo dessa área da engenharia. Sendo assim, podem auxiliar nas áreas de melhoria de indicadores de disponibilidade da operação, rotinas de manutenção e também definição de políticas de qualidade da empresa.

Como já mencionado anteriormente, a mineração de criptomoedas se trata de um setor relativamente novo, tendo-se industrializado somente nos últimos anos. Por esse motivo, ainda não houve tempo para que essas técnicas fossem aplicadas com todo seu potencial. Isso demonstra um enorme leque de possibilidades de inserção de ferramentas e rotinas relativamente simples, mas com alto potencial de fortalecimento das operações. Por sua vez, a otimização do desempenho das operações de mineração implica a satisfação do cliente, uma vez que o faturamento dos clientes está diretamente atrelado ao desempenho dos processadores como será demonstrado mais adiante.

Por fim, a melhoria operacional impacta diretamente na satisfação dos clientes, que, caso os interesses não sejam contemplados no contexto estratégico da operação, migram para concorrentes melhor adaptados no mercado. Portanto, essa dinâmica entre a necessidade de adaptação e as áreas de atuação da Engenharia de Produção demonstra uma oportunidade de aumento de competitividade de melhoria do setor.

Observando do ponto de vista diretamente operacional, a intervenção na baixa eficiência dos equipamentos está diretamente ligada à responsabilidade ambiental dadas as proporções de consumo de eletricidade do setor. Ao direcionar esforços para o aumento de disponibilidade de máquinas e sua operação adequada a empresa não só aumenta sua eficiência energética, mas também contribui com objetivos *ESG*.

Portanto, as justificativas para o desenvolvimento do presente estudo podem ser resumidas nos tópicos abaixo:

- A crescente competitividade do mercado exige um amadurecimento e busca por qualidade nos serviços oferecidos para que empresas se mantenham competitivas.
- O aumento da satisfação do cliente por meio da melhoria do serviço gera competitividade.
- A redução dos desperdícios em busca de aumento do faturamento de clientes, por sua vez, aumenta a satisfação.
- O setor de mineração de criptomoedas, ainda em fase inicial de industrialização, demonstra grande potencial para implementação de melhorias operacionais por meio de métodos já consagrados da Engenharia de Produção.

1.3 PROBLEMA E QUESTÃO DE PESQUISA

No centro de todo esse cenário, as *ASICs* se tornam o palco de atuação principal dos mineradores que estão buscando sobrevivência, uma vez que são responsáveis diretas pelo faturamento. Com uma grande quantidade de modelos, potências e confiabilidades diferentes disponíveis para serem escolhidas pelos mineradores, é de suma importância a definição de estratégias e processos em busca de melhorias da qualidade das máquinas.

Semelhantemente aos carros na indústria automobilística, as *ASICs* necessitam de revisões, manutenções preventivas, corretivas, inspeções e muitas outras formalidades já conhecidas e implementadas pelas indústrias tradicionais. Porém, por se tratar de uma indústria emergente, essa necessidade de formalismo é latente e deve ser explorada.

Por sua vez, os processos atuais de ações preventivas, ações corretivas, inspeções e outras interfaces operacionais são precários ou até mesmo inexistentes,

gerando ineficiência e indisponibilidades dos processadores. Essa perda de eficiência por falta de gerenciamento da qualidade e processos gera a insatisfação dos clientes, uma vez que impacta diretamente seu faturamento. Essa insatisfação, aliada a necessidade de compensar pelas perdas operacionais, não só impactam o faturamento direto das empresas mineradoras, como geram incentivos para que os clientes busquem alternativas melhores no mercado.

Por esses motivos, é de suma importância a profissionalização e a gestão da qualidade e processos dentro da indústria de mineração de Bitcoin como um todo. Porém, especificamente tratando-se de *ASICs* e sua operação eficiente, há uma grande possibilidade de amadurecimento e aplicação de técnicas da Engenharia de Produção.

O estudo em questão focará em ferramentas e métodos para a facilitação e otimização das manutenções das *ASICs*, principal ponto que impacta a operação eficiente. Ao reagir mais rapidamente aos problemas comuns, reduz-se o tempo de parada ou de baixo desempenho desses equipamentos, reduzindo assim a ineficiência das máquinas e aumentando o *Hashdelivery* (indicador definido na seção de indicadores) total da operação.

Por isso, o trabalho em questão visa desenvolver as seguintes questões:

- I. Como o foco em eficiência operacional pode contribuir para a competitividade de mercado em empresas de mineração de Bitcoin?
- II. Quais melhorias operacionais podem colaborar para aumentar a satisfação do cliente em relação ao serviço?
- III. Qual o nível ideal de estoques de peças de *ASICs* necessário para garantir o aumento de disponibilidade das operações de mineração?
- IV. Quanto custa implementar parâmetros de estoque que melhoram os indicadores operacionais?
- V. Quais são os processos e rotinas necessárias para que o controle de estoque e processos correlatos sejam mantidos em uma operação de mineração?

1.4 OBJETIVOS

Os objetivos do presente estudo podem ser separados entre objetivos gerais e específicos como observado abaixo.

1.4.1 Objetivos gerais

O presente estudo visa aumentar a competitividade de mercado de empresas de mineração de Bitcoin por meio de aumento de disponibilidade do serviço. Esse aumento de disponibilidade tem como meio, principalmente, a implementação de modelos de estoques otimizados reduzindo os tempos de paradas associados bem como os custos de oportunidade relacionados.

1.4.2 Objetivos específicos

São os seguintes os Objetivos Específicos do presente estudo:

1. Propor um modelo de estoques com o objetivo de aumentar a disponibilidade e eficiência das operações de mineração.
2. Implantar as soluções propostas para a otimização das operações do processo produtivo de mineração.
3. Avaliar os impactos esperados do modelo nos indicadores operacionais
4. Validar o modelo proposto por meio de especialistas da área.

1.5 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Como será apresentado mais adiante, as dificuldades operacionais de empresas de mineração advêm de uma série de fatores devido a características específicas do mercado. Esse fato, aliado ao caráter inovador do negócio, torna praticamente inviável declarar que todas as dificuldades operacionais têm raiz em um único processo ou característica.

Dito isso, é necessário escolher um ponto de atuação que permita um maior retorno com o mínimo de tempo e esforço possível. Por isso, o estudo em questão limita-se a atuação na área de produção da empresa, mais especificamente na área de manutenção das *ASICs* com o objetivo de aumento de disponibilidade operacional desses equipamentos.

Ainda assim, como será exposto mais adiante, a empresa em questão apresenta uma expansão considerável nos últimos anos, tendo expandido para múltiplas localidades de mineração. Inerentemente a expansão, cada localidade e time operacional possui suas características específicas bem como dificuldades. Por isso, é necessário também a delimitação de atuação a uma localidade e grupo específico para que a atuação seja personalizada e efetiva para dada situação. Portanto, o presente estudo limita-se a análise dos dados de manutenção da

principal localidade operacional da empresa no nordeste dos Estados Unidos da América (EUA).

Além disso, a análise será limitada ao modelo de máquina mais comum utilizado na empresa (denominada Linha A à fim de preservar a característica da frota da empresa), que é também um modelo consagrado no mercado de mineração. Embora o modelo desenvolvido possa ser facilmente reproduzido para outros tipos de máquinas ou localidades, a opção de delimitar a análise a esses parâmetros neste momento visa otimizar o processo e garantir uma abordagem mais focada e eficaz, aumentando as chances de sucesso da intervenção proposta.

Outro fator inerente ao cálculo de estoques adequados é a previsão de demanda por peças. O presente estudo não possui a pretensão de estabelecer modelos complexos de previsão dessa demanda, assumindo a forma simplificada de média dos períodos de verão e inverno. Essa escolha se justifica tanto pela necessidade de direcionamento do estudo quanto pelo fato de que solução de estoques não existe atualmente na empresa para esse caso, representando assim uma melhoria mesmo que sem uma previsão precisa das demandas por peças.

Dito isso, o presente estudo se limita a atuação em uma das operações no nordeste dos Estados Unidos, sendo a operação mais antiga e uma das maiores em quantidade de ASICs, especificamente no modelo mais comum de máquina. Essa operação já possui um sistema de coleta de indicadores, bem como operadores locais experientes, o que, juntos, tornam uma intervenção possível e mais assertiva.

1.6 INSERÇÃO DO TEMA NA ÁREA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Como apresentado até o momento, apesar de ser um mercado relativamente novo, uma empresa de mineração de Bitcoin não difere muito de outras indústrias já conhecidas. Uma empresa nesse setor possui algumas das mesmas dificuldades e riscos presentes em outras indústrias altamente dependentes de *Capital Expenditure* (CAPEX) e está exposta as forças e riscos de mercado como qualquer outra empresa competitiva.

Por se tratar de um setor em plena expansão e criando maturidade, diversas oportunidades surgem e continuarão surgindo para a implementação de técnicas consagradas. Podendo elas serem administrativas, operacionais, táticas e estratégicas há a oportunidade de aproveitamento de diversas áreas do conhecimento, não somente da Engenharia de Produção.

Por isso, os conceitos, as ferramentas e as estratégias da Gestão da Qualidade no Processo, tema inserido na subárea de Engenharia da Qualidade da área da Engenharia de Produção, podem ser úteis e pertinentes em uma empresa que busca o amadurecimento e uma maior competitividade de mercado.

O presente estudo focou na utilização de técnicas e conceitos de gestão da cadeia de suprimentos bem como gestão de processos para a criação de um modelo de estoque de peças de ASICs visando aumento de competitividade. Atuando, mais especificamente no dimensionamento de estoques de segurança, pontos de pedido e processos gerais auxiliares necessários a gestão efetiva desses estoques.

As ferramentas propostas, apesar de serem conceitos relativamente simples da profissão, trazem melhorias mais do que necessárias para uma empresa em um mercado em rápido desenvolvimento. Dessa forma, no estudo foi proposto soluções simples e conhecidas pela indústria, porém inseridas num contexto tecnológico novo, com crescente relevância e com seus próprios desafios específicos.

1.7 ESTRUTURA DO TEXTO

O estudo se inicia com uma breve introdução do contexto atual e relevância da mineração de Bitcoin (capítulo 1), explicando como isso se relaciona com *Data Centers* e também com a Engenharia de Produção. Ainda no início, expõe as justificativas do desenvolvimento do trabalho, bem como os objetivos, delimitações e resultados esperados.

No capítulo seguinte (capítulo 2), foi realizada uma revisão de literatura com o objetivo de explicitar os principais conceitos associados ao desenvolvimento de trabalho. Nessa etapa, tratou-se de conceitos como Gestão da Qualidade, aspectos relacionados a manutenção e também sobre o Bitcoin e suas características.

Já o capítulo de metodologia (capítulo 3) visa caracterizar o tipo de estudo científico bem como as ferramentas necessárias para o mesmo. Ainda nesse capítulo, foram tratados dos indicadores necessários a avaliação do modelo bem como outros úteis a compreensão do cenário.

O capítulo de suporte prático (capítulo 4) visa contextualizar outras características e fatos relevantes ao desenvolvimento do modelo. São discutidos aspectos como o modelo de negócio da empresa, sua forma de remuneração, fatores que impactam a rentabilidade e a conexão desses fatores com a proposta do

trabalho. Também são tratados conceitos específicos de dimensionamento de estoques e a sua relação com a situação singular na empresa.

O capítulo 5 destina-se ao desenvolvimento e aplicação do modelo de estoques proposto. Nele, são explicitados os cálculos necessários para os dimensionamentos, bem como uma revisão da pertinência das proposições e uma análise dos impactos nos indicadores operacionais. Essa fase se encerra com a discussão das alterações de rotinas e processos necessários a implementação e suporte do modelo proposto bem como uma análise da viabilidade, incluindo a avaliação por especialistas na área.

O último capítulo destina-se a conclusão do estudo, sendo voltado para a recapitulação de algumas questões levantadas nos capítulos iniciais. Foi destacada a relevância do dimensionamento de estoques, a necessidade de melhoria imposta pelo momento de mercado e as melhorias esperadas com essa evolução. Foram retomados também os resultados obtidos, fatores apontados pela análise de viabilidade e alinhamento das soluções propostas com os objetivos estratégicos da empresa. Ainda, foram destacados possíveis estudos futuros envolvendo o contexto apresentado pelo trabalho.

"You can't stop things like Bitcoin. It will be everywhere, and the world will have to readjust." – John McAfee, 2017

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesse capítulo serão trazidos os conceitos e termos importantes para o desenvolvimento do trabalho, tanto do ponto de vista de Gestão da Qualidade no Processo quanto diretamente sobre Mineração de Bitcoin.

2.1 GESTÃO DA QUALIDADE NO PROCESSO

A qualidade, segundo a Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT), é definida como sendo a totalidade de características de uma entidade que lhe confere a capacidade de satisfazer as necessidades explícitas e implícitas (ABNT, 1994, p. 3). Adicionalmente, para Paladini (2019), qualidade é um conceito dinâmico e multidimensional que se refere à capacidade de um produto, serviço ou processo atender às expectativas e necessidades de seus usuários, clientes ou organização. Ela envolve a implementação de métodos, processos e ferramentas que garantem a eficiência, consistência e melhoria contínua, sendo avaliada pela eficácia dos resultados obtidos.

Já a gestão da qualidade segundo Paladini (2010) é definida como “o conjunto de estratégias que, organizadamente desenvolvidas, visam produzir qualidade em processos, produtos e serviços” ou também sintetizado como o equilíbrio entre o uso otimizado de recursos e a satisfação dos objetivos estratégicos, táticos e operacionais, resultando em um desempenho que agrega valor e gera impacto positivo (Paladini, 2019).

Por sua vez, a relação da mineração de Bitcoin e a gestão da qualidade, ocorre principalmente a nível operacional, visto que é precisamente nesse nível em que corporações possuem maior potencial de melhoria do ponto de vista de melhoria da qualidade (Cruz, 2020). Por isso, com esse foco operacional em mente, é importante acompanhar os requisitos da qualidade, sendo eles definidos como a expressão quantitativa ou qualitativa das necessidades desses mesmos usuários (ABNT, 1994).

Em relação ao processo de melhoria da qualidade, segundo Juran (1998) são necessárias três fases: planejamento da qualidade, controle da qualidade e melhoria da qualidade, cada uma com suas próprias etapas. Mas outro modelo também proposto por Juran (1998) divide os custos em 4 categorias (Gomes, 2004) e pode ser muito útil para justificar intervenções para a alta gestão da empresa segundo Lopes (2014).

São as categorias de custo da qualidade propostas por Juran (1998):

- I. Custos de falhas internas;
- II. Custos de falhas externas;
- III. Custos de avaliação;
- IV. Custos de prevenção;

Segundo Forker et al (1996), qualidade é o meio para criação de vantagem competitiva nas empresas e, vantagem essa que por sua vez trará aumento de *performance*. E, por sua vez, o objetivo da melhoria da qualidade é a criação de vantagem competitiva, definida por Porter (1985) como a capacidade das organizações de criar uma vantagem duradoura frente aos seus concorrentes.

Dessa forma, entende-se a Gestão da Qualidade como de caráter estratégico da empresa, podendo impactar seu posicionamento de mercado e competitividade, sendo pré-requisito para o sucesso de empresas em um mercado global segundo Forker (1996).

2.2 ASPECTOS PRÁTICOS RELACIONADOS À MANUTENÇÃO

Uma das oportunidades de melhoria da qualidade identificadas é a atuação nas manutenções das *ASICs* com o objetivo de aumento do tempo de disponibilidade dos equipamentos. Portanto, tratando-se das ferramentas e técnicas da qualidade, uma das oportunidades é a criação de processos e medidas para as diferentes manutenções envolvendo os equipamentos de mineração. As ações úteis para a compreensão são listadas no próximo item:

2.2.1.1 *Ações preventivas*

Ações preventivas têm sua principal característica o momento de realização, sendo realizadas previamente ao acontecimento de uma não-conformidade. Portanto, uma ação preventiva é “[...] todo o serviço de manutenção realizado em máquinas que não estejam em falha, estando com isto em condições operacionais [...]” segundo Engefaz (2024).

2.2.1.2 Ações corretivas

Já as manutenções corretivas são aquelas que ocorrem quando uma máquina já apresenta falha segundo Engfaz (2024). Essas mudanças podem ocorrer em qualquer fase dos processos, mas sendo diferente da ação preventiva devido ao momento que ocorrem em relação ao problema.

2.2.1.3 Disponibilidade

Segundo Sant'Ana (2020) “[...] a disponibilidade mostra o tempo em porcentagem que determinado equipamento ficou disponível [...] deve ser levado em consideração os tempos de manutenção preventivas [...]”.

Portanto, calcula-se a disponibilidade segundo Sant'Ana (2020) como:

$$\text{Disponibilidade em \%} = \frac{\text{Tempo programado} - \text{Tempo disponível}}{\text{Tempo programado}} \cdot 100$$

Ainda, segundo Engfaz (2024) uma definição mais breve de disponibilidade é “[...] a capacidade de um item ou equipamento estar apto para utilização durante um período de tempo ou no momento em que é solicitado”.

2.3 O BITCOIN E A MINERAÇÃO

O Bitcoin não é somente um ativo digital, é também uma tecnologia com diversas outras tecnologias como criptografia de ponta, *Blockchain*, *Tokens* e outras. Existem diversos e muito mais completos materiais na internet que podem explicar o seu imenso potencial melhor do que o que poderia ser incluído em um trabalho acadêmico com o propósito desse. Por esse motivo, será exposto somente o mínimo necessário para que seja possível entender sua conexão com o objetivo de estudo.

2.3.1 O que é o Bitcoin

Em seu artigo, considerado o nascimento do Bitcoin, Satoshi Nakamoto define o Bitcoin como “*A Peer-to-Peer Eletronic Cash System*”. A interpretação disso para o português seria algo como “Um sistema de dinheiro eletrônico de par para par”. É também uma moeda digital, fungível, limitada, descentralizada e com a capacidade de ser transacionada sem a necessidade de confiança em um terceiro, por meio da sua própria rede (Nakamoto, 2008). Talvez a maior revolução trazida

pelo Bitcoin, seja ter tornado possível realizar transações como as efetivadas em dinheiro em espécie, que acontecem entre pessoas comuns, porém, pela internet e de maneira privada (Valkenburgh, 2022).

O próprio fato de ser possível transacionar sem a necessidade de confiar em um terceiro é o que faz a conexão com o trabalho em questão. Para que esse benefício seja possível, foi necessária a introdução do conceito de “*Proof of Work*” que nada mais é do que a necessidade de existir um esforço computacional relevante para que se participe da rede e valide as transações (My First Bitcoin, 2024, p. 157).

Em seu artigo de apresentação do Bitcoin, Nakamoto (2008) explica que esse esforço computacional é um grande investimento de tempo, energia e cálculo para resolver problemas criptográficos cada vez mais complexos. Essa provação ou esforço, tem como objetivo desequilibrar a balança de incentivo para agir contra o sistema por meio da imposição de uma barreira de tempo e custo. Em contrapartida, quem se junta a rede e colabora, recebe recompensas, que são os próprios Bitcoins em troca da sua colaboração.

Precisamente devido a imposição dessa barreira de trabalho e, em contrapartida, a recompensa para os usuários legítimos é que o sistema se torna cada vez mais robusto e gera o uso de máquinas cada vez mais potentes e especializadas (Nakamoto, 2008).

2.3.2 Mineração de Bitcoin

O termo mineração faz referência ao ato de “quebrar” o próximo bloco da *Blockchain* do Bitcoin e é também uma analogia comparada a mineração do ouro. Os blocos são um conjunto de transações de Bitcoin que são agrupados em quantidades específicas para que sejam validados pela rede e mineradores. Por meio da validação desses blocos e da prova de trabalho, mineradores são recompensados em parcelas do criptoativo (Nakamoto, 2008).

Para manter o caráter de não confiança em um terceiro, uma das propostas do Bitcoin, a validação dos blocos não é atribuída a um minerador específico, ao invés disso, é uma grande corrida ou competição. As transações, ou seja, pagamentos, são postados em uma rede pública e são compiladas pelo algoritmo enquanto todos os mineradores da rede competem para validar o bloco antes dos outros (Nakamoto, 2008). Somente o minerador que encontrar a chave que valida o

bloco receberá a recompensa monetária do bloco e essa é uma característica importante para a rede.

A validação dessas transações é aceita quando o minerador quebra a criptografia do bloco por meio de força bruta, provando que as transações são verdadeiras por meio de esforço (*Proof of Work*). Isso demonstra para a rede que o bloco pode ser adicionado a sequência de blocos já validados denominada “*Chain*” no artigo de Nakamoto, mas, depois, conhecida como *Blockchain*. Quando esse conjunto de transações é validado ele é transmitido para que a rede possa conferir sua validade e o bloco é adicionado a sequência, iniciando-se o processo de adicionar o próximo (My First Bitcoin, 2024, p. 130).

Por design e para equilibrar a balança de incentivos, o algoritmo de rede ajusta a dificuldade de validar o bloco por meio de força bruta constantemente (Nakamoto, 2008). Esse ajuste tem como objetivo manter o tempo necessário de validação sendo de aproximadamente 10 minutos em média, independentemente de qual o poder computacional global sendo empregado naquele momento (My First Bitcoin, 2024, p. 130). Por isso, é evidente que a dificuldade aumentará caso mais competidores entrem no mercado, mas não a quantidade de blocos validados em um dia, mantendo o número de blocos em aproximadamente 6 por hora, portanto 144 blocos diários em média.

A figura 2 mostra a *Blockchain*, o tempo estimado para os blocos seguintes e o tempo que foi realizado os anteriores (interessante observar que os dois blocos anteriores não têm 10 minutos entre si, o que reforça a ideia de que são em média 6 blocos por hora). Já a figura 3 traz uma visão interna do bloco, com todas as transações que o compõe e alguns outros dados técnicos.



Figura 2 - Blocos da Mempool - Fonte: Mempool



Figura 3 - Transações dentro de um bloco - Fonte: Mempool

No início, próximo ao ano de 2009, a mineração de Bitcoin era feita com computadores residenciais simples, CPUs como esperado por seu criador (Kim, 2020). Com o passar dos anos e o ganho de popularidade do ativo, essa atividade começou a se tornar mais economicamente atrativa e incentivar o uso de computadores mais eficientes e potentes, gerando uma corrida pelo equipamento ideal para a mineração e aumento do poder computacional da rede (Kim, 2020). O que antes era realizado com computadores, começou a dividir lucros com computadores industriais, depois placas gráficas (GPUs) e depois placas gráficas especializadas e hoje em dia é dominado pelas máquinas especializadas denominadas ASICs (Tomatsu; Han, 2023).

Na figura 4 é possível observar o crescimento do poder computacional da rede do Bitcoin ao longo do tempo e a crescente competição enfrentada pelos mineradores segundo Mempool (2024).



Figura 4 - Crescimento da rede do Bitcoin ao longo dos anos - Fonte: Mempool

2.3.3 ASICs e sua função na mineração de Bitcoin

Hoje ainda é possível minerar com quase qualquer tipo de computador, sendo necessário somente uma conexão com a internet e uma fonte de energia. Porém, devido à alta competitividade da rede, quase que a totalidade dos computadores disponíveis para o público não são capazes de ser eficientes o suficiente para que seja atrativo minerar segundo o site de cálculo de lucratividade *ASIC-Miner-Value* (2024). Os computadores comuns gastariam mais recursos em energia do que seriam capazes de gerar em formato de Bitcoin e, por esse motivo, a mineração foi se profissionalizando ao longo dos anos em busca de diferencial competitivo de eficiência.

Na figura 5 observa-se o crescimento da dificuldade de rede e a sua relação com o desenvolvimento de *ASICs* cada vez mais potentes.

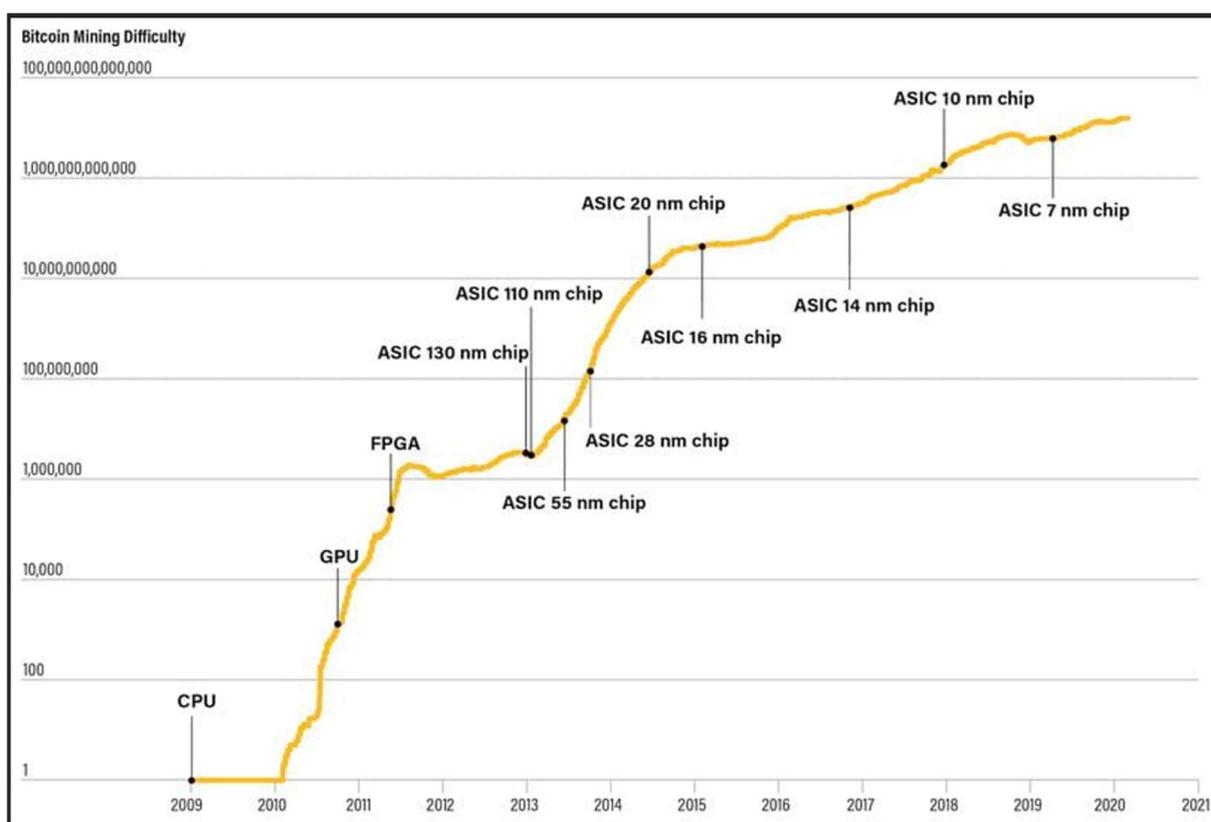


Figura 5 - Novas máquinas comparadas a dificuldade de rede

O panorama atual de mineração é tomado por máquinas potentes e eficientes, conhecidas com *ASICs* (*Application-Specific Integrated Circuit*) operando em locais onde o custo de energia é muito mais barato do que a disponível comercialmente segundo a matéria do Valor econômico de Bomfim (2024). A soma

desses fatores faz com que os mineradores amadores, com pouco volume para negociação de máquinas e energia, sejam empurrados para fora do mercado gradualmente, uma vez que o mercado de mineração é baseado em eficiência dos mineradores (Dimitri, 2017). O mesmo acontece com os mineradores profissionais menos eficientes, a competição aumenta a cada dia, novas máquinas mais potentes e eficientes são inventadas e o mercado é dominado pelo competidor mais apto (Dimitri, 2017).

Na figura 6 observa-se um exemplo de *ASIC*, um modelo S19 J PRO. Já na figura 7 é possível observar a diferença entre o custo de energia médio do mercado americano em dólar segundo Luxor (2024) e o custo de energia praticado pela mineradora (US\$ 40 por MWh) mencionado por Bomfim (2024).



Figura 6 - Exemplo de *ASIC* modelo S19 J Pro (Fonte: Bitmain)

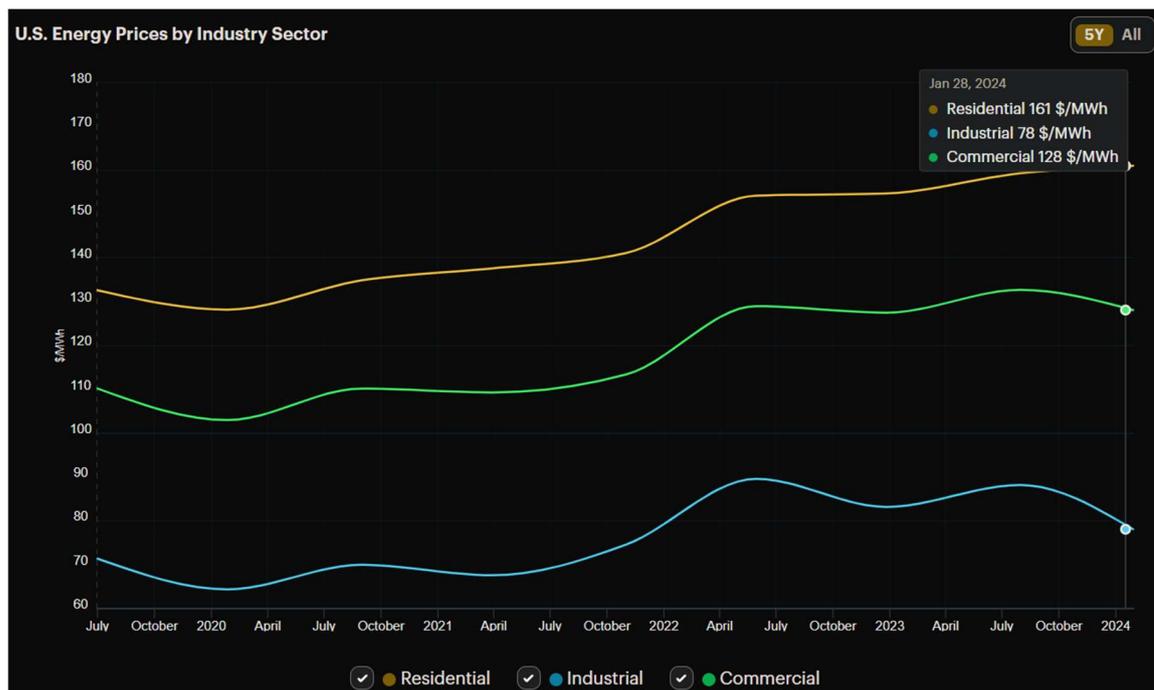


Figura 7 - Custo de energia do mercado americano dos últimos 5 anos

2.4 ESTOQUES

A definição de estoque segundo Love (1979) é “[...] qualquer quantidade de produtos ou materiais, sob controle da empresa, em um estado relativamente ocioso, esperando por seu uso ou venda.” Portanto, podendo ser compreendido tanto por produtos acabados, quanto por peças de reposição para determinados equipamentos como é o caso do estudo em questão. Por sua vez, alterações nas políticas de estoque “[...] podem afetar drasticamente a eficiência e responsividade da cadeia logística” segundo Chopra (2019).

2.4.1 Papel dos Estoques

Os estoques existem devido a necessidade das organizações de lidar com as variações de demanda normais dos negócios, sendo improvável a previsão da demanda exata de um produto ou serviço em 100% dos casos (Chopra, 2019). Ainda segundo o autor o recurso de estoques pode ser utilizado tanto para redução dos custos de produção por meio de lotes econômicos, bem como o aumento da disponibilidade dos produtos na ponta consumidora.

2.4.2 Parâmetros decisórios do estoque

Segundo Chopra (2019) o dimensionamento correto dos estoques é um equilíbrio entre eficiência e responsividade, sendo necessário equalizar os custos

relacionados ao resultado pretendido. Para isso, é necessário a tomada de decisão sobre alguns fatores relacionados ao serviço e estoques em si, como será visto adiante (o aprofundamento dos conceitos será tratado no capítulo de suporte prático de forma a relacionar os conceitos com a realidade de uma empresa). Segundo o autor, esses parâmetros são:

- **Estoque Cíclico:** Parcela destinada a satisfazer a demanda entre ressuprimentos.
- **Estoque de Emergência:** Parcela dimensionada para absorver as variações de demanda.
- **Nível de serviço:** Fração da demanda que deve ser suprida pelos estoques.
- **Outras métricas de estoque:** Como inventário médio ao longo do tempo, lote médio de pedido e custo dos inventários.

"Bitcoin is a tool for freeing humanity from oligarchs and tyrants, dressed up as a get-rich-quick scheme." – Naval Ravikant, 2017

3 METODOLOGIA

Este capítulo tem a função de apresentar os métodos da pesquisa adotada bem como suas características relevantes.

3.1 CARACTERIZAÇÃO CIENTÍFICA DO ESTUDO

O presente estudo tem como objetivo a realização de uma pesquisa ação por meio de análises quantitativas e qualitativas em uma empresa de mineração de Bitcoin. Subsequentemente, será realizada uma análise de viabilidade das soluções propostas de modo a validar sua relevância. Para isso, é necessário compreender as seguintes metodologias abaixo descritas.

3.1.1 Pesquisa-Ação

Segundo (Tripp, 2005) “pesquisa-ação é uma forma de investigação-ação que utiliza técnicas de pesquisa consagradas para informar a ação que se decide tomar para melhorar a prática”. Ainda, a pesquisa ação pode ser definida como “pesquisa voltada para a descrição de situações concretas e para a intervenção ou a ação orientada em função da resolução de problemas efetivamente detectados nas coletividades consideradas” segundo Thiollent (1947). Portanto, é um ciclo de ação e investigação, como pode-se observar em seu ciclo ilustrado fornecido pelo autor na figura 8:

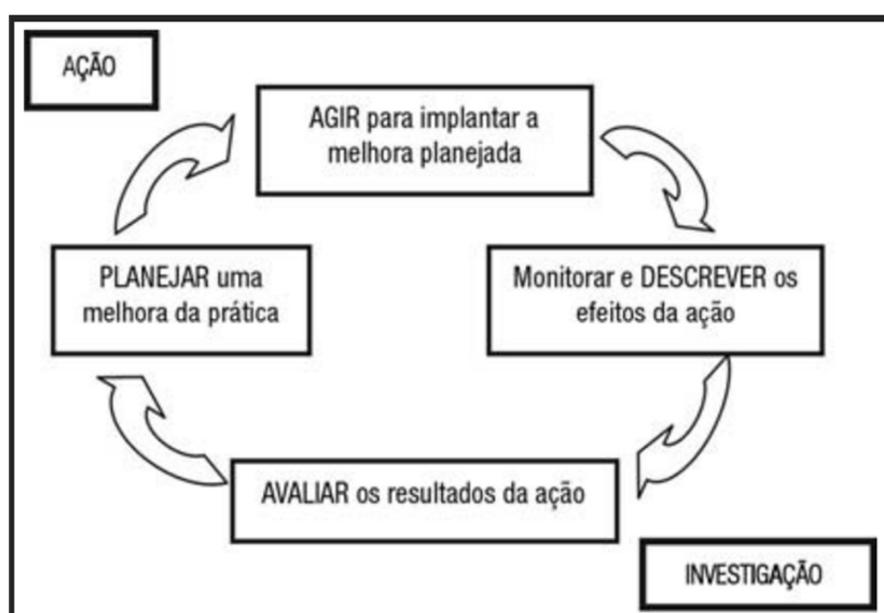


Figura 8 - Ciclos da investigação ação (Tripp, 2005)

3.1.2 Abordagem qualitativa e quantitativa

Segundo Günther (2006), uma abordagem metodológica em um trabalho acadêmico é crucial para definir como a pesquisa será conduzida, orientando os processos de coleta, análise e interpretação de dados. Ainda, segundo o autor “ambas as abordagens têm suas vantagens, desvantagens, pontos positivos e pontos negativos, considerando que o método escolhido deve se adequar à pergunta de uma determinada pesquisa”.

A pesquisa qualitativa em si “[...] não se preocupa com representatividade numérica, mas, sim, com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização, etc.” (Gerhardt, 2009, p. 33). Já a pesquisa quantitativa segundo Fonseca (2002) em relação aos dados “[...] os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados [...] A pesquisa quantitativa se centra na objetividade [...] recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros.”.

3.1.3 Análise exploratória dos dados coletados

Segundo Günther (2006), seguido da coleta de dados por alguma técnica, é de praxe uma análise com objetivo de interpretação dos mesmos. Essa análise exploratória, segundo Medri (2011) tem como objetivo “[...] obter dos dados a maior quantidade possível de informação, que indique modelos plausíveis a serem utilizados numa fase posterior [...]”. Posto isso, será realizado uma análise exploratória dos dados fornecidos pela empresa em busca de informações que possam ser úteis a otimização do processo e Gestão da Qualidade.

3.1.4 Análise de viabilidade

Já a análise de viabilidade também pode fazer parte da mesma pesquisa ação “[...] as técnicas de pesquisa devem atender aos critérios comuns a outros tipos de pesquisa acadêmica (isto é, enfrentar a revisão pelos pares quanto a procedimentos, significância, originalidade, validade etc.)” (Tripp, 2005). Dessa forma, pretende-se submeter os resultados do presente estudo a avaliação de viabilidade por parte de membros da empresa especialistas no setor. Com essa apresentação e avaliação, tem-se o intuito de validar que as sugestões de melhoria

têm mérito e poderiam fornecer valor aos processos e desafios enfrentados pela empresa.

3.1.5 Métodos adotados

Tendo em vista as definições apresentadas e as características gerais do presente trabalho, classifica-se este estudo como uma pesquisa ação, uma vez que se busca investigar o contexto de uma empresa de mineração de Bitcoin e propor uma solução de melhoria. Além disso, é de cunho quantitativo avaliando o ponto de vista do cliente e das necessidades de mercado e qualitativa quando analisados os modelos de dimensionamento de estoque e seus parâmetros.

3.2 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Para o desenvolvimento efetivo e claro do presente trabalho, faz-se necessário a adequada organização e planejamento das etapas de pesquisa. O processo geral consta abaixo:

1. **Coleta de Conceitos:** Esta etapa envolve reunir informações teóricas e práticas necessárias para compreender o problema. A base conceitual será extraída de revisões bibliográficas e estudos de caso que ajudarão a fundamentar as possíveis soluções.
2. **Explicação dos Conceitos Setoriais:** Aqui, serão descritos os conceitos específicos do setor de mineração de criptomoedas, como uso de ASICs, consumo de energia, além de metodologias de Engenharia de Produção aplicáveis.
3. **Análise de Pontos de Atuação na Empresa:**
 - a. **Diálogos com Lideranças:** As lideranças da empresa fornecerão insights valiosos sobre os principais desafios enfrentados nos processos e na gestão. Essa etapa, bem como as outras do item 3, já foi realizada principalmente durante o estágio obrigatório do autor nessa mesma empresa, não sendo o foco do estudo, mas, ainda fazendo parte do seu processo.

- b. **Conversa com Operadores:** O contato direto com operadores de campo permitirá identificar falhas operacionais e pontos de melhoria. Eles, apesar de não necessariamente possuírem o conhecimento e instrução do ponto de vista de Engenharia de Produção, possuem o conhecimento empírico de anos de atuação, sendo indispensável para a proposição de melhorias de fato pertinentes.

- c. **Formalização das Dores:** Será realizada uma síntese das dificuldades enfrentadas pela área de produção, baseando-se nas informações coletadas.

4. Definição da Área de Atuação:

- a. **Fontes de Dados:** Identificação e análise de relatórios de manutenção como fonte primária de dados para definir onde uma possível intervenção traria mais resultados.

- b. **Segmentação da Atuação:** Divisão do foco da pesquisa nas áreas mais críticas, permitindo uma abordagem direcionada. Fez parte dessa segmentação, não só a localidade geográfica, como também por modelo mais comum de ASIC e das manutenções relevantes para a criação de estoques.

5. Coleta de Dados Específicos:

- a. **Coleta de Dados Brutos:** Recolhimento de informações diretamente dos sistemas da empresa, como relatórios de paradas e falhas. Essa extração de dados foi possível devido a implementação do sistema de coletas implementado durante o estágio obrigatório. Porém, a coleta traz diversos outros dados não necessariamente úteis a análise em questão.

- b. **Tratamento dos Dados:** Prosseguiu-se com o tratamento e preparação dos dados para análise, garantindo que estejam em formato adequado bem como excluídas informações não pertinentes ao estudo.

6. Análise dos Dados:

- a. **Segmentação de Resultados:** Identificação dos principais problemas relacionados a ASICs, tendências de quebra, conjunto de manutenções com necessidade de peças e outras tendências.
- b. **Análise de custos relacionados as paradas:** Análise do custo direto de indisponibilidade do estado atual das operações e o quanto isso impacta indiretamente o faturamento da empresa e dos clientes.

7. Desenvolvimento de Soluções:

- a. **Plano de Ação para aumento de disponibilidade:** Priorização das principais intervenções para aumentar a disponibilidade, otimizando a produção.
- b. **Dimensionamento dos estoques:** Definição dos níveis ideais de estoque, pontos de pedido e lotes para garantir o fluxo de produção de forma a reduzir as paradas por falta de peças.
- c. **Sistema de Controle de Inventário:** Criação de um sistema de monitoramento e controle de peças, para evitar faltas e sobras, bem como outros processos adjacentes necessários a implementação do modelo.

8. Análise de viabilidade:

- a. **Análise de Especialistas:** As soluções propostas serão revisadas por especialistas, assegurando que sejam viáveis e alinhadas às melhores práticas do setor e que serão relevantes para a companhia.

Observa-se que a metodologia proposta visa não apenas diagnosticar os problemas operacionais, mas também criar soluções práticas e aplicáveis. As etapas descritas permitem uma visão estruturada do processo de melhoria contínua, garantindo que as intervenções sejam direcionadas, eficientes e contribuam para a otimização das operações da empresa.

3.2.1 Indicadores:

A utilização de indicadores na análise de dados operacionais desempenha um papel fundamental na avaliação e no aprimoramento contínuo das operações de uma empresa. Esses indicadores fornecem métricas tangíveis que permitem aos gestores e analistas compreenderem o desempenho atual, identificar áreas de oportunidade e orientar decisões estratégicas. Ao medir aspectos como eficiência, produtividade, qualidade e custos, os indicadores proporcionam uma visão clara e objetiva do funcionamento interno da organização.

No contexto de melhorias propostas, a análise detalhada desses indicadores é crucial para determinar a viabilidade e o impacto potencial das mudanças planejadas. Por meio da comparação de dados antes e depois da implementação das melhorias, é possível quantificar melhorias de desempenho, otimização de recursos e, conseqüentemente, a eficiência operacional. Essa abordagem baseada em dados não apenas valida as decisões estratégicas, mas também ajuda a empresa a priorizar investimentos e recursos de forma mais assertiva, maximizando os resultados positivos para todas as partes envolvidas.

3.2.1.1 *Hashdelivery*

No setor de mineração de criptomoedas, um dos indicadores é o "Hashdelivery". Esse indicador representa uma dimensão já conhecida em outros setores por ser uma forma de eficiência. Porém, como esse mercado é novo, foi necessário a criação desse indicador para que fosse possível se referir a uma condição específica. O Hashdelivery é a relação entre o poder computacional teórico ao longo do tempo que uma máquina pode fornecer e o que ela de fato forneceu, por exemplo:

Uma máquina que possui 100TH/s de poder de processamento, caso fosse operada por precisamente 1 minuto sem nenhuma interrupção, teria oferecido para a rede um total de $60 * 100TH$ totalizando 6 PH (conversão de unidades representada na figura 9) no total em teoria, mas manteria os mesmos 100TH/s de poder de processamento. Observa-se a tabela de conversão desses valores na figura 9 segundo Hashrateindex (2024).

10000000000000000000	H/s ⓘ
1000000000000000000	kH/s ⓘ
1000000000000000	MH/s ⓘ
10000000000	GH/s ⓘ
10000000	TH/s ⓘ
1000	PH/s ⓘ
1	EH/s ⓘ

Figura 9 - Conversão entre unidades de Hashrate

Porém, como será apresentado no tópico 4.1.2, essa disponibilidade pode ser afetada por uma diversidade de fatores, inclusive as variações normais de desempenho da própria máquina. Portanto, a entrega real dessa máquina pode ter sido ligeiramente diferente, podendo ter apresentado 99TH/s de média durante esse minuto ou sequer ter apresentado desempenho algum. Dessa forma, o processamento total pode ter sido inferior ou até maior do que o próprio teórico.

Sabendo o valor teórico de poder computacional (6PH) e o valor real (por exemplo 5,9PH) calcula-se o Hashdelivery por meio da razão entre o real e o teórico, resultando em uma porcentagem de ~98,3% de Hashdelivery. Dessa forma, esse indicador mede a performance ao longo do tempo comparada com a performance nominal do equipamento.

Esse indicador é importante pois, caso haja melhora nos tempos de paradas de máquinas ao longo de um certo período de tempo, o Hashdelivery apresentará aumento. Com a constatação do aumento desse indicador, as operações de mineração serão mais remuneradas pela rede do Bitcoin por ter fornecido mais poder computacional assim como já comentado anteriormente. Dessa forma, um aumento no Hashdelivery, traduz-se diretamente em uma melhoria operacional, sendo de suma importância o acompanhamento para avaliar a efetividade das soluções.

3.2.1.2 Custos

Os custos desempenham um papel crucial na avaliação de soluções propostas, sendo um indicador fundamental a ser monitorado para determinar a

viabilidade de implementação. Ao analisar as melhorias operacionais, é essencial considerar não apenas os benefícios potenciais, mas também os custos associados à implementação e manutenção dos estoques. Por meio de uma análise detalhada dos custos envolvidos, incluindo investimentos iniciais, despesas operacionais e custo de oportunidade, é possível tomar decisões informadas sobre quais iniciativas priorizar.

Os custos também permitem uma comparação direta entre diferentes opções de melhoria. Isso proporciona uma base sólida para a tomada de decisões, garantindo que as soluções escolhidas não apenas melhorem a eficiência operacional, mas também sejam financeiramente sustentáveis a longo prazo.

Dessa forma, o custo para a criação do sistema de controle de estoques e manutenções, bem como o custo do próprio estoque de emergência e suas peças deve ser ponderado. Uma vez que essas peças são pertencentes maquinário especializado, seu custo é relevante e varia de acordo com o componente específico, sendo importante também levar esse fator em consideração para o dimensionamento dos estoques.

Dito isso, o indicador de custo poderá ser acompanhado em dólares (uma vez que as operações da empresa se encontram nos Estados Unidos) e servirá para avaliação direta da viabilidade do estudo bem como do estoque e custos de oportunidade.

3.2.1.3 *Uptime*

Indica a porcentagem do tempo de disponibilidade de algo comparado ao tempo total da análise. Um exemplo claro é o caso de uma máquina imaginária ter operado durante 90 horas de um horizonte de análise de 100 horas, essa máquina obteria um Uptime de 90%

3.2.1.4 *Outros*

Outros indicadores podem ser utilizados de forma auxiliar para calcular os estoques ou custos, porém, não são tão significativos quanto os mencionados acima. São eles:

- Quantidade de manutenções realizadas;
- Quantidade de máquinas paradas a espera de peças;

- Quantidade de peças trocadas;
- Quantidade total de máquinas em operação;
- Tempo necessário para entrega de novos componentes;
- Custo de cada componente em estoque;
- Custo de frete de peças;
- Custo da plataforma de controle de inventário e manutenções.

4 SUPORTE PRÁTICO

Neste capítulo serão descritas outras situações e contextos que auxiliam no entendimento dos métodos e estratégias utilizados para alcançar os objetivos propostos.

4.1 CONTEXTO DA EMPRESA DE MINERAÇÃO

Explicitado o funcionamento geral da mineração de Bitcoin, ou seja, a validação das transações entre pessoas com o objetivo de receber as recompensas de colocar a prova de trabalho, é necessário agora compreender o funcionamento de empresas desse setor. Os detalhes variam de acordo com o público que as empresas desejam atingir e as especificidades regulatórias do mercado no qual se encontram, mas todas partem do mesmo princípio, distribuição dos incentivos da mineração captados.

O trabalho em questão não tem como objetivo se aprofundar na questão financeira dos negócios de mineração. As definições a seguir tem o objetivo apenas demonstrar a conexão entre as características do funcionamento da indústria e as melhorias propostas no trabalho. Dessa forma, o presente estudo busca explicitar como a empresa funciona, quais são os desafios, como as ineficiências impactam as empresas para então poder gerar a solução.

Na figura 10 é possível observar um Business Model Canvas simplificado de uma empresa de mineração de Bitcoin. Em seguida, são discutidos alguns pontos pertinentes ao trabalho.

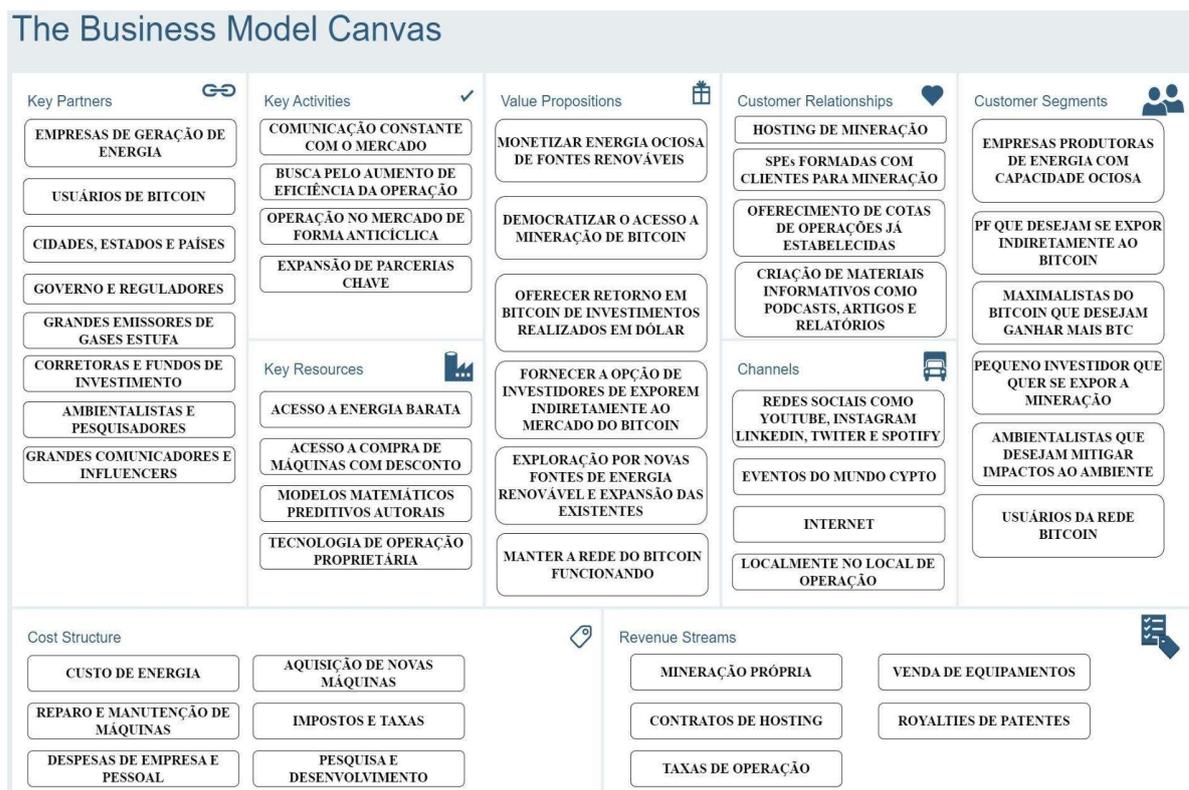


Figura 10 - Business Model Canvas simplificado

4.1.1 Remuneração da mineração

O faturamento de uma empresa de mineração de Bitcoin é advindo da mineração em si (excluindo dessa análise outras fontes de renda como *hosting*), porém o mesmo é em função de algumas variáveis descritas a seguir:

4.1.1.1 Recompensa do bloco

Valor em Bitcoin recebido por encontrar a solução do próximo bloco é dividido em duas partes:

- I. **Recompensa fixa:** Este é o valor fixo que os mineradores recebem como recompensa pela mineração de cada bloco. Este subsídio diminui a cada quatro anos aproximadamente, em um evento conhecido como "Halving". Atualmente, o subsídio é de 3,125 BTC por bloco, mas no início do ano de 2024 o valor era de 6,25 BTC por bloco.
- II. **Taxas de transação variáveis:** A rede funciona como um leilão, transações que pagam mais taxas comparadas com o espaço que ocupam no bloco são

processadas primeiro. O algoritmo da rede compõe um bloco mais lucrativo primeiro, beneficiando aqueles que pagam mais e recompensando os mineradores. Portanto, estas taxas podem variar significativamente dependendo da demanda da rede e da urgência das transações.

Na figura 11 observa-se a proporção entre fração fixa e variável da remuneração ao longo do tempo segundo a Mempool (2024). Em amarelo, observa-se a parcela fixa, também denominada subsídio e em verde as taxas de transação. É interessante destacar, também, o efeito do Halving ocorrido em abril e como isso alterou a recompensa.

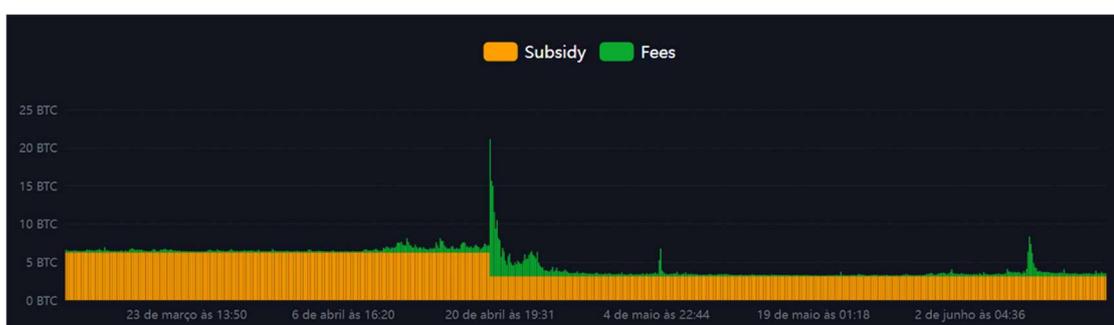


Figura 11 - Parcelas fixa e variáveis da recompensa do bloco

4.1.1.2 Valor do Bitcoin

Apesar de uma parcela dos clientes receber os dividendos na própria moeda Bitcoin, é comum que as empresas apurem o lucro em dólar. Como esse criptoativo é negociado de forma ininterrupta, seu valor em dólar flutua constantemente, afetando o faturamento dos mineradores como visto na figura 12 segundo o site Trading View (2024):



Figura 12 - Preço do Bitcoin do último ano

4.1.1.3 Competitividade de rede

Todos os dias são processados aproximadamente 144 blocos como já mencionado, portanto, a parcela fixa de Bitcoin é de aproximadamente 450 Bitcoins e isso não é alterado de acordo com a quantidade de poder computacional existente no momento (no curto prazo há variações, mas isto é tratado de maneira simplificada). Isso significa que, caso a quantidade de competidores aumente, eles terão que dividir a mesma quantidade de Bitcoins ao longo do dia, demonstrando que a competitividade de rede pode influenciar no faturamento do minerador único.

Observa-se como a competitividade de rede se comporta ao longo do tempo na figura 13 segundo o site Mempool (2024):



Figura 13 - Crescimento do poder computacional da rede do Bitcoin

4.1.1.4 Colaboração com a rede e tempo de operação

Como já mencionado, os mineradores são recompensados apenas no caso de validarem o próximo bloco, o que gera incertezas sobre faturamento. Por um lado, um minerador pode ser o próximo a validar e receber sozinho os 3,125 Bitcoins mais as taxas (com o Bitcoin valendo aproximadamente \$70 mil dólares, isso equivale a pouco menos de \$220 mil dólares mais as taxas) por um trabalho de apenas 10 minutos, um faturamento alto por tão pouco esforço. Por outro lado, um minerador sozinho compete com todos os outros mineradores do mundo pela possibilidade de encontrar 144 blocos diariamente, tornando esse evento altamente improvável.

Por causa dessa incerteza, os mineradores desenvolveram uma solução para que o faturamento pudesse ser menos incerto. A solução chama-se *pools* de mineração. Pools são como cooperativas, mineradores se juntam em grandes quantidades em uma força tarefa única, tornando-se um grande competidor buscando os próximos blocos.

A dificuldade de estar competindo com o mundo inteiro ainda está presente, porém, agora com 1, 2 ou até mesmo 30% do poder computacional, a probabilidade de ser remunerado no próximo bloco cresce proporcionalmente ao seu tamanho relativo à rede. Por exemplo, um minerador que se associa a uma Pool com 30% do poder computacional do mercado, possui 30% de chance de encontrar o próximo bloco.

Na figura 14, observa-se a atual distribuição do poder computacional da rede entre as principais pools segundo o site Mempool (2024), demonstrando suas respectivas dominâncias:

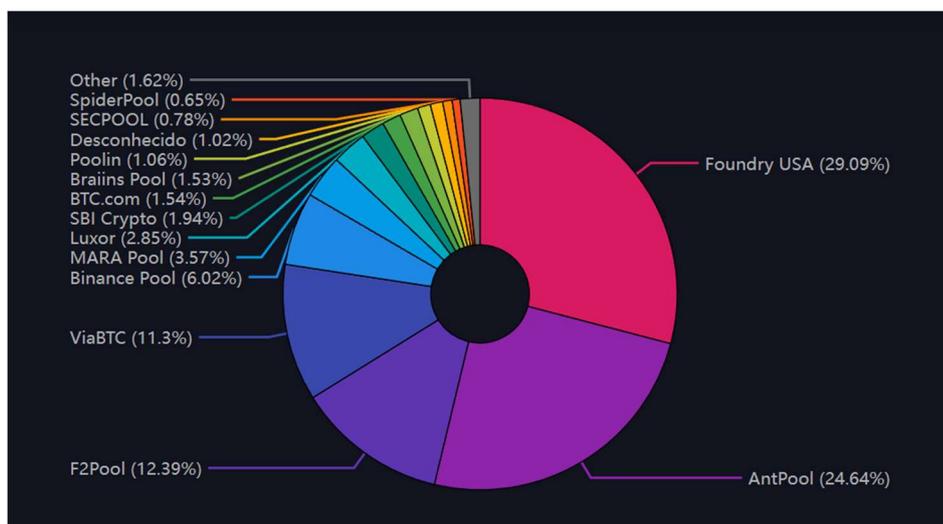


Figura 14 - Ranking das maiores pools da rede e sua proporção

Quando uma pool encontra um bloco, e agora encontra blocos de forma muito mais frequente, ela divide a remuneração de forma proporcional entre os participantes da rede. A unidade utilizada para distribuição é uma função entre o poder computacional com o qual um indivíduo contribuiu e o tempo de contribuição desse poder. O poder computacional (medido em Hashrate) já foi discutido anteriormente e é fornecido em diferentes quantidades por diferentes ASICs, mas o tempo de contribuição diz respeito a outro conceito já consagrado no mercado, o *Uptime*. Quanto maior o poder computacional durante mais tempo, maior a parcela da remuneração o minerador receberá.

Devido a essa forma de distribuição, é imperativo que as máquinas de uma mineradora operem com eficiência e disponibilidade durante o maior tempo possível sem paradas. Além disso, quando paradas forem necessárias, as mesmas devem ser rápidas, mas, os administradores devem antecipar problemas e agir também de forma preventiva buscando um *Uptime* cada vez maior.

Portanto, precisamente devido a essa correlação entre tempo de operação e remuneração, é que o investimento em melhorias nesse indicador operacional se justifica. Com esses fatos em mente, o trabalho focará no desenvolvimento de um modelo de estoques de modo a proporcionar um aumento de disponibilidade das operações, aumentando também a competitividade dos serviços oferecidos e, por consequência, aumentando a satisfação dos clientes.

4.1.1.5 Hashprice

O termo já consagrado no mercado de mineração, reduz a um único número a interação entre a recompensa de mineração, o valor do Bitcoin, competitividade de rede e a interação das pools. Como o faturamento do minerador depende desses 4 fatores, é possível consultar o seu resultado histórico em sites como o da Luxor (2024), na figura 15.



Figura 15 - Faturamento histórico dos mineradores por PH/s alocado

Nessa figura 15 observa-se o retorno histórico em dólares por PH/s, por dia ao longo de um ano. Interessante observar no centro do gráfico, novamente o, os efeitos do *Halving* e também da rápida variação ocasional do preço do Bitcoin. Mas vale lembrar que isso representa o faturamento do minerador, com o seu lucro dependendo dos custos, envolvendo, em grande parte, custos variáveis de energia.

Porém, por mais que o gráfico da figura 15 pareça não se comportar de acordo com nenhum fator isolado, ele permite aos mineradores estimar os ganhos ao alocar recursos para a mineração. Devido ao grande incentivo financeiro proporcionado pela mineração, e apesar da volatilidade localizada, observa-se uma clara tendência de queda ao longo do tempo, impulsionada principalmente pela crescente competitividade de rede que divide cada vez mais os lucros disponíveis. Essa tendência de queda pode ser evidenciada em um horizonte de 4 anos como demonstrado pela figura 16:



Figura 16 - Hashprice dos últimos 4 anos

Essa tendência evidente de redução do faturamento esperado é ao mesmo tempo a causa e o incentivo para a busca constante de eficiência operacional, seja pela utilização de máquinas mais eficientes e qualidade operacional. Por isso, ao projetar futuros ganhos esperados com mineração de Bitcoin, é necessário considerar os ganhos decrescentes e essa busca constante por melhoria essencial para sobrevivência.

4.1.2 Outros fatores que influenciam na mineração

A eficiência operacional em um contexto de mineração de Bitcoin pode ser influenciada por uma série de fatores, e, por isso, é normal que uma máquina apresente variações de desempenho. Um exemplo dessa variação seria uma ASIC de capacidade nominal de 100TH/s apresentar entre 90TH/s e 110TH/s de desempenho real (como será abordado mais a frente).

Abaixo observam-se alguns dos fatores que podem influenciar essa entrega real comparada a entrega real (definido como Hashdelivery na seção de indicadores do trabalho):

- I. **Disponibilidade de fornecimento de energia da fonte:** Hidrelétricas que têm instabilidade (disponibilidade menor do que 100%) forçam a operação ao desligamento involuntário, reduzindo a quantidade de processamento efetivo realizado ao fim de um período.
- II. **Variação normal do Hashrate efetivo:** As ASICs possuem uma variação normal de seu Hashrate nominal (leia-se poder de processamento)

apresentada pelo fabricante como podendo ser de até 5%. Porém, na média, uma máquina saudável apresentará muito próximo do seu valor nominal.

- III. **Condição ambiental:** Os equipamentos de mineração foram idealizados para operar dentro da faixa de 0° a 40° Celsius, interrompendo o funcionamento caso excedido o parâmetro. Portanto, em condições ambientais extremas, como dias fora do padrão em termos de temperatura, impactam o pleno funcionamento das *ASICs*.

- IV. **Condição de infraestrutura:** A uma correlação entre a condição das instalações e a qualidade das condições ambientais, afinal, uma infraestrutura bem mantida, com manutenção correta e com bom acompanhamento, deve ajudar a amenizar condições ambientais extremas. Porém, quando mal mantida, filtros, exaustores e outros componentes gastos podem colaborar para a criação de ambientes adversos para as *ASICs* operarem, gerando indisponibilidades.

- V. **Condição de manutenção das *ASICs*:** As máquinas são compostas por alguns componentes principais como *PSUs* (*Power Supply Unit*, componente responsável pelo fornecimento de energia para a *ASIC*), *Hashboards* (placas com chips de processamento que realizam a mineração), *Fans* (responsáveis por refrigeração e troca de calor das unidades), *Control Boards* (Placa mãe da máquina e responsável pelo controle total do equipamento), etc. Como esses equipamentos são operados sem interrupção, as vezes por meses, é normal o desgaste e/ou acúmulo de sujeira em suas partes, resultando em defeitos e necessidades de substituição. A falha em reagir rapidamente para troca ou limpeza desses componentes é o principal fator que impede o pleno funcionamento da *ASIC* impactando o seu desempenho. Por esse motivo, é nesse aspecto de mantimento do bom funcionamento que o modelo visa gerar melhorias, dimensionando estoques justamente para as peças essenciais listadas acima.

4.1.3 Relacionamento com clientes e mercado

Como demonstrado pelo Canvas na figura 10 os clientes da empresa são de tipos variados e com diferentes propostas, podendo variar desde pessoas físicas até concessionárias de energia. Porém, para o contexto do presente estudo, é importante frisar uma questão específica pertinente a maior parte deles, sendo esse o compartilhamento de lucros ou faturamento.

Apesar de variações contratuais a depender de negociações específicas, no geral, a empresa se remunera de forma correlacionada com a remuneração do cliente. Isso pode acontecer por meio de uma *Revenue Share* (Parcela do Faturamento em %) ou *Profit Share* (Parcela do Lucro em %) portanto, atrelando o sucesso financeiro ao sucesso do cliente. Esse fato é importante ser mencionado para que seja clara a relação entre melhoria dos resultados dos clientes e, portanto, automaticamente da própria empresa em questão mesmo que em menor proporção.

4.1.4 Custos da mineração de Bitcoin

A mineração de Bitcoin é uma atividade que exige investimentos substanciais e uma gestão cuidadosa dos custos para garantir a viabilidade e lucratividade do negócio. A gestão adequada desses custos e a sua proporção em relação as recompensas da rede é o que diferencia as empresas que se tornem perenes e as que entram em colapso com as variações de mercado.

4.1.4.1 Custo de equipamentos e infraestrutura

A aquisição de equipamentos de mineração, particularmente os *ASICs* representa uma parte significativa do investimento inicial e impacta diretamente a viabilidade de projetos. Além disso, quando operados em larga escala, exigem também um alto investimento em infraestrutura para abrigar, fornecer energia, refrigeração e uma operação adequada.

O investimento inicial na aquisição dos *ASICs*, pode variar significativamente dependendo do modelo, da *Hashrate* (poder computacional) dos dispositivos, do preço de mercado e pode ser influenciado pela oferta e demanda desses equipamentos (figura 17). Além disso, há a manutenção e substituição, que são custos contínuos relacionados à operação eficiente, bem como a substituição de unidades que se tornem obsoletas ou que apresentem falhas.

Na figura 17 é possível evidenciar o custo de aquisição médio por Terahashes por segundo para cada faixa de eficiência de ASIC segundo o site Hashrateindex (2024). Esse preço é plotado ao longo do tempo, em dólares, versus preço do Bitcoin, demonstrando assim essa correlação.



Figura 17 – Preço de ASICs por faixa de eficiência

Porém, os custos com equipamento e infraestrutura não se encerram após a aquisição. Pelo caráter constante das operações, funcionando as vezes por meses sem nenhum tipo de interrupção, são esperados desgastes por uso tanto das ASICs em si quanto equipamentos de suporte. Por isso, manutenções corretivas e preventivas são partes inerentes da operação e apresentam um custo associado.

Esse custo de mantimento das operações não deve ser negligenciado, uma vez que ativos mal mantidos tendem a ter sua vida útil reduzida, gerando novos custos de aquisição no longo prazo. Por isso, uma operação de mineração possui oportunidades de otimização dessas rotinas de manutenção, apresentando o potencial de reduzir tempos de ociosidade, aumentar vida útil das máquinas bem como reduzir custos operacionais no longo prazo.

4.1.4.2 Custo de energia

Como explicado anteriormente, as *ASICs* são equipamentos especializados e esse fato vem acompanhado de um alto consumo de energia. Esse alto consumo de energia é justificado e utilizado para a prova de trabalho necessária para a mineração, ou seja, validação dos blocos. Dependendo do modelo, as máquinas

podem variar de 2 mil Watts até mesmo 7 kW, com novos modelos e potência sendo apresentados para o mercado constantemente.

Dito isso, o principal custo do minerador é a própria energia e, por isso, os maiores parceiros de empresas de mineração de Bitcoin são produtores, distribuidores e comercializadores de energia. Ainda, como mencionado brevemente pelo Business Model Canvas (tratado no tópico 4.1), a busca por fontes de energia mais baratas e a construção de bons relacionamentos com o mercado de energia é estrutural para o modelo de negócio desse tipo de empresa

Uma questão inerente ao custo de energia da operação é a eficiência energética das ASICs, ou seja, quanto de energia o equipamento gasta para gerar um determinado poder computacional. No mercado de mineração, o termo específico utilizado para medir esse indicador é o J/TH, ou seja, Joules, uma medida de energia e Tera Hashes, uma medida da quantidade de poder computacional realizado.

Dessa forma, esse indicador é particular de cada modelo de máquina e proporciona uma estimativa de consumo de energia para um determinado resultado. Uma vez que já existem outros indicadores que representam o faturamento esperado por certo poder computacional, o *Hashprice* por exemplo, juntamente com esse indicador agora é possível obter uma estimativa de lucratividade de determinado conjunto de ASICs.

4.1.4.3 Custos administrativos

Assim como toda empresa, existem custos administrativos com pessoas e serviços, por exemplo. As empresas apresentam diferentes proporções dessa categoria de acordo como o cenário no qual estão inseridas, porém, é evidente que empresas com estruturas mais enxutas tendem a ter um desempenho superior em mercados competitivos, como é o caso do mercado de mineração de Bitcoin.

4.2 O PAPEL DOS ESTOQUES E ROTINAS DE CONTROLE

Conforme mencionado no capítulo 2, apresentam-se aqui conceitos e ferramentas básicos da Teoria de Estoques, porém, já diretamente relacionados à situação típica do presente estudo.

Um sistema de controle de inventário dentro de uma empresa de mineração de criptomoedas é fundamental para gerenciar ativos como máquinas, peças de

substituição e insumos. A falta de um sistema robusto pode resultar em problemas como desconhecimento do patrimônio envolvido, seu valor residual bem como paralizações da produção devido à falta de algum componente.

Além do controle físico dos ativos, é igualmente importante implementar um sistema de controle de rotina eficaz. Isso inclui o planejamento e registro de manutenções preventivas e corretivas regulares em todas as máquinas e equipamentos do inventário. Registrar todas as atividades de manutenção realizadas em cada item do inventário não apenas ajuda a documentar o histórico de manutenção, mas também fornece *insights* valiosos para análise de desempenho e tomada de decisões estratégicas mais à frente.

Um sistema bem estruturado de controle de inventário e rotina não apenas mantém a operação funcionando de maneira suave e eficiente, mas também fortalece a resiliência da empresa diante de desafios imprevistos. Isso permite que a empresa responda de forma ágil a mudanças nas condições de mercado ou tecnológicas, assegurando sua capacidade de manter uma operação robusta e competitiva no dinâmico setor de mineração de criptomoedas.

Além dos benefícios óbvios, um controle de inventário é parte estrutural de um sistema de estoques robusto com o objetivo de melhoria operacional. Sem saber quais as quantidades atuais, não é possível a determinação de níveis ideais de peças, ponto de pedido e custo relativo as soluções.

A implementação de práticas como definição de estoques de emergência, pontos de pedido, nível de serviço e outras ferramentas são soluções comuns quando se trata de problemas de tempos de parada. Ao estabelecer níveis adequados para esses componentes a empresa garante a disponibilidade de peças de substituição e insumos críticos necessários para manter as operações contínuas, mesmo diante de interrupções imprevistas na cadeia de suprimentos.

Portanto, estoques de emergência, pontos de pedido e o sistema de supermercado, permitem um controle mais preciso do fluxo de materiais e peças dentro da empresa. Isso significa que as reposições são feitas no momento certo, evitando tanto excesso quanto falta de estoque. Essas práticas não apenas garantem a disponibilidade imediata dos itens necessários, mas também reduzem os custos associados ao estoque excessivo e aos tempos de espera prolongados.

Essas soluções, associadas ao sistema de controle desse inventário podem auxiliar nas dificuldades operacionais dos times de campo, e serão aplicadas com o

objetivo de melhora nos indicadores. Por isso, será necessário a coleta das informações necessárias para os cálculos de cada uma das ferramentas, bem como os seus custos associados.

4.3 DIMENSIONAMENTO DE ESTOQUES

Para o adequado desenvolvimento do modelo de estoques, alguns conceitos necessitam ser listados. Os parâmetros que se busca determinar para otimizar o estoque nessa situação específica, segundo Chopra (2019) são discutidos neste item.

4.3.1 Estoque

Engloba todo tipo de material não processado, em processamento ou produtos finalizados dentro de uma cadeia logística. Para o presente estudo, interessa o estoque de peças de manutenção para ASICs especificamente.

Nesse contexto, é considerado estoque o conjunto de todas as máquinas e peças das mesmas que não se encontram em uso efetivo no momento. O estoque inclui, mas não está limitado a PSUs, Hashboards, Fans, Control Boards, adaptadores, ASICs embaladas, ativos em processo de entrega pelo fabricante bem como aguardando ativação no local.

4.3.2 Estoque cíclico

É o estoque entre o pedido de reabastecimento e da disponibilidade de uso do mesmo, podendo ser medido em qualquer unidade temporal, mas adotado em meses nesse caso.

Como as peças são utilizadas de acordo com a demanda que varia, o estoque varia conforme essa demanda até que seja reabastecido. Um bom exemplo disso seria um estoque de *Fans* das ASICs que é consumido aos poucos. A figura 18 segundo Chopra (2003), representa esse processo contínuo:

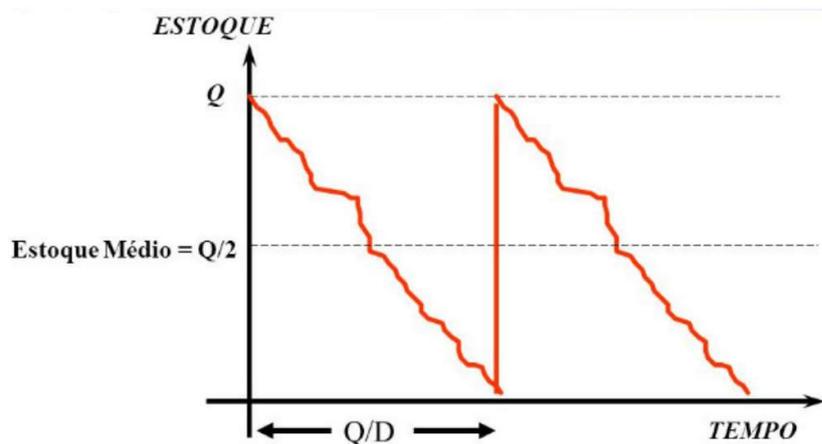


Figura 18 - Representação de estoque cíclico Chopra (2003)

4.3.3 Estoque de emergência

Parcela do inventário destinada a imprevisibilidade de demanda. Tem como objetivo absorver variações inesperadas para evitar o esgotamento de peças enquanto o reabastecimento não acontece.

Como o objetivo do trabalho é o aumento de eficiência operacional, evitar esgotamento e paradas por espera de peças é uma das principais missões. Dito isso, a criação de estoques de emergência para peças com maior imprevisibilidade na demanda e tempo de ressurgimento é essencial, sendo um dos focos do modelo desenvolvido no capítulo 5 desse estudo.

4.3.4 Ponto de pedido

Momento que o processo de reabastecimento é iniciado. No caso desse modelo específico, representado pelo momento em que o estoque atinge um número determinado de unidades calculado (revisão contínua). Esse nível é calculado para que seja possível transcorrer todo o período de espera de reabastecimento evitando o esgotamento dos estoques em uma certa porcentagem dos casos (determinada pelo Nível de Serviço).

Idealmente, e sob condições normais de demanda o ponto de pedido ocorre em um momento que viabilize o reabastecimento também antes que os estoques atinjam o nível de emergência. Para isso, é importante que a empresa possua sistematizado a conferência do momento adequado desse pedido. Por isso, houve a definição por revisão contínua, realizado pelo software de supervisão das ASICs da

operação (como discutido mais profundamente no modelo) por meio de lembretes na plataforma.

4.3.5 Nível de serviço

Nesse caso representa a porcentagem dos casos em que é desejado que a demanda seja suprida sem o esgotamento de estoques. Quanto mais alto o nível de serviço desejado, maior o custo relacionado, necessitando de provisionamentos mais conservadores. Em contrapartida, níveis mais baixos de serviço podem prejudicar indicadores operacionais e aumentar insatisfações.

A escolha do nível correto de serviço se torna uma escolha particular a depender do mercado bem como do contexto da empresa e por isso não faz parte do escopo do presente estudo. Porém, foi fornecido pelo setor de Relacionamento com Investidores da empresa, um estudo e proposta de um nível de serviço de 90%, sendo justificado comparativamente com outras empresas do setor. Por isso, o presente estudo se baseará nessa decisão estratégica da empresa para os cálculos do estoque.

4.3.6 Estoque médio

Representa a média de estoque de determinado produto durante o período considerando o estoque cíclico e o estoque de emergência. Portanto, esse é um bom número para estimar custos de mantimento dos estoques ao longo do período.

O estoque médio no presente estudo será primordial para calcular o custo de oportunidade de se manter dito estoque ao longo do tempo, uma vez que as máquinas, caso fossem alocadas, apresentariam renda. Esse estoque médio também é importante para compreender o volume estimado de itens com os quais o time operacional de campo terá que lidar, sendo necessário talvez a aquisição de um local específico de armazenagem e controle.

4.3.7 Lote econômico de pedido

Quantidade característica que minimiza os custos de compra por unidade de produto adquirida. Para essa conta, são levados em consideração diversos fatores como os custos fixos de pedido, custo de transporte e outros custos variáveis.

Para o mercado de mineração, muitas vezes os pedidos econômicos estão ligados a unidades completas de ASICs como apresentado durante o desenvolvimento do modelo. Isso se deve ao fato de que o custo de aquisição de uma máquina completa contendo várias peças, costuma ser menor do que o custo de aquisição dessas mesmas peças de forma segregada. Além disso, a característica intercambiável de alguns modelos de ASIC privilegiam a compra de lotes fechados de máquinas completas.

Além disso, ressalta-se que o custo relacionado às ASICs e suas peças, possui correlação com o indicador de *Hashprice*, apresentando diminuição quando os ganhos esperados reduzem e vice e versa. Por esse motivo, o lote econômico também não é estável durante um longo período de análise.

4.3.8 Lote médio de pedido

Como a determinação do lote econômico não é estática e o seu tamanho varia de acordo com fatores externos, os pedidos ao longo do tempo também variam. Dessa forma, o lote médio representa um pedido médio obtido ao ajustar o lote econômico conforme a necessidade e levando em consideração as variações ocasionais.

Essa média torna possível a inserção de um número representativo para a criação do modelo de estoques baseado no menor custo médio de aquisição possível. Evidentemente, os custos médios variam dependendo do horizonte de análise bem como fatores relacionados ao ambiente da empresa. Espera-se, por exemplo, que empresas localizadas na Ásia, ou seja, mais próximas a China, possuam lotes médios de pedido diferentes de empresas localizadas nos EUA. Isso se deve a facilidade logística de estar nos arredores dos maiores fabricantes de máquinas mineradoras do mundo.

4.4 ENCERRAMENTO DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foram discutidos os principais conceitos e métodos necessários para embasar o desenvolvimento do modelo de gestão de estoques e manutenção aplicado à mineração de Bitcoin. Entre os pontos abordados, destacaram-se o papel estratégico dos estoques, o dimensionamento de parâmetros críticos como estoque de segurança, ponto de pedido e lote econômico, além de

suas relações com a eficiência operacional e a redução de custos na operação das ASICs.

Também foram contextualizadas as particularidades do setor de mineração, ressaltando a importância de considerar fatores como sazonalidade, especificidades das máquinas e condições de operação. Adicionalmente, a abordagem incluiu uma análise prática dos desafios enfrentados pela empresa no gerenciamento de peças e manutenção, demonstrando como a aplicação de métodos consagrados da Engenharia de Produção pode responder a essas demandas.

No próximo capítulo, será apresentado o desenvolvimento e a aplicação prática do modelo de gestão proposto, detalhando os cálculos necessários para o dimensionamento dos estoques e as intervenções planejadas.

5 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO MODELO

O início do desenvolvimento do presente trabalho na realidade ocorreu durante os primeiros meses de estágio do autor na empresa, em julho de 2022. Os primeiros meses de adaptação focaram na análise de oportunidades de melhoria que como estagiário podia atuar. Pelas experiências anteriores de consultoria do autor, a empresa se mostrou aberta a um processo de diagnóstico inicial, uma vez, também, que a vaga aberta tinha como objetivo ajudar a estruturar processos e expansão da área.

Então, inicialmente, foram realizados diálogos com as lideranças, que forneceram insights valiosos sobre os principais desafios enfrentados nos processos e na gestão. Essas conversas permitiram compreender as prioridades estratégicas e as áreas que necessitavam de atenção imediata, além de identificar as expectativas em relação ao desempenho e à eficiência operacional.

Em seguida, o contato direto com os operadores de campo complementou essa análise. Os operadores, como parte da linha de frente da operação, trouxeram uma compreensão dos processos diários. Essas interações possibilitaram a identificação de falhas operacionais e pontos de melhoria que não eram evidentes para as lideranças, capturando informações práticas e experiências vividas que poderiam orientar ajustes e inovações.

Por fim, foi realizada a formalização das dores enfrentadas pela área de produção, com base nas informações coletadas durante os diálogos e as conversas. Essa síntese destacou as dificuldades e desafios específicos que precisavam ser abordados, proporcionando uma base sólida para a formulação de soluções práticas e direcionadas. Essa visão do “chão de fábrica” em outro país, antes era muito distante da liderança presente aqui no Brasil e, pela primeira vez começou a ser organizada e transmitida de maneira eficiente para os tomadores de decisão.

Um dos resultados desse diagnóstico inicial foi desenvolvimento de um sistema de coleta de manutenções que possibilitou o registro detalhado de todas as intervenções realizadas nos equipamentos da empresa. Esse sistema não apenas facilitou o rastreamento das manutenções, mas também formou uma base de dados sólida, essencial para análises futuras. Com essas informações coletadas e sistematizadas, hoje é possível identificar padrões de falhas, prever a necessidade

de peças de reposição e entender a frequência das manutenções, contribuindo para a gestão eficaz da operação, como se verá a seguir.

Com a experiência adquirida nos últimos dois anos na empresa os dados coletados ao longo desse tempo e uma contratação ao final do estágio, o foco desse estudo foi direcionado ao desenvolvimento de um modelo de estoque que integra os dados de manutenção históricos.

O modelo contempla o cálculo de estoques de segurança, pontos de pedido e lotes econômicos, visando otimizar a gestão de inventário e aumentar a disponibilidade de poder de processamento para os clientes. Para isso, esse dimensionamento é realizado tendo em vista as características específicas do mercado de mineração como a sazonalidade da demanda e a intercambialidade de peças, ambos fatores discutidos mais adiante do estudo.

Essa abordagem específica é fundamental para minimizar os tempos de parada, assegurando que os equipamentos estejam mais disponíveis. Já esse aumento de disponibilidade, por sua vez, visa atender à demanda do mercado de mineração de criptomoedas por operações mais profissionais e eficientes, como já discutido inicialmente.

Ao aplicar o modelo de estoque, espera-se não apenas melhorar a eficiência operacional da empresa, mas também proporcionar uma base sólida para futuras decisões estratégicas. Por meio da combinação da análise de dados de manutenção com técnicas de gestão de estoques pretende-se permitir uma resposta ágil às necessidades operacionais e um alinhamento com as melhores práticas do setor, contribuindo para a sustentabilidade e o crescimento contínuo da empresa no competitivo mercado de mineração de Bitcoin.

É importante ressaltar também que, com o objetivo de proteger o capital intelectual, informações estratégicas da empresa e dados de clientes, alguns dados foram multiplicados por fatores B, T e C e nomes foram alterados. Dessa forma, o modelo final será apresentado para os tomadores de decisão com os números reais para avaliação, mas apresentado no trabalho de forma ajustada.

Esse ajuste, apesar de proteger informações sensíveis, não altera a metodologia ou validade do modelo, podendo ser facilmente alterado posteriormente no modelo quantitativo para representar a realidade que a situação necessitar. Com isso, espera-se também que outro minerador de Bitcoin possa usufruir dos métodos aqui apresentados para calcular também seus parâmetros de estoque e tomar a

decisão do melhor nível de serviço para a sua realidade. Os dados alterados podem incluir, mas não estão limitados a:

- I. Dados de demanda**
 - a. Números totais
 - b. Tipos de manutenção
 - c. Quantidade total de ASICs da operação
- II. Modelo de ASIC**
 - a. Modelo exato
 - b. Eficiência energética por unidade
 - c. Poder de processamento por unidade
 - d. Custo específico de peças
- III. Informações da empresa**
 - a. Nome da empresa
 - b. Localização da operação
 - c. Indicadores financeiros
- IV. Parâmetros logísticos**
 - a. Tempos de resposta e de entrega
 - b. Custos por pedido
 - c. Lotes econômicos

5.1 ESTRUTURA DO DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Inicialmente é necessário a coleta e análise dos dados de manutenções com o objetivo de identificar padrões nos dados, representado pela fase 1 da figura 19. Devidamente analisados, delimitou-se o conjunto para estudo e analisou-se as médias de demanda por peça bem como seu desvio padrão amostral no passo 2.

Em posse desses dados gerais, é necessário a coleta de outros dados alheios à manutenção, mas igualmente necessários para o dimensionamento de estoques. Esses dados podem ser de cunho econômico, logístico ou ambiente externo da empresa e serão coletados e devidamente explicitados no item 3 apresentado na figura 19.

Com esses parâmetros gerais devidamente organizados é possível a determinação dos principais parâmetros dos estoques da empresa na fase 4, sendo eles:

- Estoque de emergência
- Ponto de pedido
- Estoque cíclico
- Estoque médio
- Estoque médio do ano (média dos dois períodos)

Já em relação a análise do modelo proposto na fase 5 da figura 19, é necessário apresentar os custos relacionados as escolhas tomadas para que a gestão da empresa possa avaliar sua relevância. Para isso, estimou-se os custos relacionados a aquisição inicial dos estoques, realização dos pedidos constantes e do custo de oportunidade dos mesmos. Com isso é possível estimar o custo anual relacionado ao estoque para cada tipo de peça com a posterior análise do custo anual total da melhoria e seu custo inicial de implementação. É importante também a análise dos indicadores e custos. Por isso, foi realizada a estimativa dos custos diretos relacionados a indisponibilidade dessas máquinas e como o modelo proposto altera esses custos e indicadores de performance, demonstrando a possibilidade de melhoria direta.

Uma vez em posse dos parâmetros calculados, é importante também que seja tecnicamente viável a implementação das soluções. Por isso, faz-se necessário a atribuição de papéis e responsáveis por rotinas específicas do mantimento dos estoques na fase 6. Para isso, há a necessidade de adaptação física da operação, bem como ajustes nos sistemas e softwares de apoio para que seja possível manter os parâmetros determinados.

Por último, uma análise da viabilidade e pertinência do modelo deve ser conduzida por um tomador de decisão para que seja garantido a conexão com a realidade e resultados esperados. Para isso, será conduzida uma avaliação por especialistas da área e serão relatadas suas impressões das melhorias propostas em termos de sua viabilidade de aplicação e também dos resultados esperados.

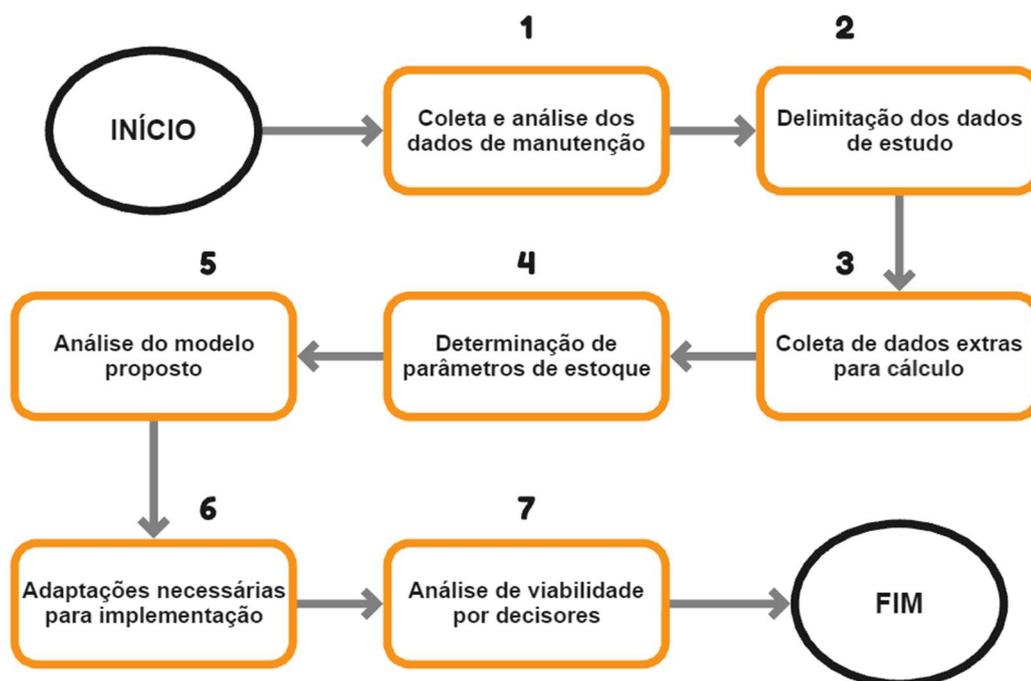


Figura 19 – Organograma de etapas do modelo proposto

Abaixo encontram-se elencados os tópicos específicos tratados dentro de cada macro fase apresentada pela figura 19 e eu serão desenvolvidos no presente capítulo:

1. Coleta e Análise dos Dados de Manutenção
 - a. Identificação de padrões nos dados de manutenções.
2. Delimitação do Conjunto para Estudo
 - a. Análise das médias de demanda por peça.
 - b. Cálculo do desvio padrão amostral.
3. Coleta de Dados Adicionais
 - a. Reunião de dados de cunho econômico, logístico e ambiente externo necessários aos cálculos específicos dos parâmetros de estoque.
4. Determinação dos Parâmetros dos Estoques
 - a. Estoque de emergência.
 - b. Ponto de pedido.
 - c. Estoque cíclico.
 - d. Estoque médio.
 - e. Estoque médio do ano (média dos dois períodos).
5. Análise do Modelo Proposto

- a. Estimativa dos custos relacionados à aquisição inicial dos estoques.
 - b. Cálculo dos custos de realização de pedidos constantes.
 - c. Avaliação do custo de oportunidade dos estoques.
 - d. Estimativa do custo anual relacionado ao estoque para cada tipo de peça.
6. Adaptações necessárias para a implementação do modelo
- a. Adaptações de responsabilidades
 - b. Criação de estoques físicos e controle do mesmo
 - c. Criação de rotinas de acompanhamento e pontos de pedido
 - d. Adaptação e configuração das plataformas supervisórias
 - e. Análise do custo anual total da melhoria e seu custo inicial de implementação.
7. Análise da viabilidade do modelo de estoques
- a. Análise da pertinência das alterações propostas
 - b. Análise da eficácia esperada pelo modelo
 - c. Apresentação de avaliação por tomadores de decisão

5.2 ANÁLISE DOS DADOS DE MANUTENÇÃO

Por meio do dashboard de manutenções é possível observar diversos gráficos que nos possibilita a análise dos acontecimentos sendo separados nas seções a seguir:

5.2.1 Gráficos de manutenções gerais

Na figura 20 observa-se a quantidade de intervenções, segregadas por modelo, dos últimos 21 meses:

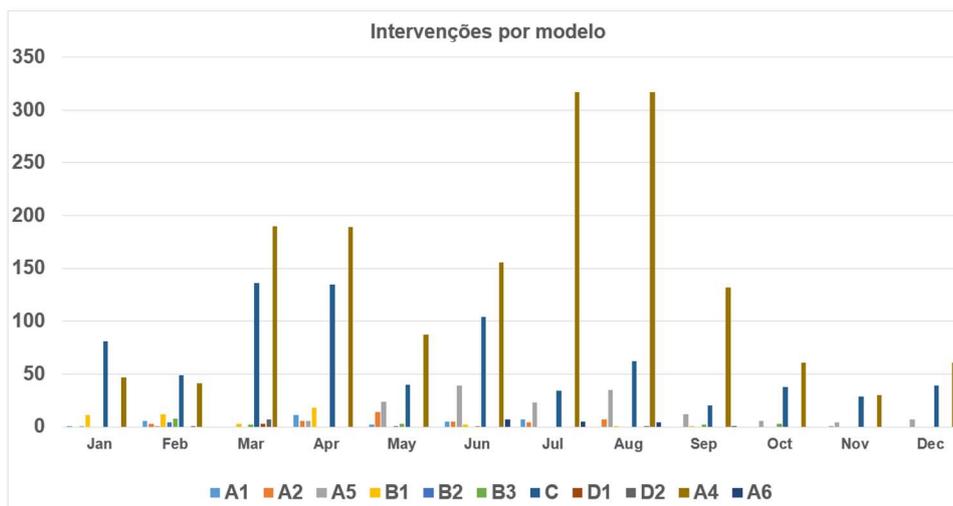


Figura 20 – Intervenções gerais por modelo desde janeiro de 2023

Porém, a análise se torna mais interessante quando visualizada do ponto de vista de ciclo anual, ou seja, de janeiro a dezembro de forma empilhada como na figura 21. Nesse formato é possível começar a perceber uma sazonalidade, centralizando as manutenções próximas ao meio do ano:

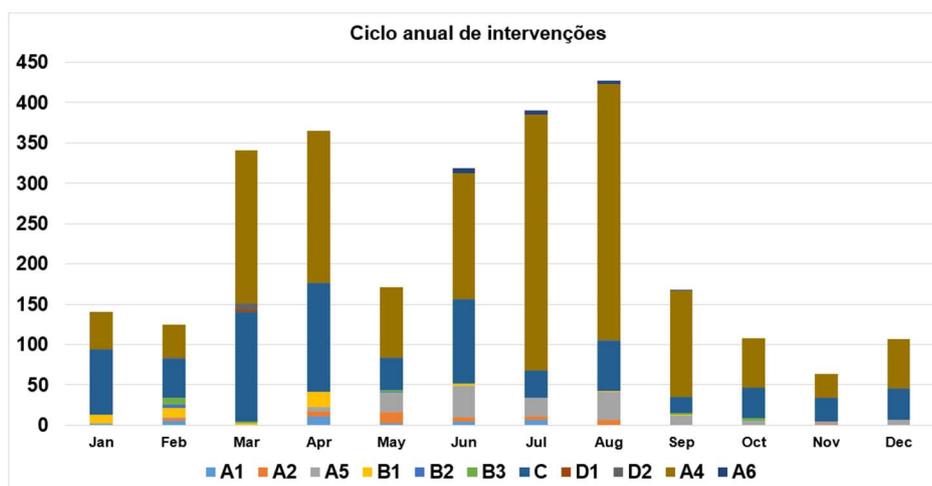


Figura 21 - Ciclo anual de intervenções gerais

Esse fato não é estranho aos operadores de campo que, empiricamente já possuem esse conhecimento. O fenômeno se dá devido ao verão americano, período no qual as máquinas são levadas a condições de operação mais desfavoráveis, sofrendo mais com calor quando comparada ao inverno. Observa-se um padrão semelhante nas temperaturas anuais da região segundo imagem da Meteoblue (2024), figura 22.

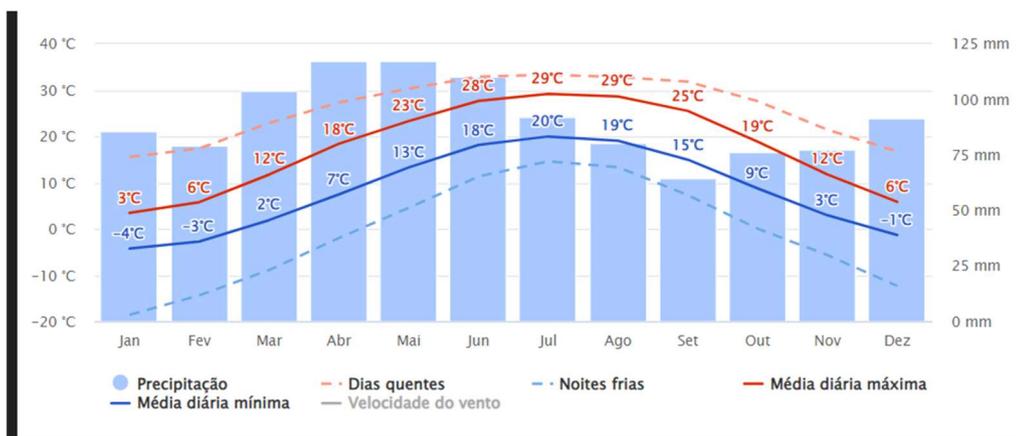


Figura 22 - Clima ao longo do ano na região de operação

Analisando as intervenções em valores absolutos ao longo do período analisado, obtém-se a figura 23. Pode-se observar que a maior parte das manutenções ocorrem na linha A, podendo ser do tipo A de 1 a 4, com o 4 sendo amplamente o mais comum. Esse fato é esperado, uma vez que o modelo A representa a maior parte dos modelos dessa operação da empresa no nordeste dos Estados Unidos (como mencionado nos tópicos 1.5 e 3.2).

Modelo	Número de ASICs
A4	1640
C	767
A5	158
B1	48
A2	40
A1	32
B3	19
A6	17
D2	9
B2	5
D1	3
Total	2738

Figura 23 - Número total de intervenções por modelo

5.2.2 Gráficos da linha A de ASICs

Como previamente delimitado e por se tratar da maior parte das manutenções totais, a análise se concentrará na criação de estoques para a linha A. O motivo da inclusão dos outros modelos A além do A4 mais comum se deve ao fato de todas as ASICs do modelo A terem peças intercambiáveis entre si, fazendo sentido o agrupamento. Dito isso, gráficos semelhantes podem ser traçados

exclusivamente para essa linha como observado na figura 24 e depois de forma empilhada na figura 25:

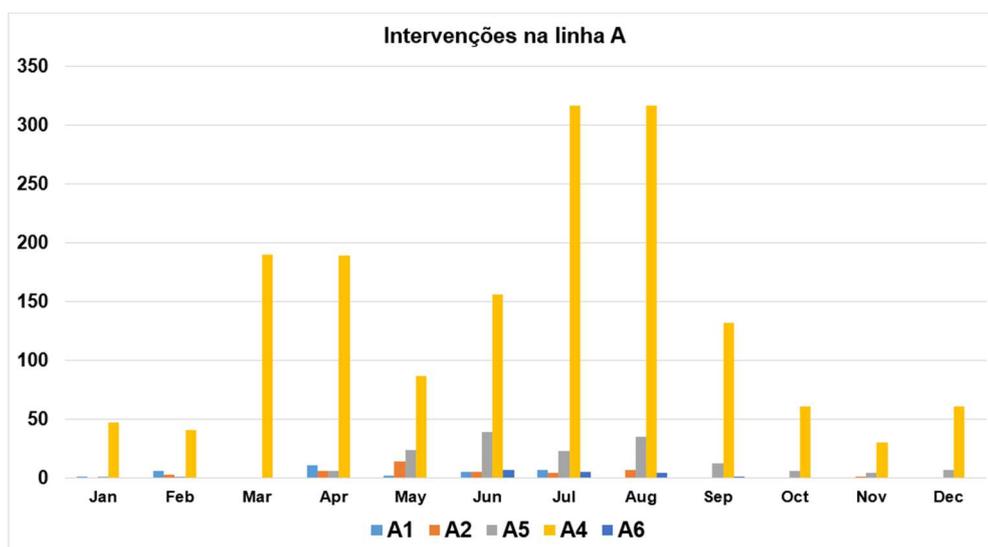


Figura 24 - Intervenções gerais na linha A ao longo do período

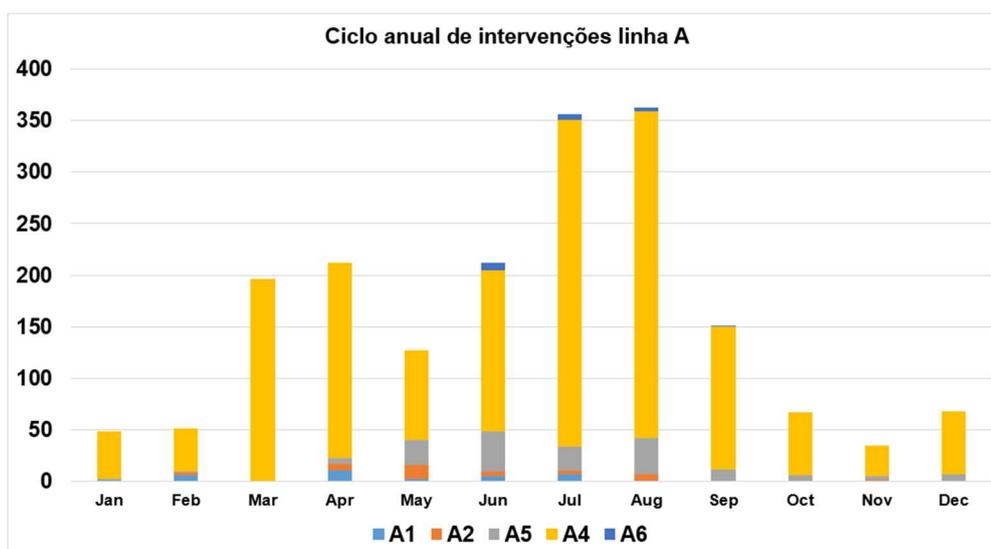


Figura 25 - Ciclo anual de intervenções na linha A

Novamente, o padrão sazonal das manutenções se apresenta na figura 25 acima, seguindo a lógica de condições ambientais desfavoráveis no verão. Agora, com o intuito de entender os diferentes tipos de intervenção envolvendo essa linha, plota-se os gráficos por tipo de intervenção nas figuras 26 e 27:

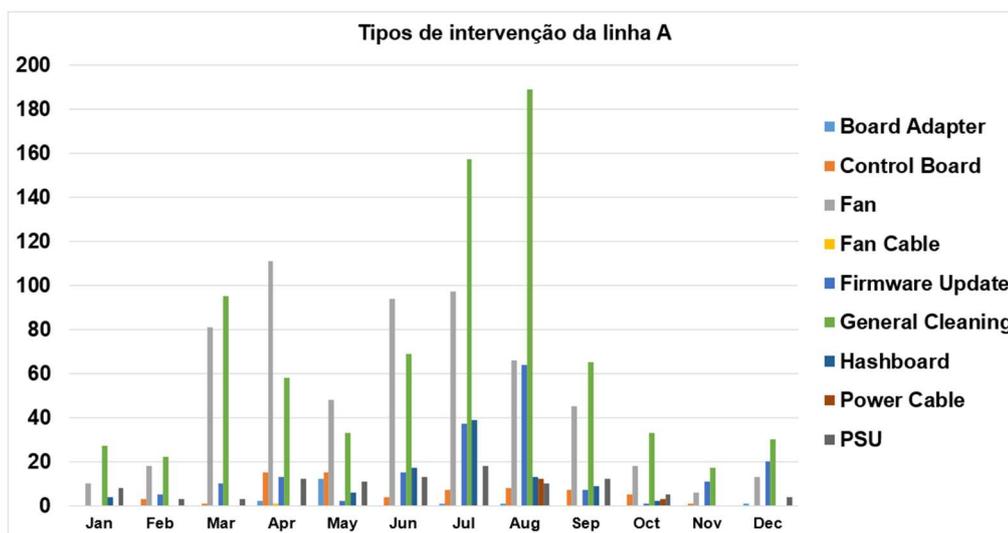


Figura 26 - Intervenções na linha A, por tipo de intervenção no período

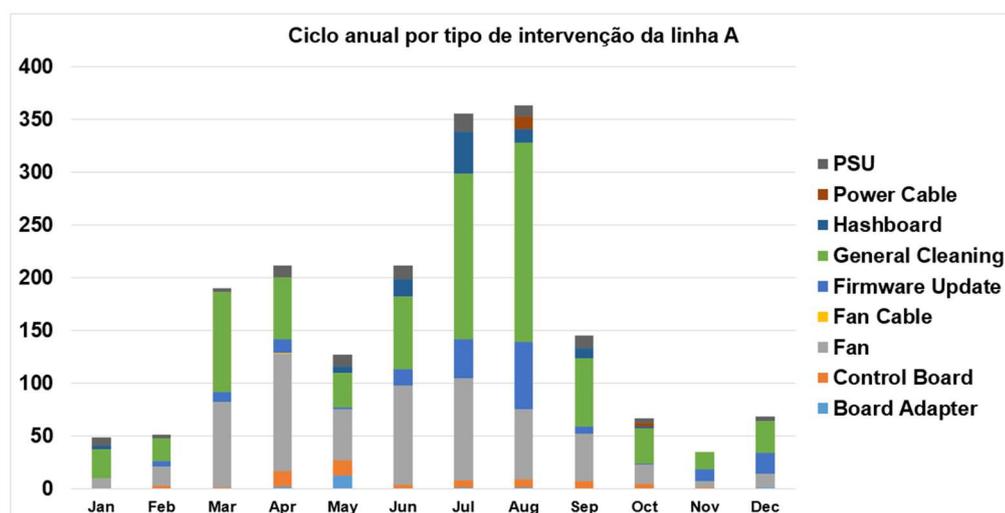


Figura 27 - Ciclo anual de tipos de intervenção na linha A

Observa-se na figura 27 a predominância do padrão sazonal de manutenções apesar de pequenas variações localizadas de tipos de serviço. Porém, é importante destacar também que nem todo tipo de intervenção necessita a troca de peças especificamente, como por exemplo “General Cleaning” que se trata de uma inspeção seguida de limpeza e “Firmware Update” que é somente a troca do Firmware.

5.2.3 Gráficos da linha A com troca de peça

Os dados mais importantes são os das intervenções que envolvem a troca de peças, uma vez que precisamente essas dependem de um estoque disponível

para ocorrerem. Dito isso observam-se nas figuras 28 e 29 os números de intervenções que envolvem troca de algum componente:

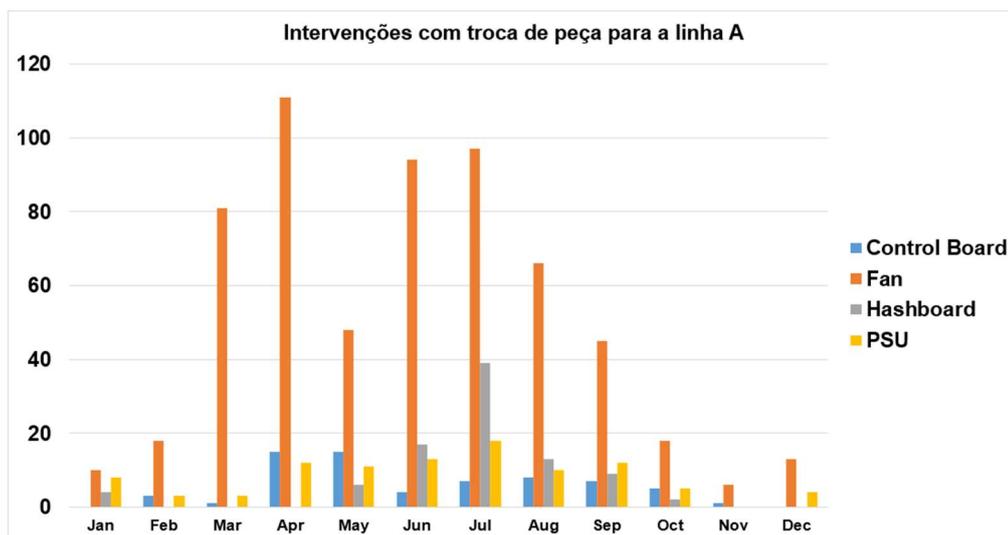


Figura 28 - Intervenções com troca de peças da linha A no período

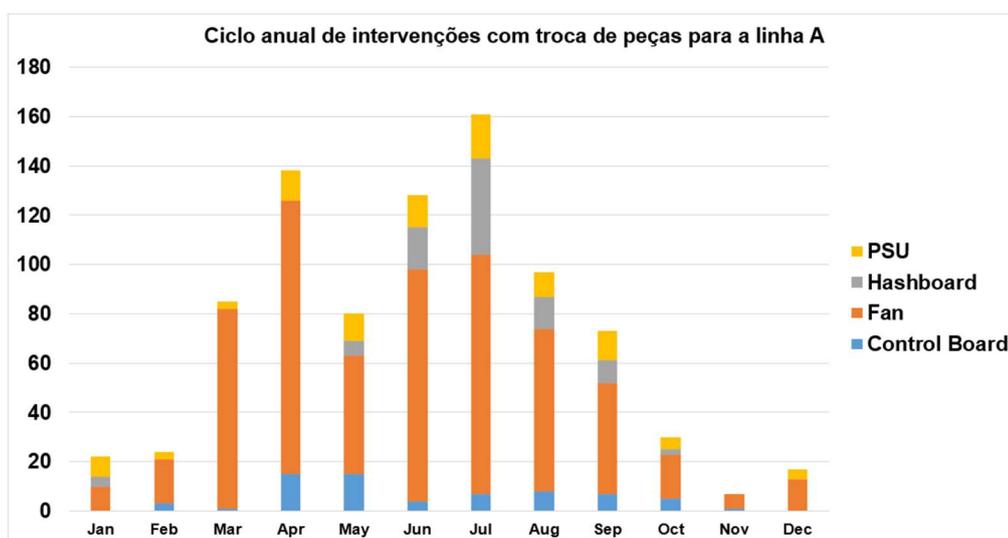


Figura 29 - Ciclo anual de intervenções com troca de peças linha A

Na configuração da figura 29, fica ainda mais evidente o padrão sazonal envolvendo o verão. Por esse motivo, e como já é feito de forma informal pelos operadores, as demandas e preparativos de estoque de peças serão realizadas levando em consideração dois cenários distintos, o verão e o inverno.

5.2.4 Estatísticas de demanda de peças

Como observado e mencionado anteriormente, o estudo focará em manutenções que envolvem troca de peças, da principal linha de modelos da empresa (A) da operação mais relevante. Portanto, com os filtros aplicados e números visualizados, observa-se os 4 principais objetos de análise que são as *Control Boards*, *Fans*, *Hashboards* e *PSUs* já discutidas no tópico 4.1.2 item V como sendo os principais componentes das ASICs.

Os dados para análise, além de separados por peças, serão também separados em períodos do ano. Seguindo a maneira informal dos operadores de campo, serão determinados dois períodos do ano, um mais quente e outro mais frio, informalmente chamados de verão e inverno.

Essa escolha se justifica uma vez que as máquinas são levadas ao limite em condições ambientais adversas, principalmente no verão e apresentam maior necessidade de intervenções quando comparado ao inverno. Dessa forma, ao separar os períodos de análise (bem como os de dimensionamento mais a frente) o modelo visa otimizar mais os parâmetros para as situações específicas, fornecendo mais estoques quando necessário e reduzindo custos onde é possível.

Na figura 30 encontram-se algumas características da amostra em números gerais, números do verão (abril a setembro) e números do inverno (outubro a março). É possível observar a média da demanda dessas peças ao longo do tempo, bem como o desvio padrão amostral, ambos dados necessários para o dimensionamento adequado de estoques:

	Control Board	Fan	Hashboard	PSU
VERÃO				
Demanda média (unidades)	10.67	44.75	28.40	16.00
Desv padrão amostral (unidades)	6.08	31.35	24.88	14.70
INVERNO				
Demanda média (unidades)	6.86	31.67	20.14	15.44
Desv padrão amostral (unidades)	3.72	32.19	12.32	10.74
GERAL				
Demanda média (unidades)	9.00	39.14	25.00	15.76
Desv padrão amostral (unidades)	5.39	31.61	20.56	12.84

Figura 30 - Parâmetros estatísticos por peça

Como observado na figura 30 acima, a média e desvio padrão da necessidade de intervenção de cada tipo de peça foi calculado para ser utilizado adiante nos cálculos de demanda (D) para os estoques. Também é notável o mesmo padrão de maior necessidade de peças durante o verão, assim como uma maior variabilidade ao longo do tempo, representado pelo desvio padrão.

Vale lembrar que uma das limitações do modelo se refere à previsão de demanda. O presente estudo trabalhará com a premissa de que a demanda possui um componente previsível (representado pela média do período) e um componente aleatório (representado pelo desvio padrão amostral). Porém, um modelo mais robusto poderia utilizar diversas outras formas de previsão de demanda, tratando a parte previsível como a demanda prevista e a parte aleatória como erro histórico do modelo em relação a realidade.

Dessa forma, o presente trabalho se limita a um modelo de previsão mais básico, segregando dois períodos com demandas semelhantes e assumindo o desvio padrão como parte aleatória da demanda.

5.3 DADOS ADICIONAIS ÚTEIS AO CÁLCULO DE ESTOQUES

A decisão de dimensionamento de estoques é uma decisão que envolve mais do que somente os dados de demanda, envolvendo aspectos econômicos e estratégicos da empresa, bem como dados de mercado. Essas informações adicionais encontram-se abaixo após coleta com os setores pertinentes da empresa.

5.3.1 Dados de mercado

Esses são dados que são alheios a empresa, dizendo respeito ao ambiente externo, são eles:

5.3.1.1 *Hashprice média esperada*

Conceito aprofundado anteriormente, esse indicador é necessário para calcular o custo de oportunidade das peças em estoque. O setor de *Quant* da empresa (setor especializado em análises quantitativas com modelos preditivos avançados) estima a média desse indicador em 40 dólares para o ano de 2025. Essa estimativa vai de encontro com outras estimativas propostas por grandes

casas de análise do mercado cripto, de forma que proporciona uma certa segurança em relação aos valores de faturamento esperados.

5.3.1.2 *Custo de aquisição de uma máquina inteira em bom estado*

É de conhecimento comum do mercado que o valor das máquinas varia ao longo do tempo com certa correlação com o *Hashprice*. Por isso, é esperado que os valores de aquisição de máquinas não sejam estáveis ao longo do tempo, principalmente em momentos de volatilidade do preço do Bitcoin.

Além disso, outra prática das empresas do setor é a comercialização de unidades funcionais usadas entre empresas. Isso ocorre devido à diferença do custo de energia entre companhias, representando o maior custo das operações como já discutido anteriormente. Por isso, é comum em momentos de volatilidade a comercialização de unidades funcionais entre empresas, oferecendo boas oportunidades de aquisição de unidades com descontos sem ser necessariamente advindas de um fabricante.

Portanto, como simplificação, para esse modelo considerou-se um custo médio de 550 dólares por ASIC da linha A, independentemente se nova ou usada em bom estado. Esse valor já inclui o frete para o local de operação, como é de costume nos contratos comerciais desse tipo e sendo fornecido diretamente de Hong Kong por um parceiro comercial. Essa estimativa foi fixada após análise do setor de *Investment* da empresa (setor responsável pela criação de modelos econômicos e análise de investimentos) em conjunto com o setor responsável pelas compras.

5.3.2 Dados econômicos da empresa

Em contato com o setor de *Investment* especificamente, foram adquiridos os seguintes dados econômicos úteis ao modelo aqui proposto:

5.3.2.1 *Custo de energia:*

Esse custo é variável não só entre empresas, como muitas vezes entre localidades da mesma companhia. Por vezes também não chega a ser estável, mas para os modelos financeiros é necessário a estimativa de uma média desse custo ao longo do horizonte de análise.

Com esses fatos em mente, o setor financeiro estima o custo de energia dessa operação sendo o mesmo da matéria do Valor econômico de Bomfim (2024), sendo, portanto, de 40 dólares por MWh ou \$0,04 por kWh.

5.3.2.2 *Faturamento mensal esperado por ASIC*

O valor médio de 120 dólares por unidade, por mês, é fornecido com base nas estimativas de Hashprice bem como a eficiência das ASICs, ambos indicadores discutidos anteriormente. Esse é um dado relativamente simples de se obter, uma vez que os dados de eficiência por modelo são publicados pelas fabricantes e a previsão do *Hashprice* já foi estabelecida previamente. O número em questão foi fornecido, novamente, pela equipe de *Investment*, porém, também é facilmente realizado em calculadoras online especializadas.

5.3.2.3 *Lucro mensal esperado por ASIC*

O lucro mensal esperado por unidade é obtido por meio da subtração dos custos esperados (nesse caso específico, apenas energia) do faturamento esperado. Trata-se de uma estimativa simples já que se estima operação ininterrupta e tem-se a potência da ASIC e custo de energia associado. Portanto, por meio da multiplicação do consumo de energia ao longo do tempo pelo custo de energia, o setor de *Investment* obtém aproximadamente 81 dólares por unidade por mês.

5.3.2.4 *WACC (Weighted Average Cost of Capital)*

WACC é uma medida que calcula o custo médio que uma empresa paga por seu capital. Esse número é útil na presente análise devido a necessidade de calcular o custo indireto da aquisição de estoques que por sua vez necessitam de alocação de capital, sendo necessário ponderar seu custo associado.

Esse indicador pode variar bastante de acordo com o tamanho da empresa e setor relacionado, mas também se trata do quanto a análise visa ser conservadora ou não. Sem a pretensão de discorrer sobre o assunto, foi consultado o setor de *Investment* o qual estimou em 25% para o caso em questão.

5.3.2.5 *Revenue Share*

Alguns contratos com clientes preveem a cobrança de uma porcentagem relacionada ao faturamento da operação de mineração. Embora não esteja presente em todos os contratos, nem mesmo seja igual para os que possuem, para fins do modelo foi definido uma média de 5% de *Revenue Share*. Esse dado será utilizado para calcular o ganho direto da empresa com o aumento do faturamento de terceiros e pode ser alterado caso haja alguma necessidade específica.

5.3.2.6 *Nível de serviço*

Em conversa com o setor de RI (Relacionamento com os Investidores) determinou-se que um nível de serviço adequado para os estoques deve ser de 90% assim como já discutido também o tópico 4.3.5.

5.3.3 *Dados de ASICs e peças*

No geral, especificações técnicas sobre os modelos de máquinas são amplamente disponíveis ao público por meio dos sites das fabricantes ou por conhecimento geral da indústria. Porém, como ressaltado no início do capítulo de desenvolvimento, no presente estudo, o modelo exato foi censurado. Essa medida tem como objetivo preservar indicadores da frota de ASICs da empresa, bem como alguns dados específicos também. Assim, os seguintes elementos podem ser analisados sobre ASICs e peças.

Como um computador, a máquina é composta de diversos componentes entre conectores, peças especializadas e periféricos. Porém, considerando os principais elementos, pode-se simplificar sua composição em 4 elementos e suas características como na figura 31. Os valores foram estimados com o auxílio de fornecedores, setor de *Investment* e dados históricos de compra.

	Control Board	Fan	Dashboard	PSU
Quantidade por ASIC	1	4	3	1
Custo individualmente	\$60.00	\$9.00	\$160.00	\$106.00
Custo equivalente em conjunto	\$48.39	\$7.26	\$129.03	\$85.48
				Totais
Soma de peças individuais				\$682.00
Custo conjunto inteiro				\$550.00

Figura 31 - Composição da ASIC e custos relacionados

É evidente também que é mais economicamente viável a compra de unidades por completo do que comprar todas as peças individualmente, como também discutido anteriormente. Esse fator é importante para ser considerado durante a gestão do dia a dia podendo reduzir os custos de ressuprimento dos estoques caso haja a oportunidade de aquisição em conjunto.

Outros parâmetros importantes de operação incluem a eficiência energética média de 13,5 J/TH, o número total de 2 mil unidades na localização analisada e um poder de processamento nominal de 100 TH/s médio. Vale ressaltar que todos esses fatores foram coletados e validados em conjunto com tomadores de decisão, bem como responsáveis locais para garantir uma precisão adequada das estimativas.

5.3.4 Dados de logística interna e externa

Abaixo encontram-se outros fatores integrantes da análise de parâmetros de estoque:

5.3.4.1 *Tempo de Ressuprimento*

Um dos principais fatores determinantes dos parâmetros adequados de estoque é o tempo de ressuprimento, ou seja, o tempo desde o início do pedido, até que o item esteja disponível para uso. Esse tempo pode ser composto por diversos fatores, incluindo, mas não limitados, por exemplo, ao tempo de processamento interno, processamento do fornecedor, tempo de pagamento, duração do transporte e ocorrências inesperadas.

Na figura 32 encontra-se uma relação dos tempos e suas variações relacionadas aos pedidos de cada tipo de peça, dados esses fornecidos pelo time de campo em conjunto com a tesouraria da organização. Observa-se que os tempos são relativamente semelhantes, uma vez que os fornecedores por vezes são os mesmos, variando somente a dificuldade de acesso a níveis elevados de estoque.

	Control Board	Fan	Hashboard	PSU
Tempo de compra interno (mes)	0.5	0.5	0.5	0.5
Tempo de espera logístico do fornecedor (mes)	0.25	0.25	0.5	0.5
Tempo médio total do pedido (mes)	0.75	0.75	1	1
Desvio padrão de tempo de espera	0.25	0.25	0.5	0.5

Figura 32 - Tempos de pedido por peça

Também chama a atenção o fato de que grande parte do tempo de ressurgimento se deve ao tempo interno de processamento e pagamento dos pedidos. Esse alongamento do processo burocrático de compra é diretamente responsável por alterações em parâmetros do estoque, levando ao aumento de custos e redução de flexibilidade dos estoques.

Esse aspecto, por si só, já é passível de intervenção. Como será demonstrado nos cálculos dos parâmetros, o ponto de pedido é dependente desse tempo de pedido, sendo diretamente proporcional ao tempo de espera. Por isso, a redução desse fator tende a beneficiar os estoques, podendo realizar pedidos mais próximos do fim dos estoques. Assim, sugere-se também um esforço para a simplificação e estruturação dos processos de compra exercidos pela empresa, reduzindo os prazos de processamento de pedidos e, portanto, beneficiando os estoques.

Esses tempos exacerbados, também são passíveis de um estudo direcionado visando aumento de eficiência e criação de processos específicos, mas não é o foco do trabalho atual. Portanto, os números informados serão utilizados para o dimensionamento do modelo de acordo com a realidade atual da empresa

5.3.4.2 *Lote de pedido*

O presente estudo não tem como objetivo o aprofundamento da análise de lotes econômicos de pedido, este podendo ser apurado por meio de um estudo próprio. Por isso, foi fornecido pelo setor de tesouraria da empresa o lote médio comumente praticado, como discutido no tópico 4.3.8.

Esse lote se baseia em um pedido de 20 máquinas que, em conjunto, possuem a quantidade de peças indicadas abaixo (1 *Control Board*, 4 *Fans*, 3 *Hashboards* e 1 *PSU* por ASIC). Além disso, ressalta-se que, mesmo comprando separadamente, os lotes praticados se assemelhariam a essas quantidades comprando em unidades de ASIC completas. Por esse motivo, partiu-se da premissa

que o lote praticado é o lote econômico e possui as características apontadas abaixo.

Dito isso, na figura 33 observam-se os típicos lotes econômicos (Q) para cada peça, durante o período analisado:

	Control Board	Fan	Hashboard	PSU
Lote típico (unidades)	20	80	60	20
Custo individual	\$60.00	\$9.00	\$160.00	\$106.00

Figura 33 - Lote típico praticado para cada peça

5.4 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE ESTOQUE

Em posse de dados gerais de demanda por peças, custos relacionados a aquisição, tempos de espera para ressuprimento e as devidas variabilidades, é possível seguir para o cálculo em si.

Os dados necessários para os cálculos iniciam-se com a exposição da demanda média durante o período analisado (D) bem como o desvio padrão associado a esses dados (DP). Em seguida, expõe-se o nível de serviço desejado (NS) bem como os dados de tempo médio esperado para ressuprimento (T) e o desvio padrão associado (DPT), todos já discutidos anteriormente.

A seguir, é possível calcular outros fatores importantes, por exemplo, a demanda média durante o tempo de espera (DL), por meio da seguinte equação:

$$DL = D * T$$

E também o desvio padrão da demanda durante o tempo de espera para ressuprimento (DPDL) com a equação abaixo:

$$DPDL = DP * DPT$$

Agora, com as devidas medidas expostas, parte-se para determinação do primeiro parâmetro de estoque. O estoque de emergência (EE) é dimensionado buscando não esgotar o estoque durante o período de ressuprimento em uma determinada parcela das ocasiões. Para isso, é utilizado o coeficiente Z (pontuação padrão) que corresponde a uma probabilidade acumulada de 90% (nível de serviço

desejado). Em outras palavras, Z calcula o valor de uma variável aleatória normalmente distribuída padrão que corresponde à probabilidade representada pelo nível de serviço.

Portanto, para esse caso específico, utiliza-se Z de 90%, equivalente a aproximadamente 1,28. Ou seja, considerando variações normalmente distribuídas, o desvio padrão da demanda para o período de espera (DPDL) deve ser multiplicada por 1,28 para que, em 90% das variações, o estoque não seja esgotado. Apresenta-se um exemplo abaixo:

$$\text{Estoque de Emergência (EE)} = Z * (\text{DPDL})$$

Seguindo com os cálculos dos parâmetros de estoque, busca-se calcular o ponto de pedido ideal (PP) para que o próximo reabastecimento ocorra antes do esgotamento. O ponto de pedido é dado pela soma da demanda esperada durante o tempo de espera (DL) com o estoque de emergência (EE), como observado abaixo:

$$\text{Ponto de pedido (PP)} = DL + EE$$

Já o estoque cíclico (EC) é dado pela metade do lote de pedido apresentado no tópico 5.3.5.2 como (Q), uma vez que a demanda estimada para esse caso é constante, como demonstrado no cálculo abaixo:

$$\text{Estoque cíclico (EC)} = Q/2$$

Com todos esses parâmetros calculados, observa-se os resultados na figura 34 para o verão e na figura 35 para o inverno:

PARÂMETROS VERÃO	Control Board	Fan	Hashboard	PSU
(D) Demanda média (unidades)	10.7	44.8	28.4	16.0
(DP) Desvio padrão da média (unidades)	6.1	31.3	24.9	14.7
(NS) Nível de serviço desejado (%)	90%	90%	90%	90%
(T) Tempo médio de pedido (mês)	0.75	0.75	1	1
(DPT) Desvio padrão do tempo de espera do pedido (mês)	0.25	0.25	0.5	0.5
(DL) Demanda média durante o período de espera (unidades)	8.0	33.6	28.4	16.0
(DPDL) Desvio padrão da demanda durante o tempo de espera (unidades)	1.5	7.8	12.4	7.3
(EE) Estoque de emergência (unidades)	2	10	16	9
(PP) Ponto de pedido (unidades)	10	44	45	25
(EC) Estoque cíclico (unidades)	10	40	30	10
(EM) Estoque médio (unidades)	12	50	46	19

Figura 34 - Parâmetros de estoque para o verão

PARÂMETROS INVERNO	Control Board	Fan	Hashboard	PSU
(D) Demanda média (unidades)	6.9	31.7	20.1	15.4
(DP) Desvio padrão da média (unidades)	3.7	32.2	12.3	10.7
(NS) Nível de serviço desejado (%)	90%	90%	90%	90%
(T) Tempo médio de pedido (mês)	0.75	0.75	1	1
(DPT) Desvio padrão do tempo de espera do pedido (mês)	0.25	0.25	0.5	0.5
(DL) Demanda média durante o período de espera (unidades)	5.1	23.8	20.1	15.4
(DPDL) Desvio padrão da demanda durante o tempo de espera (unidades)	0.9	8.0	6.2	5.4
(EE) Estoque de emergência (unidades)	1	10	8	7
(PP) Ponto de pedido (unidades)	7	34	29	23
(EC) Estoque cíclico (unidades)	10	40	30	10
(EM) Estoque médio (unidades)	11	50	38	17

Figura 35 Parâmetros de estoque para o inverno

Por mais que os parâmetros sejam calculados separadamente por período e por peça, é interessante manter em mente o estoque médio entre os dois períodos para depois calcular os custos anuais associados. As médias anuais encontram-se na figura 36:

PARÂMETROS ANUAIS	Control Board	Fan	Hashboard	PSU
Estoque médio ao longo do ano (unidades)	11.5	50.0	42.0	18.0

Figura 36 - Estoque médio ao longo do ano por peça

No geral, observa-se uma variação maior dos dimensionamentos dos dois períodos do ano para as *Hashboards* uma vez que a diferença de demanda e variabilidade dessa peça é maior entre os períodos. Outro fator merecedor de destaque é o ponto de pedido reduzido no inverno para todas as peças, se devendo ao fato de que a demanda média é menor e o tempo de espera não se altera durante esses períodos.

5.5 CUSTOS RELACIONADOS AO MANTIMENTO DE ESTOQUE

Diferentes tipos de custos podem incidir sobre os estoques, podendo ser de cunho direto ou indireto como discorridos abaixo:

5.5.1 Custos diretos

Um dos principais custos diretos que incide sobre os estoques é o custo de pedidos, ou seja, o custo atrelado ao processo de compra em si. Para obter o custo total de pedidos, são necessárias as seguintes informações:

- I. **Custo unitário de pedido (CP):** Cada tipo de peça possui um custo de pedido atrelado, números esses fornecidos pela Tesouraria da empresa (CP)
- II. **Quantidade de pedidos por período:** Obtido dividindo a demanda total do período (D de 6 meses para esse caso) pelo tamanho do lote do pedido (Q), como a equação a seguir:

$$\text{Número de pedidos por período (N)} = D/Q$$

Então, para obter o custo total é necessário somente multiplicar o custo unitário do pedido (CP) pela quantidade de pedidos realizados durante o período (N) como observa-se na equação abaixo:

$$\text{Custo de pedido por período} = CP * N$$

No presente caso, foram separados os períodos de inverno e verão como anteriormente, sendo somados, posteriormente, para identificar o custo anual. Além disso, o custo total foi corrigido pelo custo de capital da empresa como observa-se na figura 37:

	Control Board	Fan	Hashboard	PSU
VERÃO				
(N) Número de pedidos por período (6 meses)	4	4	3	5
(CP) Custo por pedido	\$240.00	\$240.00	\$360.00	\$300.00
Custo de pedido por período (6 meses)	\$960.00	\$960.00	\$1,080.00	\$1,500.00
INVERNO				
(N) Número de pedidos por período (6 meses)	3	3	3	5
(CP) Custo por pedido	\$240.00	\$240.00	\$360.00	\$300.00
Custo de pedido por período (6 meses)	\$720.00	\$720.00	\$1,080.00	\$1,500.00
ANUAL				
Custo anual (soma dos períodos) corrigido pelo WACC	\$3,438.12	\$2,918.93	\$14,975.05	\$7,343.31
Custo total anual corrigido pelo WACC				\$28,675.41

Figura 37 - Custos diretos de estoque

5.5.2 Custos indiretos de estoque

O custo indireto pode ser calculado pelo custo de oportunidade perdido ao investir o capital da companhia no estoque considerando um outro investimento livre de risco por exemplo. Porém, especificamente no caso de mineração de Bitcoin, é possível estimar o quanto cada peça estaria produzindo se estivesse sendo empregada na mineração ao invés de imobilizada em estoque.

Apesar de ser impossível que uma peça de forma isolada produza fluxo financeiro, é possível estimar qual a porcentagem do faturamento de uma máquina completa essa peça representa por meio de premissas. Por isso, parte-se do princípio de que uma peça geraria uma receita proporcional ao seu custo individual em relação ao custo total de uma máquina completa (550 dólares). Nesse caso é importante lembrar que a ASIC possui mais de uma unidade de peça a depender do componente. Na figura 38 é possível observar essa relação:

	Control Board	Fan	Hashboard	PSU
Quantidade por ASIC	1	4	3	1
Custo individual	\$60.00	\$9.00	\$160.00	\$106.00
% do valor total da máquina (unidade)	8.8%	1.3%	23.5%	15.5%

Figura 38 - Valor individual equivalente de cada peça da ASIC nos lucros

Já para a estimativa de lucro de uma máquina individual (LE), a mesma é realizada utilizando a expectativa futura do *Hashprice* e custos de energia. Esse cálculo já foi fornecido pelo setor de *Quant* e discutido no tópico 5.3.2.1 e 5.3.2.2, sendo estimado em 81 dólares por mês, por ASIC desse modelo. Portanto, multiplicando o fator de representatividade (FR) da ASIC, pelo valor esperado,

obtém-se o fluxo financeiro esperado (LE) por unidade de cada tipo de peça como explicitado na equação a seguir:

$$\text{Lucro equivalente por peça por mês} = LI * FR$$

Portanto, sabendo o estoque médio durante o ano (obtido anteriormente), é possível estimar quanto essas peças poderiam gerar de fluxo de caixa adicional se estivessem sendo empregadas de forma individual. Já com a soma de cada (LE) calcula-se o lucro adicional anual total, que é equivalente ao custo de oportunidade desses estoques, observado na figura 39:

	Control Board	Fan	Hashboard	PSU
% do valor total da máquina (unidade)	8.8%	1.3%	23.5%	15.5%
(LE) Lucro equivalente por peça por mês	\$7.13	\$1.07	\$19.00	\$12.59
Lucro unitário adicional por ano	\$85.51	\$12.83	\$228.04	\$151.07
Estoque médio ao longo do ano (unidades)	11.5	50	42	18
Fluxo de caixa adicional do estoque	\$983.40	\$641.35	\$9,577.48	\$2,719.32
Lucro adicional anual total				\$13,921.55

Figura 39 - Estimativa do custo de oportunidade do estoque

5.5.3 Custos anuais totais

Para alguns outros cálculos, será necessário o custo total anual de solução. Dessa forma, esse número é obtido pela soma do custo direto (tópico 5.5.1) já corrigido pelo WACC e custo indireto de oportunidade (5.5.2) anualizados como explicitado na figura 40.

Custo direto anual corrigido pelo WACC	\$28,675.41
Custo direto de oportunidade anual	\$13,921.55
Custo anual total	\$42,596.96

Figura 40 - Custo anual total de estoques

5.5.4 Custos de implementação

Os custos dessa implementação podem ser divididos entre diretos e indiretos como apresentado a seguir.

5.5.4.1 *Aquisição Inicial*

O principal custo ainda não considerado é o custo de compra dos estoques iniciais, que representa o investimento necessário para adquirir as peças e insumos que compõem o nível de estoque dimensionado. Nesse ponto, é importante lembrar que a aquisição de peças de forma individual, somando aproximadamente 682 dólares por conjunto completo é mais cara do que a aquisição de uma unidade já operante por 550 dólares cada.

Portanto, esse custo inicial de aquisição pode ser otimizado por meio da aquisição de lotes de máquinas prontas, que frequentemente oferecem um preço menor em comparação à compra de cada peça separadamente. Além disso, a compra em lote não apenas reduz o custo por unidade, mas também pode agilizar o processo de reabastecimento, uma vez que garante a disponibilidade de múltiplas peças de uma só vez. Portanto, ao considerar os custos diretos da implementação do modelo, é fundamental analisar essas opções de compra que podem gerar economias significativas e contribuir para a eficiência financeira do início da operação.

Considerando os aspectos acima, assume-se que o ressuprimento inicial ocorreria por meio da compra de 20 máquinas completas, fornecendo a mesma quantidade usual de unidades de pedido usual das peças individuais como observado na figura 33. Para o cálculo dos custos por peça, é necessário apenas a multiplicação do custo individual equivalente no caso de compra em conjunto (apresentado no tópico 5.3.3) pela quantidade de peças obtidas. Já para o custo total, basta somar o custo de todas as peças ou simplesmente multiplicar a quantidade total de ASICs adquiridas (20 nesse caso) pelo custo unitário.

Além disso, como mencionado anteriormente, o custo de 550 dólares por máquina já inclui o frete como é costumeiro nessas negociações, de forma que o custo de pedido nessa análise pode ser desprezado. Porém, é necessário levar em conta o custo de capital desse dispêndio, sendo necessário adicionar a quantia de 25% desse valor, referente ao WACC, observado na figura 41.

Custo de uma máquina completa funcional com frete	\$550.00			
WACC	25%			
	Control Board	Fan	Hashboard	PSU
Quantidade de peças comprando 20 máquinas	20	80	60	20
Custo estimado de peças comprando ASIC completa	\$48.39	\$7.26	\$129.03	\$85.48
Custo inicial de aquisição por peça	\$967.74	\$580.65	\$7,741.94	\$1,709.68
Custo inicial total				\$11,000.00
Custo inicial total corrigido pelo WACC				\$13,750.00

Figura 41 - Custo de aquisição dos estoques iniciais

5.5.4.2 *Custo anual total esperado para iniciar a operação do modelo*

A implementação do modelo de estoques proposto não gera custos indiretos significativos além do custo de mantimento anual. Isso se deve ao fato de que a plataforma supervisória já possui a capacidade necessária para suportar o controle de inventário e a equipe está treinada para operar as ferramentas disponíveis. Dito isso, também é descartado o custo do tempo despendido pelos colaboradores na adaptação ao novo modelo bem como as possíveis adaptações físicas do local. Isso se justifica uma vez que esses custos já são considerados em custos operacionais da localidade específica, sendo então dispensada para essa análise.

Portanto, o custo total para iniciar, trata-se apenas da soma da aquisição inicial dos estoques com o custo anual de operação (custos diretos e indiretos tratados no tópico (5.5.3). Observa-se na figura 42, portanto um custo esperado para o primeiro ano de implementação de aproximadamente 56 mil dólares.

Custo direto anual corrigido pelo WACC	\$28,675.41
Custo direto de oportunidade anual	\$13,921.55
Custo anual de operação	\$42,596.96
Custo de aquisição inicial corrigido pelo WACC	\$13,750.00
Custo anual total para iniciar	\$56,346.96

Figura 42 - Custo total anual esperado para o primeiro ano dos estoques

Porém, é importante ressaltar que o custo direto anual de aproximadamente 28 mil dólares pode ser desprezado para realizar a análise de diferença de custos anuais nos casos com e sem os estoques. Isso se deve ao fato de que, possuindo estoques ou não, esses pedidos ainda precisarão ser realizados mesmo que de forma reativa as quebras. Portanto, a empresa já teria, de qualquer forma, no

mínimo os custos apontados, se não possivelmente maiores devido a não otimização dos pontos de pedido e lotes econômicos.

De qualquer forma, foi apresentado aqui o custo total da solução, não de forma comparativa, o que não deve apresentar prejuízo na análise dos tomadores de decisão desde que destacado o fato.

5.5.4.3 *Estratégia de mitigação de custos*

Como discutido anteriormente, a situação específica de negócios na qual a empresa se insere, proporciona alguns fatores diferenciais, são eles:

- Previsibilidade de faturamento devido ao Hashprice;
- Previsibilidade de custos por meio de eficiência energética;
- Intercambialidade de peças entre modelos específicos;
- Possibilidade de rápida mobilização e desmobilização de ASICs.

Por isso, como calculado pelo custo de oportunidade dos estoques, se essas máquinas estivessem funcionando, elas poderiam gerar renda. Já os dois últimos fatores possibilitariam a rápida extração de peças essenciais ao reparo de máquinas com necessidade de intervenção imediata. Tendo esses fatores em mentes, seria possível (limitado a disponibilidade de espaço físico dentro do Data Center) utilizar a totalidade das peças individuais ao longo do tempo para serem alocadas como ASICs funcionais e geradoras de renda.

Essa renda, por sua vez, poderia ser direcionada para aliviar os custos associados ao mantimento dos estoques ao longo do ano. Para isso, é possível estimar o adicional de renda que os estoques médios teriam ao longo do ano da mesma forma que o custo de oportunidade já discutido no item 5.5.2 sendo de aproximadamente 14 mil dólares anuais. Portanto, é possível subtrair desse custo anual esse mesmo custo de oportunidade, como demonstrado na figura 43:

Custo direto anual corrigido pelo WACC	\$28,675.41
Custo direto de oportunidade anual	\$13,921.55
Custo anual de operação com mitigação de custos	\$28,675.41
Custo de aquisição inicial corrigido pelo WACC	\$13,750.00
Custo anual total com estratégia de mitigação de custos	\$42,425.41

Figura 43 - Custo total anual esperado com mitigação de custos

Do ponto de vista operacional dessa estratégia, pouco mudaria para os operadores de campo, uma vez que eles já estão acostumados a realizar intervenções nas máquinas de acordo com a necessidade. A única diferença seria a necessidade de coletar as peças necessárias no estoque mobilizado para essa estratégia.

É válido considerar, também, que ao utilizar as peças de estoque como frota em utilização, é esperado que sejam apresentados quebras e necessidades referentes ao próprio estoque em si. Porém, isso poderia ser tratado da mesma forma que o restante da operação, com essas quebras sendo analisadas pelo sistema de manutenção e suas necessidades sendo consideradas no controle do estoque. Também é válido assumir que esse excesso de máquinas alterarão a necessidade média de peças ao longo do ano (D), porém, esse fator foi desconsiderado uma vez que o efetivo total do local analisado possui 2 mil unidades, e 20 unidades a mais representariam apenas uma diferença de 1%.

5.6 ESTIMATIVA DE IMPACTOS DO MODELO PROPOSTO

De forma análoga ao cálculo de custos indiretos do estoque, pode-se avaliar o custo de oportunidade perdido pelos clientes por não ter a possibilidade de atuar imediatamente nas quebras. Já com o modelo proposto, ou seja, nível de serviço de 90% para ação imediata é possível comparar as duas condições por meio de termos financeiros e, também pelo indicador de Hashdelivery.

Dessa forma, é explicitado o impacto do dimensionamento dos estoques de forma que seja possível apresentar para a liderança e tomadores de decisão. Os próximos tópicos irão discorrer sobre os impactos mencionados.

5.6.1 Custo de oportunidade dos tempos de parada

Para o cálculo da condição anterior ao modelo, assume-se que nenhuma necessidade de peças era atendida de forma imediata, sendo necessário esperar o tempo médio similar ao tempo de ressuprimento já mapeado para cada um dos casos. Assume-se também que todo tipo de quebra gera a paralização completa da ASIC e que o fluxo financeiro dela durante esse tempo é nulo.

Assim, é possível calcular o custo de oportunidade desse tempo de parada diretamente por meio da multiplicação do lucro esperado mensal (81 dólares como definido anteriormente), pelo tempo de parada (nesse caso a média T), pela quantidade de quebras esperadas no ano (12 vezes D que é a média total). O cálculo é demonstrado na equação a seguir e os resultados observam-se na figura 44:

$$\text{Custo de oportunidade de paradas} = 81 \text{ dólares} * T * 12 * D$$

Lucro mensal estimado por ASIC	\$81.00			
	Control Board	Fan	Hashboard	PSU
(T) Tempo médio de parada (mês)	0.75	0.75	1	1
Custo de oportunidade equivalente por mês	\$60.75	\$60.75	\$81.00	\$81.00
(D) Média de máquinas paradas por peça por ano	108	470	300	189
Custo de oportunidade (por tipo)	\$6,561.00	\$28,552.50	\$24,300.00	\$15,309.00
Custo de oportunidade anual total				\$74,722.50

Figura 44 - Custo de oportunidade de paradas antes do modelo

Já para o caso de atendimento dos casos de forma imediata (em 90% dos casos), os números de quebras esperadas se tornam 10% dos originais (10% dos casos não atendidos imediatamente). Por isso, como demonstrado na figura 45, o custo de oportunidade equivalente é bem menor.

Custo de oportunidade mensal da ASIC	\$81.12			
	Control Board	Fan	Hashboard	PSU
Tempo médio de parada (mês)	0.75	0.75	1	1
Custo de oportunidade estimado por quebra	\$60.84	\$42.59	\$81.12	\$81.12
Média de máquinas paradas por peça por ano	11	47	30	19
Custo de oportunidade (por tipo)	\$657.07	\$2,000.42	\$2,433.60	\$1,534.33
Custo de oportunidade anual total				\$6,625.42

Figura 45 - Custo de oportunidade dos períodos de parada com o modelo

É evidente e esperado que, com a implementação de um estoque bem dimensionado, o custo de oportunidade perdida seja reduzido (nesse caso apresentando uma redução esperada de aproximadamente 68 mil dólares). Porém, essa escolha é atrelada ao custo de mantimento desse estoque, como já demonstrado anteriormente, sendo necessária uma análise de viabilidade da solução que será realizada mais adiante no tópico 5.8.

5.6.2 Hashdelivery

Sendo o principal indicador responsável por demonstrar a saúde operacional é importante entender sua variação com a implementação do modelo. O cálculo desse indicador se torna simples uma vez que se entende que se trata apenas da razão entre o poder de processamento nominal (especificação do fabricante) e o poder de processamento médio ao longo do tempo.

$$\text{Hashdelivery} = \frac{\text{Poder de processamento entregue}}{\text{Poder de processamento esperado em condições ideais}}$$

O poder de processamento médio ao longo do tempo é impactado diretamente por fatores ambientais, estratégicos e outros como já explicitado anteriormente. Porém, como deseja-se analisar isoladamente o efeito da redução dos tempos de parada devido ao modelo de estoques pode-se realizar algumas simplificações. Assume-se que a ASIC opera em 100% de sua capacidade nominal ao longo do tempo e, ao sofrer uma quebra, seu funcionamento é interrompido, oferecendo 0% do poder de processamento nominal.

Devido a essa simplificação, é possível assumir que o poder de processamento esperado em condições ideais equivale a quantidade de máquinas disponíveis multiplicado pela quantidade de horas disponíveis. Assim, obtém-se uma certa quantidade de horas máquina esperadas para usar como referência nominal.

Da mesma forma que foi calculado o poder computacional nominal, é possível calcular o poder computacional entregue. Basta utilizar o tempo de parada (T) esperado por tipo de quebra, a estimativa de quebras durante o ano (D) e quantidade de máquinas da operação (2 mil unidades).

Com essas premissas estabelecidas, torna-se simples calcular o Hashdelivery em porcentagem antes e depois da solução. Observa-se na figura 46 e figura 47 o Hashdelivery com e sem o modelo proposto.

Horas totais no ano	8640			
Máquinas totais da operação (unidades)	2000			
	Control Board	Fan	Hashboard	PSU
Tempo médio de parada (mês)	0.75	0.75	1	1
Tempo médio de parada (em horas)	540	540	720	720
Média de máquinas paradas por peça por ano	108	470	300	189
Tempo total de horas máquina paradas	58320	253646	216000	136183
Tempo total de parada em horas máquina				664149
Horas máquina nominal da operação				17280000
Horas máquina efetiva (disponível - paradas)				16615851
Hashdelivery				96.16%
Pontos percentuais perdidos devido a paradas				3.84%

Figura 46 - Cálculo de Hashdelivery devido à falta de estoques

Horas totais no ano	8640			
Máquinas totais da operação (unidades)	2000			
	Control Board	Fan	Hashboard	PSU
Tempo médio de parada (mês)	0.75	0.75	1	1
Tempo médio de parada (em horas)	540	540	720	720
Média de máquinas paradas por peça por ano	11	47	30	19
Tempo total de horas máquina paradas	5832	25365	21600	13618
Tempo total de parada em horas máquina				66415
Horas máquina nominal da operação				17280000
Horas máquina efetiva (disponível - paradas)				17213585
Hashdelivery				99.62%
Pontos percentuais perdidos devido a paradas				0.38%

Figura 47 - Cálculo de Hashdelivery com o modelo de estoques

Vale ressaltar que essa conta de Hashdelivery foi realizada para analisar os efeitos das paradas por peças de forma isolada. Portanto, esses valores de Hashdelivery não consideram outros fatores que geram perdas operacionais. Dessa forma, o número mais interessante de analisar é na realidade a quantidade de pontos percentuais de Hashdelivery perdidos por paradas.

5.7 ADAPTAÇÕES E CUSTOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

O desenvolvimento do modelo quantitativo de estoques é somente uma parte do que é necessário para usufruir dos benefícios analisados, para a implementação do modelo é necessário a adaptação das rotinas e processos de

apoio, bem como o provisionamento dos custos atrelados. Por isso, os tópicos a seguir tratam dessas necessidades.

5.7.1 Rotinas e processos

O modelo assume que, por exemplo, o ponto de pedido de ressuprimento deve ocorrer precisamente em um nível determinado para o verão e outro para o inverno. Para isso, é necessário não só que haja o processo contínuo de verificação dos níveis de estoque, mas também do registro preciso da utilização das peças acompanhadas. Para isso, serão necessárias as seguintes implementações:

5.7.1.1 Configuração dos espaços de inventário no sistema supervisório

A empresa hoje possui um sistema supervisório utilizado para acompanhar a saúde individual de cada ASIC da operação. Esse sistema, além de apontar com relativa precisão as necessidades de peças em caso de quebra, pode também manter a relação de peças disponíveis em estoque para reparos.

A equipe de suporte ao campo, localizada no Brasil já é treinada para a operação da plataforma, bem como para a configuração dos parâmetros de estoque no sistema. Os parâmetros incluem as características da peça em estoque, sua quantidade atual, o ponto de pedido, o estoque de segurança bem como estatísticas de uso dos mesmos.

Portanto, torna-se responsabilidade do time de apoio essa configuração e acompanhamento dos pontos de pedido e estatísticas relacionadas para posterior análise.

5.7.1.2 Organização de almoxarifado

Será de responsabilidade do gestor do site a criação, manutenção e supervisão de um local controlado para o armazenamento físico do estoque dimensionado. Serão necessárias contagens semanais para comparar com o número presente na plataforma, bem como o registro de chegada de reabastecimentos com o devido processo documental.

Todas as peças que forem admitidas em estoque, seja ele ativo ou não (discutido no tópico 5.5.4.3 de mitigação de custos) deve ser devidamente identificada e controlada. Esse controle pode ser feito tanto por *tags* individuais,

quando por separação física dos itens quando for pertinente. Dessa maneira, evita-se imprecisões na identificação da origem e destino das peças.

5.7.1.3 *Rotina de registro e conferência de estoque*

Torna-se responsabilidade da equipe de campo o correto registro da utilização de qualquer item de estoque acompanhado pela plataforma. Esse registro deve ser realizado no momento da coleta do item no almoxarifado, sendo necessário o registro do responsável pela retirada, o destino da peça e a data do ocorrido.

Essa rotina se justifica não só pela necessidade de atualizar os níveis de estoque no sistema para que possam ser realizados pedidos no momento certo, mas também para a posterior análise e melhoria do sistema de previsão de demanda.

5.8 ANÁLISE DA VIABILIDADE DO MODELO DE ESTOQUES

Como apresentado no início do capítulo 5, o modelo proposto engloba não só o dimensionamento de estoques, mas também a análise dos custos, os impactos esperados e as alterações de rotinas e processos necessários para que o mesmo seja possível. Portanto, é necessário avaliar sua viabilidade nos tópicos a seguir.

5.8.1 Análise da pertinência das alterações propostas

Tratando inicialmente dos parâmetros de dimensionamento de estoques, os mesmos foram atribuídos de acordo com a metodologia apresentada, amplamente utilizada na gestão da cadeia de suprimentos, área também de responsabilidade da Engenharia de Produção. Os pontos de pedido, estoques de emergência e estoques médios foram calculados utilizando uma simplificação da previsão de demanda, no caso, quebra de peças.

Apesar dessa demanda ter sido separada em verão e inverno, é evidente que há a possibilidade de melhora dessa previsão utilizando métodos mais arrojados comparados com o que foram utilizados de fato. Porém, considerando o fato de que inicialmente a empresa atua de forma reativa e com pouco embasamento quantitativo em relação as manutenções, considera-se a presente proposta de melhoria pertinente.

Essa melhora, mesmo que podendo ser otimizada em um trabalho futuro, portanto, visa aumentar a qualidade do serviço oferecida ao mercado, aumentando a

disponibilidade dos serviços. Essa necessidade, como mencionado no capítulo 4, se torna cada vez maior, principalmente no presente ano com o *Hashprice* aumentando a exigência por serviços eficientes. Dessa forma, considera-se pertinente a criação de sistema de estoques, podendo melhorar o custo associado a paradas bem como o *Hashdelivery*, respectivamente abordados no tópico 5.6.1 e 5.6.2.

Já para que a operação de mantimento e controle de estoque possa ser realizado, foram propostas algumas alterações em rotinas e processos auxiliares. Apesar da otimização de elementos de apoio a operação não ser o foco do presente estudo, alguns pontos como o controle físico dos ativos bem como controle digital dos números são essenciais para que o sistema como um todo funcione.

O funcionamento dessas rotinas de apoio não só está diretamente ligado a pedidos realizados no momento correto, como também formam o alicerce sobre o qual novas previsões de demanda poderão ser construídas. Além disso, como mencionado anteriormente, as operações da empresa são espaçadas geograficamente, o que leva, inevitavelmente a dificuldades de gerenciamento a distância. Portanto, o correto funcionamento dessas rotinas também é responsável pela comunicação eficaz dos números gerenciados de forma remota pelos operadores de outras localidades.

Dito isso, não seria possível uma operação assertiva dos estoques sem que as proposições de alterações de rotinas e processos fossem acatadas, sendo as mesmas, portanto, essenciais ao modelo.

5.8.2 Análise da eficácia esperada pelo modelo

Mesmo que as soluções sejam pertinentes, a decisão de acatar ou não o modelo envolve mais do que a assertividade das proposições. Assim como é uma demanda de mercado um serviço de qualidade nesse momento difícil de mercado, é imperativo também manter as contas equilibradas. Portanto, a decisão de implementação ou não, passa pela ponderação entre efeito esperado e custo relacionado a solução.

O custo referente a solução de estoques já foi tratado no tópico 5.5.3 de modo que é conhecido e de aproximadamente 42 mil dólares anuais com a estratégia de mitigação de custos. Porém, as melhoras trazidas pela implementação possuem uma característica menos tangível além da redução de oportunidade

perdida discutida no tópico 5.6.1 de 68 mil dólares (redução de perda de oportunidade).

Tratando-se de um mercado competitivo, aberto e em constante expansão, indicadores operacionais ruins se traduzem em insatisfação dos clientes. Apesar de não ser possível precisar quanto a insatisfação do cliente custa ao caixa da empresa, é possível inferir que não deve ajudar em novos negócios, expansões, indicações, recompras, fortalecimento de imagem e outros aspectos menos tangíveis. Portanto cabe a empresa estabelecer onde está o equilíbrio da situação específica na qual está inserida, avaliando se há necessidade de aumentar a satisfação do cliente ou se uma pequena margem já teria maiores custos do que benefícios.

Porém, considerando o direcionamento estratégico advindo da alta gestão bem como relatos do setor de Relacionamento com Investidores indicam que há a necessidade de direcionamento de esforços maiores buscando a qualidade e, portanto, satisfação do cliente. Portanto, o autor considera as medidas e resultados esperados do presente estudo como pertinentes.

5.8.3 Avaliação por tomadores de decisão

Uma vez dispostos de todos os parâmetros de estoque, plano de implementação, custos associados, resultados esperados e alinhamento com objetivos estratégicos checados, é necessário a avaliação pelos reais tomadores de decisão. A avaliação poderia ser feita com gerentes, diretores ou conselheiros da empresa, porém, como o autor foi estagiário do COO (*Chief Operating Officer*), houve a abertura para que essa avaliação fosse feita por ele.

O COO, nesse caso específico também um dos sócios fundadores, desempenha um papel crucial na estrutura organizacional de uma empresa, sendo responsável por supervisionar as operações do dia a dia. Essa função é vital para garantir que os processos internos sejam executados de forma eficiente e eficaz, contribuindo diretamente para o alcance das metas estratégicas da organização. O COO gerencia áreas como produção, logística, atendimento ao cliente e gestão de recursos, assegurando que todos os departamentos estejam alinhados e operando em harmonia. Portanto, a validação do COO, caso positiva, permite a confirmação de que o modelo é pertinente e alinhado com os objetivos estratégicos da organização.

Portanto, foi apresentado o modelo geral de estoques para o COO em reunião particular do assunto. Nessa reunião, além de explicar passo a passo o modelo, foram apresentados os impactos esperados bem custos associados e alterações necessárias para implementação. Para finalizar a validação, foi pedido que ele respondesse as seguintes questões, para qual suas respostas foram transcritas:

- I. O dimensionamento dos estoques descrito segue uma linha de cálculo condizente com as necessidades específicas do setor de mineração de Bitcoin?

RESPOSTA: “Sim, seguem. Tem-se evidência tácita que os volumes apresentados atendem uma operação da dimensão projetada e admitem especificidades do mercado de mineração”.

- II. Na sua opinião, caso o modelo fosse implementado nos parâmetros descritos com os dados disponíveis, as melhorias esperadas viriam a se concretizar?

RESPOSTA: “Sim, um dos maiores motivos de parada na operação é a falta de peças e o mau dimensionamento de estoques. Com esse modelo, seria possível responder com agilidade as necessidades eventuais e aumentar a satisfação dos clientes.”.

- III. Caso a empresa tivesse a capacidade financeira de executar o modelo descrito, o senhor direcionaria recursos e esforços para executá-lo?

RESPOSTA: “Sem sombra de dúvida os recursos seriam aplicados na execução de uma sistemática de controle e gestão de estoques efetiva. O volume necessário representa uma fração muito pequena do total de CAPEX investido na operação total e pode gerar bons retornos alinhados com os princípios estratégicos da companhia.”.

Considerando o COO o melhor tomador de decisão para avaliar o modelo, bem como as respostas acima, considera-se o modelo validado e pertinente para a empresa em questão e seu contexto.

5.8.4 Análise dos resultados em relação a expectativa

Por mais que as soluções propostas sejam pertinentes, alinhadas com objetivos estratégicos e tenha a validação dos tomadores de decisão e especialistas do mercado, vale também uma análise do seu contexto.

O modelo demonstra uma necessidade média de aproximadamente 12 *Control Boards*, 50 *Fans*, 42 *Hasboards* e 18 *PSUs* ao longo do ano para uma frota de aproximadamente 2 mil máquinas operantes. Como demonstrado pela figura 48 essa quantidade de estoque não chega a representar nem 1% do total de peças de operação para cada tipo, sendo, nesse caso, praticamente irrisório comparado à frota total da empresa.

Frota total unidades		2000			
	Control Board	Fan	Hashboard	PSU	
Estoque médio ao longo do ano	11.5	50	42	18	
Componentes por ASIC	1	4	3	1	
Componentes totais da frota	2000	8000	6000	2000	
Representatividade do estoque na frota	0.58%	0.63%	0.70%	0.90%	

Figura 48 - Comparativo de estoques com frota total

Esses estoques possuem o custo anual calculado de aproximadamente 43 mil dólares ou 3500 dólares mensais. Esse valor é igualmente irrisório quando comparado a custos de energia pagos pela empresa, girando em torno de 250 a 300 mil dólares mensais. Portanto, mesmo os custos mensais de estoque, representariam menos de 2% dos custos com energia.

Ainda, esses 2% não poderiam ser comparados a 0% do estado anterior sem os estoques, uma vez que boa parte dos custos se trata dos custos de pedido ao longo do ano como tratado anteriormente, sendo esses, inevitáveis. Portanto, o custo relacionado ao mantimento desses estoques poderia ser facilmente absorvido nos custos operacionais da localidade sem muito prejuízo para a empresa.

Dessa forma, conclui-se que os números são bastante razoáveis de serem gerenciados e incluídos em rotinas do time operacional bem como planejamento financeiro da empresa.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES DE ESTUDOS FUTUROS

Nesse capítulo serão tratadas as considerações finais, sugestões de como aprofundar o assunto por meio de trabalhos futuros bem como as impressões pessoais do autor.

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o período do presente estudo, o autor participou ativamente do aperfeiçoamento das operações de mineração da empresa em que atua e pode-se afirmar que não haveria momento de desenvolvimento mais oportuno. A empresa encontra-se em plena expansão, e o mercado, como tratado na introdução, encontra-se em pleno vigor, aumentando a pressão sobre os competidores. Dessa forma, o trabalho em si foi importante não só para a conclusão do curso, mas também sinérgico com o caminho natural de evolução da empresa, tendo diversas vezes a empresa auxiliado no estudo e vice e versa. É satisfatória a conclusão de um ciclo e fechamento de um capítulo acadêmico, mas mais ainda, a aplicação dos conceitos na prática e usufruir dos impactos positivos gerados na organização.

Dito isso, o presente estudo explorou as implicações e os benefícios da aplicação de técnicas de gestão de qualidade e controle de estoques na mineração de Bitcoin, um setor emergente e altamente competitivo. A análise partiu do reconhecimento de que a mineração de criptomoedas, apesar de ser uma indústria recente, já enfrenta desafios operacionais complexos devido à intensiva utilização de ASICs, equipamentos especializados que exigem um elevado nível de manutenção e disponibilidade. Nesse contexto, a gestão eficiente de peças de reposição e o controle rigoroso de estoques tornam-se essenciais para garantir a continuidade das operações e a satisfação dos clientes, características abordadas no tópico 2.3 e também no 4.1.

Com base nas necessidades identificadas, foi desenvolvido um modelo de dimensionamento de estoques no capítulo 5, incluindo pontos de pedido, estoques de segurança e lotes econômicos especificamente para componentes críticos das ASICs (tópico) 5.4. O modelo também tratou de outras rotinas e processos necessários para a criação e mantimento desse processo contínuo de estoques

(tópico 5.7), criando assim um modelo geral para implementação das soluções em outras localidades ou empresas.

Este modelo busca mitigar os impactos das paradas operacionais e assegurar a disponibilidade de peças, elemento crucial para a manutenção preventiva e corretiva. A análise dos resultados (tratado no tópico 5.8) mostrou que a possível aplicação desse modelo resultaria em um aumento significativo no índice de Hashdelivery, indicador que mede a eficiência computacional em relação ao tempo de atividade bem como redução do custo de oportunidade perdida por paradas. Dessa forma, comprovou-se que um controle de estoques adequado não apenas diminui o tempo de inatividade, mas também otimiza o uso da infraestrutura existente, impactando positivamente a receita e a competitividade da empresa.

Além disso, a implementação de um sistema de controle de estoque, juntamente com processos estruturados de manutenção, contribui para o alinhamento da operação com os critérios de governança ambiental e social (ESG), especialmente no que tange à eficiência energética. Reduzir o tempo de inatividade dos equipamentos não só potencializa a utilização de recursos energéticos de forma mais sustentável, mas também atende à crescente demanda por práticas empresariais responsáveis no setor de tecnologia. Assim, o modelo proposto favorece não apenas os aspectos econômicos da operação, mas também a sua sustentabilidade, em sintonia com as expectativas de investidores e reguladores e a crescente pressão do mercado.

O estudo também evidenciou a importância da gestão de qualidade e de processos estruturados em um setor onde a inovação e a industrialização acontecem rapidamente. A formalização de processos para manutenções e o controle de estoques reforçam a profissionalização do setor, garantindo que as empresas respondam prontamente às demandas dos clientes e se adaptem a oscilações de mercado. Esse amadurecimento operacional agrega valor ao serviço, melhora a relação custo-benefício para os clientes e contribui para uma imagem positiva da empresa, fatores críticos para a retenção de clientes em um setor competitivo em expansão.

Além dos ganhos diretos, o modelo desenvolvido serve como base para futuras otimizações, ao possibilitar que a empresa adote soluções mais avançadas, como automação dos processos de inventário e previsão de demanda para peças de reposição. Com o aprimoramento dessas práticas, é possível que a operação ganhe

em agilidade e confiabilidade, assegurando uma disponibilidade ainda maior das máquinas e, conseqüentemente, melhorando a qualidade dos serviços. Esse aprimoramento contínuo pode colocar a empresa em uma posição vantajosa, com uma capacidade de resposta superior às flutuações de mercado e de demanda tecnológica, característicos do setor de criptomoedas.

Além disso, a análise de viabilidade mostrou que o modelo proposto é implementável e financeiramente justificável, uma vez que os custos associados ao sistema de estoque e manutenção são compensados pelos ganhos em disponibilidade e eficiência. O estudo conclui que, em um setor onde o tempo de atividade está diretamente relacionado à receita, o investimento em gestão de qualidade e controle de estoque não só se paga, mas também aumenta a resiliência e competitividade da empresa frente a adversidades. Este é um ponto fundamental, considerando a elevada volatilidade dos ganhos do setor e a natureza competitiva da mineração de Bitcoin, que exige dos operadores um uso cada vez mais racional dos recursos.

6.2 SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos, constata-se que os trabalhos futuros poderão focar na integração de ferramentas de análise de dados e inteligência artificial para monitorar e prever falhas nas ASICs, além de otimizar a gestão de estoques por meio de modelos preditivos. A utilização dessas tecnologias poderá complementar e expandir os benefícios do modelo atual, aprimorando o gerenciamento de peças de reposição e contribuindo para uma operação mais eficiente e sustentável. Com isso, espera-se reduzir ainda mais os custos operacionais e aumentar a disponibilidade dos equipamentos, fatores essenciais para a competitividade do setor.

Além disso, futuros estudos poderão explorar o direcionamento de melhorias processuais na área financeira, com ênfase na otimização dos tempos de processos recorrentes, como o fluxo de pagamentos. Esse enfoque visa reduzir o tempo de pedidos de peças e aumentar a assertividade e a confiabilidade nas transações financeiras, elementos críticos para assegurar um fluxo contínuo e descomplicado de reposição de peças. Com um sistema financeiro eficiente e bem alinhado ao controle de estoques, o processo de abastecimento e manutenção das ASICs tende a se tornar mais rápido e previsível, garantindo uma resposta ágil às demandas operacionais.

Assim, o estudo oferece não apenas uma solução imediata para os desafios do setor, mas também uma base sólida para o desenvolvimento contínuo e adaptativo, que poderá acompanhar as rápidas mudanças trazidas pela tecnologia e pelo mercado. A visão integrada entre áreas como manutenção, estoque e finanças reforça a importância de uma abordagem sistêmica, alinhando a operação às melhores práticas de engenharia de produção, para manter a competitividade e a sustentabilidade em um setor que exige respostas ágeis e eficientes.

A frase de John McAfee — *"You can't stop things like Bitcoin. It will be everywhere, and the world will have to readjust"* — reflete a inevitabilidade de evolução e amadurecimento do setor. Assim como o Bitcoin seguirá ganhando espaço, também será inevitável a profissionalização da mineração e sua adaptação aos mais elevados padrões de gestão industrial. Ao aplicar metodologias consagradas da engenharia de produção, a indústria de mineração de Bitcoin avança para um patamar mais sólido e sustentável, mostrando que, para prosperar nesse mercado em constante expansão, será necessário não apenas sobreviver, mas se reinventar continuamente e, por sua vez, o autor está mais do que alegre de fazer parte dessa evolução.

REFERÊNCIAS

ALVES, Maria Bernadete Martins; ARRUDA, Susana Margareth. Como fazer referências: bibliográficas, eletrônicas e demais formas de documento. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Biblioteca Universitária, c2001. Documento não publicado.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASIC-MINER-VALUE (Estados Unidos). Miners profitability. 2024. Site Iterativo. Disponível em: www.ASICminervalue.com. Acesso em: 15 maio 2024.

CHOPRA, Sunil. Supply Chain Management: strategy, planning, and operation. 7. ed. [S. L.]: Pearson, 2019. Kindle.

CRUZ, Caio Felipe Da. Os Efeitos Da Internet Das Coisas (IoT) Em Linhas De Montagens: Estudos De Caso Na Indústria De Autopeças. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - UNINOVE, São Paulo, 2020.

DIMITRI, Nicola. Bitcoin Mining as a Contest. Ledger Journal. Siena, p. 1-7. 01 set. 2017. Disponível em: <https://www.ledgerjournal.org/ojs/ledger/article/view/96/67>. Acesso em: 30 set. 2024.

EL SALVADOR. BITCOIN DIPLOMA. Bitcoin Diploma: financial education for the bitcoin era. [S. L.]: [S. L.], 2024. 175 p. Material de capacitação do governo de El Salvador. Disponível em: <https://pt.myfirstbitcoin.io/>. Acesso em: 2 jun. 2024.

ENGEFAZ (Brasil). Conceitos de Manutenção. 2024. Site da Engefaz. Disponível em: <https://www.engefaz.com/conceitos-de-manutencao/>. Acesso em: 10 set. 2024.

FONSECA, J.j.s. Metodologia da pesquisa científica. 2002. 59 f. Tese (Doutorado) - Uec, Fortaleza, 2002.

FORKER, Laura B.; VICKERY, Shawnee K.; DROGE, Cornelia L.M. The contribution of quality to business performance. *International Journal Of Operations & Production Management*, [S.L.], v. 16, n. 8, p. 44-62, 1 ago. 1996. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/01443579610125778>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/01443579610125778/full/html>. Acesso em: 29 set. 2024.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. *Métodos de Pesquisa*. Porto Alegre: Editora da Ufrgs, 2009. 118 p. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/52806>. Acesso em: 3 jun. 2023.

GÜNTHER, Hartmut. Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão? *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 201-209, ago. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-37722006000200010>.

HASHRATE INDEX. Hashrate Index. Conversor de Hashrate. 2024. Site Iterativo. Disponível em: <https://hashrateindex.com/tools/hashrate-converter>. Acesso em: 7 set. 2024.

JURAN, Joseph M.; GODFREY, A. Blanton. *JURAN'S QUALITY HANDBOOK*. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 1998. First Edition of this handbook (1945).

KIM, Christine. *The Rise of ASICs: A Step-by-Step History of Bitcoin Mining*. 2020. Disponível em: <https://www.coindesk.com/tech/2020/04/26/the-rise-of-ASICs-a-step-by-step-history-of-bitcoin-mining/>. Acesso em: 20 jun. 2024.

LOVE, Stephen F.. *Inventory Control*. Michigan: McGraw-Hill, 1979.

LOPES, Janice Correia da Costa. *Gestão de qualidade: decisão ou constrangimento estratégico*. *Decisão ou constrangimento estratégico*. 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.26/13214>. Acesso em: 9 out. 2024.

LUXOR. Hashrate Index. Energy Prices in US. 2024. Site Iterativo. Disponível em: <https://data.hashrateindex.com/energy-markets/energy-prices>. Acesso em: 10 ago. 2024.

MEDRI, Waldir. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS. Londrina: Uel, 2011.

MEMPOOL. Mempool Space. 2024. Site Iterativo. Disponível em: <https://mempool.space/pt/mining>. Acesso em: 17 maio 2024.

METEOBLUE: Dados Históricos de Clima. Dados Históricos de Clima. 2024. Site Iterativo. Disponível em: <https://www.meteoblue.com> Acesso em: 20 out. 2024.

MINEIRO, Márcia; SILVA, Mara A. Alves da; FERREIRA, Lúcia Gracia. PESQUISA QUALITATIVA E QUANTITATIVA: imbricação de múltiplos e complexos fatores das abordagens investigativas. Momento - Diálogos em Educação, [S. L.], v. 31, n. 03, p. 201-218, 26 nov. 2022.

NAKAMOTO, S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Eletronic Cash System. [S.l.s.n.], 2008. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2024.

PALADINI, Edson Pacheco. As bases históricas da gestão da qualidade: a abordagem clássica da administração e seu impacto na moderna gestão da qualidade. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X1998000300002>. Acesso em: 28 set. 2024.

PALADINI, Edson Pacheco. Gestão e Avaliação da Qualidade: uma abordagem estratégica. São Paulo: Atlas, 2019a. ISBN 85-9702-230-2.

ROSENFELD, Meni. Predicting Block Halving Party Times. 2017. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1708.05185v1>. Acesso em: 19 jun. 2024.

SANT'ANA, Gisele Dessoles; SILVA, Hebert Roberto da. Análise do setor de manutenção em uma indústria de beneficiamento de semente de milho / Maintenance sector analysis in a corn processing industry. Brazilian Applied Science Review, [S.L.], v. 4, n. 6, p. 3864-3887, 2020. Brazilian Applied Science Review. <http://dx.doi.org/10.34115/basrv4n6-044>.

THIOLENT, Michel. Metodologia de Pesquisa-Ação. 2. ed. São Paulo: Cortez Editora, 1947. 109 p.

TOMATSU, Yusuke; HAN, Wenlin. Bitcoin and Renewable Energy Mining: a survey. Blockchains, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 90-110, 7 dez. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/blockchains1020007>.

TRADINGVIEW. Preço do Bitcoin em dólares. 2024. Site Iterativo. Disponível em: <https://br.tradingview.com/chart/?symbol=BITSTAMP%3ABTCUSD>. Acesso em: 11 nov. 2024.

TRIPP, David. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. Educação e Pesquisa, [S.L.], v. 31, n. 3, p. 443-466, dez. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-97022005000300009>.

VALKENBURGH P.V I. The Best explanation of BITCOIN you will ever hear. Washington, D.C.: Lets Bcs, 2022. Son., color. Legendado. Transmissão de sessão do congresso dos Estados Unidos. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=HzxKs-Jd0H4&ab_channel=LetsBCS. Acesso em: 15 maio 2024.