

PEDRO LUCAS CAMPOS JORGE

**EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DOS MINERADORES CONTÍNUOS NA
LAVRA SUBTERRÂNEA**

São Paulo

2021

PEDRO LUCAS CAMPOS JORGE

**EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DOS MINERADORES CONTÍNUOS NA
LAVRA SUBTERRÂNEA**

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas do curso de graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Orientadora: Prof. ^a Dr. ^a Anna Luiza M. Ayres da Silva

São Paulo

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Jorge, Pedro Lucas Campos

EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DOS MINERADORES CONTÍNUOS NA
LAVRA SUBTERRÂNEA / P. L. C. Jorge -- São Paulo, 2021.

59 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1.Mineração subterrânea 2.Desmonte de rochas 3.Mineração de carvão
4.Mineração de minerais industriais I.Universidade de São Paulo. Escola
Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

Dedico este trabalho à minha família, aos amigos e aos professores que contribuíram, cada um à sua maneira, para que eu me tornasse quem sou hoje.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado todas as oportunidades que tive, todas as pessoas excepcionais que tenho ao meu lado e toda a força nos momentos difíceis.

À minha mãe Láiza, ao meu pai Zuca e à minha irmã Bruna, pelo apoio incondicional e pela compreensão em todos os momentos.

À minha orientadora Prof. ^a Dr. ^a Anna Luiza M. Ayres da Silva, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória e por todo o suporte fornecido, sempre com muita dedicação e cordialidade.

A todos os professores do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP, pela didática ímpar nas aulas ministradas.

Ao Prof. Dr. Adilson Curi, que me presenteou com um exemplar de seu excelente livro “Lavra de Minas”, uma das referências desta pesquisa.

Às empresas mineradoras que colaboraram com a pesquisa e aos seus colaboradores que responderam ao formulário enviado, pela atenção despendida.

Aos meus amigos, pelo companheirismo de sempre e por todos os momentos de descontração no 23A, no 4B e em tantos outros lugares.

Aos meus colegas de sala, pela colaboração mútua nos estudos e trabalhos.

Aos meus colegas da engenharia química, que me acolheram no início da graduação.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

Mineradores contínuos são equipamentos que realizam o desmonte mecânico de rochas brandas por mecanismos de corte/escarificação. Em minas subterrâneas de carvão ou de potássio, que utilizam o método de lavra por frentes longas ou por pilar e salão, podem atuar mineradores contínuos projetados especificamente para cada tipo de rocha e método de lavra utilizado. Mineradores contínuos subterrâneos existem desde a primeira metade do século XX. Alguns deles conservam a mesma ideia básica de funcionamento até os dias atuais, mas todos os tipos de mineradores passaram por uma série de desenvolvimentos tecnológicos ao longo dos anos, que nem sempre são descritos na literatura em nível de detalhe. Pensando nisso, por meio de uma pesquisa bibliográfica abrangente e aprofundada buscou-se compreender: as motivações desses desenvolvimentos tecnológicos, quais foram os principais desenvolvimentos, quais são os aprimoramentos mais atuais (decorrentes da difusão nos últimos anos da tecnologia de sensores e da Internet das Coisas, por exemplo) e quais são as contribuições da evolução tecnológica dos mineradores contínuos subterrâneos para a mineração subterrânea. Também é apresentado um levantamento sobre a utilização desses equipamentos no Brasil. Entre outras constatações, o levantamento aponta que 68,4% dos 19 mineradores contínuos para subsolo em atividade no país possuem cabeça de corte do tipo raspadora e são empregados em minas de carvão no estado de Santa Catarina. Os outros 31,6% representam mineradores com cabeça de corte com movimento giratório, empregados na mina de potássio Taquari-Vassouras (Sergipe). Todas essas minas aplicam o método de lavra por pilar e salão.

Palavras-chave: Lavra subterrânea. Mineradores contínuos subterrâneos. Mineração de carvão. Mineração de potássio.

ABSTRACT

Continuous miners are equipment that perform mechanical excavation of soft rock by cutting/scouring mechanisms. In underground coal or potash mines, which use Longwall or Room and Pillar mining methods, continuous miners specifically designed for each rock type and mining method can operate. Underground continuous miners have been around since the first half of the 20th century. Some of them retain the same basic idea of operation nowadays, but all types of continuous miners have undergone a series of technological developments over the years, which are not always described in detail in literature. With this in mind, by means of an embracing and in-depth literary research, the objective was to understand some topics: the motivations for these technological developments, what were the main developments, what are the current enhancements (due to the diffusion in recent years of sensor technology and Internet of Things, for example) and what are the contributions of the technological evolution of underground continuous miners to underground mining. A survey on the use of these equipment in Brazil is also presented. Among other findings, the survey shows that 68.4% of the 19 underground continuous miners in activity are drum-type continuous miners used in coal mines in the state of Santa Catarina. The other 31.6% represent boring miners, used at the Taquari-Vassouras potash mine (state of Sergipe). All these mines apply the Room and Pillar mining method.

Keywords: Underground mining. Underground continuous miners. Coal mining. Potash mining.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema simplificado de operações de lavra contínua de carvão.	15
Figura 2 - Lavra por frentes longas em mina subterrânea de carvão.	18
Figura 3 - Mecanização da lavra por frentes longas na Alemanha.	19
Figura 4 - Lavra por pilar e salão em mina subterrânea de carvão.	20
Figura 5 - Minerador <i>Iron Miner</i> , 1938 (esq.) e “cortador de carvão” de correntes, 1957 (dir.).	24
Figura 6 - Diagrama esquemático de um <i>Shearer</i>	24
Figura 7 - <i>Shearer</i> de tambor único com braço articulado.	25
Figura 8 - <i>Shearer</i> de dois tambores de corte, modelo Komatsu 7LS5.	26
Figura 9 - <i>Shearer</i> compacto, fotografado em superfície.	27
Figura 10 - Sistemas de alimentação por cremalheira antigo (esq.) e atual (dir.).	28
Figura 11 - Braço articulado com jogo de engrenagens planetárias duplas.	29
Figura 12 - <i>Shearer</i> modelo CAT EL4000.	30
Figura 13 - Mineradores alemães <i>Einheitshobel</i> (esq.) e <i>Lobbehobel</i> (dir.), em operação nos anos 40 e 50.	31
Figura 14 - Principais componentes de um minerador <i>Plow</i>	32
Figura 15 - Esquema de <i>Plow</i> com o guia instalado na traseira (sup.) e na parte frontal (inf.) do AFC.	32
Figura 16 - Minerador alemão <i>Gleithobel</i> GH 42 operando em mina de carvão.	34
Figura 17 - Minerador contínuo Joy 1CM operando em mina de carvão nos EUA. ..	35
Figura 18 - Minerador contínuo Komatsu Joy 12CM12 e seus principais componentes.	36
Figura 19 - Minerador contínuo Sandvik MR361.	37
Figura 20 - Minerador contínuo Sandvik MF320 de dois rotores no interior de uma mina de sal.	40
Figura 21 - Minerador contínuo Marietta de quatro rotores no interior de uma mina de sal.	41
Figura 22 - Formulário elaborado via plataforma <i>Google Forms</i> e enviado a representantes de empresas mineradoras (parte 1 de 2).	54
Figura 23 - Formulário elaborado via plataforma <i>Google Forms</i> e enviado a representantes de empresas mineradoras (parte 2 de 2).	55
Figura 24 - Cronologia dos principais desenvolvimentos tecnológicos em <i>Shearers</i> , tendo como base especificações de mineradores do fabricante Eickhoff.	56
Figura 25 - Cronologia dos principais desenvolvimentos tecnológicos em <i>Plows</i> , tendo como base especificações de mineradores do fabricante Eickhoff.	57
Figura 26 - Vista dianteira (esq.) e traseira (dir.) de um minerador contínuo Komatsu Joy 14CM09 adaptado da Rio Desert, atualmente em operação na mina Cruz de Malta (SC).	58
Figura 27 - Minerador Marietta 900 na mina Taquari-Vassouras (SE) – Mosaic Fertilizantes.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos principais métodos de lavra subterrânea.....	17
Tabela 2 - Especificações de <i>Shearers</i> Komatsu.	30
Tabela 3 - Especificações de <i>Shearers</i> Caterpillar.....	30
Tabela 4 - Especificações de <i>Plows</i> Caterpillar.....	34
Tabela 5 - Especificações de Mineradores contínuos Komatsu Joy das séries 12CM e 14CM.	39
Tabela 6 - Especificações de mineradores contínuos Sandvik da série MR.	39
Tabela 7 - Especificações de mineradores contínuos Sandvik da série MF.	41
Tabela 8 - Minas subterrâneas brasileiras de carvão mineral ou potássio e informações úteis.	42
Tabela 9 - Minas brasileiras que empregam mineradores contínuos na lavra subterrânea e descrições dos equipamentos.	44
Tabela 10 - Mineradores contínuos subterrâneos em operação no Brasil em 2021.	47
Tabela 11 - Métodos variantes de lavra que empregam mineradores contínuos subterrâneos.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

AFC	<i>Armored Face Conveyor</i>
C-L-A	Comprimento - Largura - Altura
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
Coop. Ext.	Cooperativa Extrativista
dir.	Direita
esq.	Esquerda
EUA	Estados Unidos da América
IA	Inteligência Artificial
inf.	Inferior
IoT	<i>Internet of Things</i>
KCl	Cloreto de Potássio
kg	Quilogramas
kN	Quilonewtons
kW	Quilowatts
LHD	<i>Load, Haul, Dump</i>
LTCC	<i>Longwall Top Coal Caving</i>
m	Metros
m/s	Metros por Segundo
m ³ /h	Metros Cúbicos por Hora
mm	Milímetros
NaCl	Cloreto de Sódio
PR	Paraná
QT-CM	<i>Quiet Tail Continuous Miner</i>
RAG	<i>Ruhrkohle AG</i>
rpm	Rotações por Minuto
RS	Rio Grande do Sul
SC	Santa Catarina
SE	Sergipe
sup.	Superior
t	Toneladas
TC	Transportador de Correia
V	Volts
Vel. máx. desloc.	Velocidade Máxima de Deslocamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1 MINERADORES CONTÍNUOS NA LAVRA SUBTERRÂNEA.....	14
3.2 MÉTODOS DE LAVRA SUBTERRÂNEA.....	16
3.2.1 Lavra por Frentes Longas (<i>Longwall</i>).....	17
3.2.1.1 Lavra por Frentes Curtas (<i>Shortwall</i>).....	19
3.2.2 Lavra por Pilar e Salão (<i>Room and Pillar</i>).....	19
4 METODOLOGIA E DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE TRABALHO	21
4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	21
4.2 MINERADORES CONTÍNUOS SUBTERRÂNEOS NO BRASIL	22
5 RESULTADOS	23
5.1 MINERADORES CONTÍNUOS EM LAVRA POR FRENTES LONGAS (<i>LONGWALL</i>).....	23
5.1.1 <i>Shearer</i>	23
5.1.1.1 Origem.....	23
5.1.1.2 Funcionamento	24
5.1.1.3 Tipos de <i>Shearer</i>	25
5.1.1.4 Evolução Tecnológica dos Componentes	27
5.1.1.5 Especificações dos Equipamentos Atuais	29
5.1.2 <i>Plow</i>	31
5.1.2.1 Origem.....	31
5.1.2.2 Funcionamento	31
5.1.2.3 Tipos de <i>Plow</i>	32
5.1.2.4 Evolução Tecnológica dos Componentes	33
5.1.2.5 Especificações dos Equipamentos Atuais	34
5.2 MINERADORES CONTÍNUOS EM LAVRA POR PILAR E SALÃO (<i>ROOM AND PILLAR</i>).....	35
5.2.1 Cabeça Cortante Raspadora	35
5.2.1.1 Origem.....	35
5.2.1.2 Funcionamento	36
5.2.1.3 Evolução Tecnológica dos Componentes	37
5.2.1.4 Especificações dos Equipamentos Atuais	38
5.2.2 Cabeça Cortante com Movimento Giratório	39
5.2.2.1 Origem.....	39
5.2.2.2 Funcionamento	40

5.2.2.3 Especificações dos Equipamentos Atuais	41
5.3 MINERADORES CONTÍNUOS SUBTERRÂNEOS NO BRASIL	42
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	45
6.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	45
6.2 MINERADORES CONTÍNUOS SUBTERRÂNEOS NO BRASIL	46
7 CONCLUSÃO	47
7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	48
REFERÊNCIAS	49
APÊNDICE A – MINERADORES CONTÍNUOS SUBTERRÂNEOS EM LAVRA POR MÉTODOS VARIANTES DE FRENTES LONGAS	52
APÊNDICE B – FORMULÁRIO DO LEVANTAMENTO SOBRE MINERADORES CONTÍNUOS SUBTERRÂNEOS NO BRASIL	54
ANEXO A – ESCALAS CRONOLÓGICAS DE DESENVOLVIMENTOS TECNOLÓGICOS	56
ANEXO B – FOTOGRAFIAS DE MINERADORES CONTÍNUOS SUBTERRÂNEOS EM OPERAÇÃO NO BRASIL	58

1 INTRODUÇÃO

Desde o advento da dinamite, no século XIX, provavelmente o maior avanço nas técnicas de desmonte na lavra de minas foi a introdução do minerador contínuo, por volta do ano de 1940 (HARTMAN; MUTMANSKY, 2002). Apesar de não apresentarem a mesma versatilidade do desmonte por explosivos, os mineradores contínuos configuram um marco revolucionário no universo da lavra (subterrânea, principalmente) por uma série de fatores, como a segurança propiciada às operações e a possibilidade de um aumento expressivo de produtividade, devido à rapidez do desmonte mecânico (BUSFIELD, 2011).

Os mineradores contínuos são equipamentos que retiram e fragmentam o minério do maciço rochoso por meio de mecanismos diversos de corte/escarificação da rocha diretamente na face livre. São pesados, volumosos e precisam se apoiar e se locomover em superfícies horizontais ou levemente inclinadas, fatores que representam alguns motivos pelos quais o uso desses equipamentos é restrito. Além disso, para que seja viável o uso de mineradores contínuos, o mineral de minério deve estar contido em rochas brandas (de baixa resistência mecânica) para que o mecanismo cortante seja capaz de remover e fragmentar o material (CURI, 2017).

Apesar de todas as limitações, é de suma importância a existência de uma alternativa ao desmonte por explosivos, mesmo que apenas em determinadas condições. Nessas condições, pode-se comparar as vantagens e desvantagens de cada técnica de desmonte a fim de empregar a mais adequada em cada caso específico, ponderando produtividade, consumo energético, custos totais, investimentos necessários, impactos ambientais e segurança da operação, por exemplo.

Quando o desmonte é feito por explosivos, a lavra é denominada lavra cíclica. Na lavra subterrânea cíclica, são realizadas operações unitárias sequenciais incluindo perfuração, preenchimento dos furos com explosivos, detonação (desmonte), carregamento e transporte do material desmontado, ventilação, limpeza da frente de lavra, aparafusamento, entre outras, que se repetem em ciclos (ATLAS COPCO, 2014). Já os mineradores contínuos recebem tal nomenclatura devido à continuidade

que estes fornecem à lavra. Enquanto o minério é escarificado e desprendido da frente de lavra por um longo período, atuam mecanismos para remover e transportar o material lavrado e para manter a segurança e a estabilidade do painel de lavra.

Os aspectos supracitados sobre os mineradores contínuos podem ser observados como características gerais desses equipamentos. Os mineradores contínuos, porém, estão divididos entre mineradores para lavra a céu aberto e para lavra subterrânea. Os últimos, que são objetos de estudo do presente trabalho, estão ainda divididos pelos métodos de lavra subterrânea aplicáveis, sendo os principais a lavra por pilar e salão (*Room and Pillar*) e a lavra por frentes longas (*Longwall*) ou frentes curtas (*Shortwall*). Não obstante, para cada método, estão subdivididos em diferentes tipos.

Apesar da importância indiscutível dos mineradores contínuos na indústria mineral, pouco se sabe sobre o seu desenvolvimento tecnológico ao longo da história e sobre os seus atuais aprimoramentos, decorrentes da difusão nos últimos anos da tecnologia de sensores e da Internet das Coisas (*Internet of Things*, IoT), por exemplo. Da mesma forma, são poucas as informações na literatura sobre o seu emprego atualmente nas minas brasileiras. São esses os principais fatores que motivaram o desenvolvimento desse estudo.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho é uma obra predominantemente bibliográfica sobre mineradores contínuos subterrâneos, com foco, portanto, nas características construtivas e nos desenvolvimentos tecnológicos empreendidos ao longo dos anos na fabricação e na operação desses equipamentos. Ao tratar sobre a utilização dos mineradores contínuos em subsolo, o trabalho também explica em nível de detalhe o funcionamento dos diferentes tipos dessas máquinas de desmonte mecânico e promove comparações entre características e especificações de máquinas do mesmo tipo ou de diferentes tipos, com o objetivo de facilitar o entendimento acerca do tema.

Ademais, o trabalho visa apresentar ao leitor quais minas brasileiras utilizam hoje mineradores contínuos, de quais tipos e o estágio tecnológico atual deste cenário.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para contextualizar o tema central do presente trabalho, primeiramente tem-se uma visão geral da aplicação dos mineradores contínuos na lavra subterrânea. Em seguida, o enfoque é dado nos métodos de lavra em subsolo, passando por princípios que guiam a seleção de determinado método em uma jazida, pelos principais métodos de lavra subterrânea existentes e, em nível maior de detalhe, pela descrição daqueles que permitem o emprego de mineradores contínuos.

3.1 MINERADORES CONTÍNUOS NA LAVRA SUBTERRÂNEA

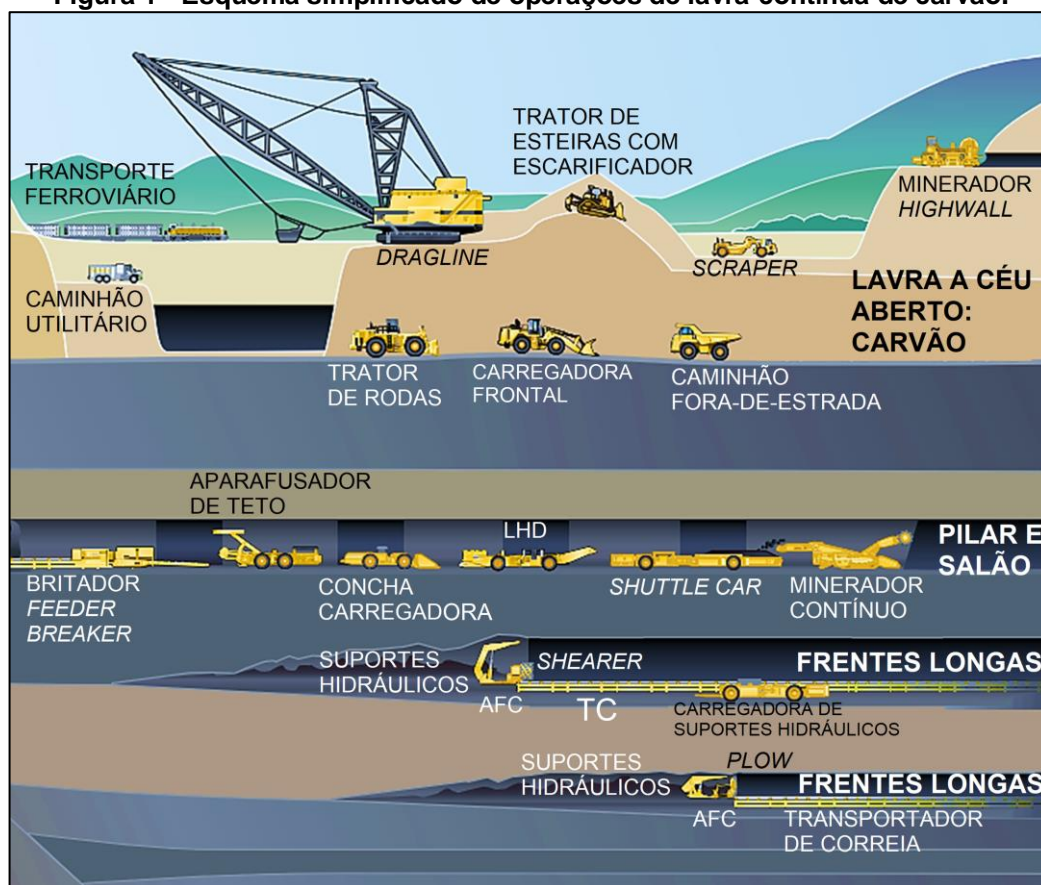
Os mineradores contínuos subterrâneos permitem a escavação quase que ininterrupta de corpos de minério subterrâneos, quando estes se encontram na forma de rochas brandas escarificáveis. Dentre os tipos de depósitos conhecidos, os que atendem a tais condições são, principalmente, depósitos de carvão mineral e de sais (Silvina – KCl e Halita – NaCl). Além disso, os corpos de minério devem ser horizontais ou sub-horizontais para permitir que os mineradores contínuos se apoiem e se locomovam. A espessura do minério, entretanto, não é um fator tão determinante. Mineradores contínuos são capazes de minerar em corpos de minério com espessuras que vão de menos de 1 m até mais de 5 m, a depender do método de lavra, do tipo de minerador contínuo subterrâneo e do porte deste.

A utilização dos mineradores contínuos em subsolo apresenta algumas vantagens em relação ao desmonte por explosivos. Dentre elas, alta produtividade/taxa de avanço, maior segurança, menor perturbação do solo e eliminação de vibrações decorrentes de explosões, menor demanda por suporte do teto, distribuição granulométrica uniforme na fragmentação da rocha e menores requisitos de ventilação (CIGLA; OZDEMIR, 2000). Quando há desmonte por explosivos, os sistemas de ventilação devem se encarregar da retirada dos gases tóxicos liberados pelos explosivos, o que justifica os menores requisitos de ventilação quando se utiliza mineradores contínuos.

A Figura 1 é um modelo esquemático dos métodos mais comuns para a lavra de depósitos de carvão mineral. Para todos os métodos ilustrados, têm-se a escavação

por mineradores contínuos (subterrâneos ou de superfície) e são representados os principais equipamentos móveis para cada tipo de operação. Na representação de lavra subterrânea por pilar e salão (*Room and Pillar*), observa-se um minerador contínuo de cabeça cortante raspadora, como exemplo de equipamento aplicável. Já nas duas representações de lavra subterrânea por frentes longas (*Longwall*), tem-se um minerador contínuo em cada: o do tipo *Shearer* escavando o corpo de minério de maior espessura e o do tipo *Plow* escavando o de menor espessura.

Figura 1 - Esquema simplificado de operações de lavra contínua de carvão.



Fonte: Adaptado de CATERPILLAR, 2013a.

A lavra de carvão pode ser cíclica, contínua ou, ainda, mista. Na última configuração, há o uso de mineradores contínuos e também de desmonte por explosivos. Para facilitar a detonação, costuma-se fazer um corte estreito e profundo na face do carvão próximo ao piso com máquinas de corte contínuo do tipo rafadeira (*Kerf Cutting*) (AYRES DA SILVA, 2021).

De acordo com Curi (2017), se por um lado a lavra a céu aberto tem sido impulsionada por um aumento da eficiência (e da produtividade) decorrente da alta mecanização,

há um crescente esgotamento de depósitos minerais próximos à superfície, até mesmo em decorrência do aumento da produtividade. Com isso, observa-se uma tendência de substituição progressiva, embora lenta, das operações de lavra a céu aberto pelas subterrâneas, por motivos econômicos, geológicos e de morfologia das jazidas, sobretudo. Essa substituição só é possível com o avanço tecnológico que tem sido desenvolvido também na lavra subterrânea.

Novos métodos de lavra, inclusive variantes daqueles preexistentes, vêm viabilizando a lavra em depósitos cada vez mais profundos. Além disso, os desenvolvimentos tecnológicos de ponta dos equipamentos (incluindo os mineradores contínuos, quando aplicáveis) e a alta mecanização dos métodos vêm possibilitando um aumento dos índices de produtividade em subsolo.

3.2 MÉTODOS DE LAVRA SUBTERRÂNEA

Conforme mencionado em Hartman e Mutmansky (2002), a lavra corresponde à quarta fase de um empreendimento mineiro, sendo as fases anteriores prospecção, exploração e desenvolvimento. O método de lavra é a sistematização e a coordenação das operações unitárias para viabilizar o aproveitamento de uma jazida mineral. O método de lavra selecionado para uma determinada jazida deve propiciar uma operação rentável, segura e ambientalmente sustentável para um determinado corpo de minério (MOREIRA, 2017).

Os principais fatores envolvidos na seleção do método de lavra, segundo Bibb e Hargrove (2011), são: a geometria da jazida (formato geral, espessura, largura, altura e mergulho), a geologia do depósito (teor médio e distribuição de teor), as condições físicas do corpo de minério e das rochas encaixantes (capa e lapa), os custos operacionais de lavra, os investimentos necessários ao desenvolvimento, a produtividade (escala de produção), a recuperação e a diluição do minério no maciço rochoso e a disponibilidade e o custo de mão-de-obra, além das considerações ambientais. O papel do teor do minério é fundamental na seleção do método de lavra (CURI, 2017). Jazidas de baixo teor, por exemplo, só devem ser lavradas por métodos cuja combinação entre os fatores custo total e escala de produção seja satisfatória.

A Tabela 1 elenca os principais métodos de lavra subterrânea e as respectivas características do minério adequadas à cada método. Os métodos são divididos em três classes: não suportados, suportados e com desabamento (ou abatimento).

Tabela 1 - Classificação dos principais métodos de lavra subterrânea.

Tipo de lavra	Minério, resistência da rocha	Classe	Geometria do corpo de minério	Método
Subterrânea	Resistente a moderado	NÃO SUPORTADO	Tabular, baixo mergulho, estreito, grande extensão	PILAR E SALÃO
			Tabular, baixo mergulho, espesso, grande extensão	REALCES E PILARES
			Tabular, alto mergulho, espesso, qualquer extensão	REALCES EM SUBNÍVEIS
	Moderado a fraco	SUPORTADO	Tabular, alto mergulho, espesso, qualquer extensão	ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO
			Qualquer formato, alto mergulho, espesso, qualquer extensão	CORTE E ATERRO (OU ENCHIMENTO)
			Tabular, alto mergulho, espesso, pequena extensão	ALARGAMENTOS ESTEIADOS
			Qualquer formato, qualquer profundidade, espesso, qualquer extensão	ALARGAMENTOS COM ESTRUTURAS RETANGULARES
	Moderado a fraco, escavável	DESABAMENTO	Tabular, baixo mergulho, estreito, grande extensão	FRENTES LONGAS/ FRENTES CURTAS
			Tabular ou massas amorfas, alto mergulho, espesso, grande extensão	DESABAMENTO EM SUBNÍVEIS
Massas amorfas, alto mergulho, espesso, grande extensão			DESABAMENTO EM BLOCOS	

Fonte: Adaptado de HARTMAN; MUTMANSKY, 2002.

Segundo Atlas Copco (2014), o primeiro passo para selecionar um método de lavra é avaliar a geometria da jazida, e depois as condições físicas do corpo de minério e das rochas encaixantes. Logo, a Tabela 1 serve de guia preliminar para a escolha de um método de lavra, embora não considere vários dos fatores citados anteriormente.

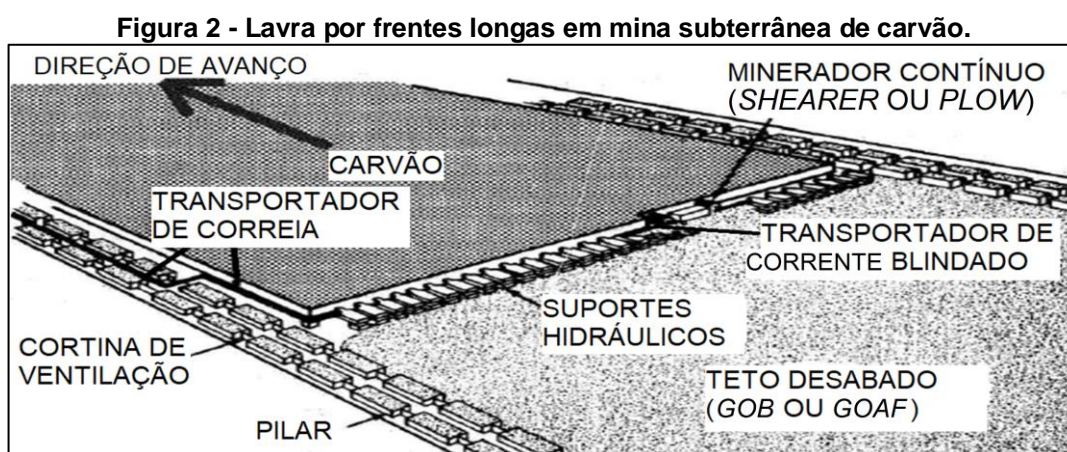
3.2.1 Lavra por Frentes Longas (*Longwall*)

Segundo Curi (2017), a lavra por frentes longas é um dos métodos de lavra subterrânea mais antigos, comum em minas de carvão com profundidades entre 300 e 1600 m. É aplicável a depósitos tabulares de carvão, geralmente extensos, pouco

espessos (mas com espessura uniforme) e horizontais ou pouco inclinados (mergulho inferior a 12°). Cada painel de lavra é dimensionado de modo que a frente de desmonte avance por longa extensão (normalmente de 600 a 4500 m), e com largura de 120 a 300 m (AYRES DA SILVA, 2021). A área de desmonte é recoberta por uma série de suportes hidráulicos alinhados, que sustentam o teto e são deslocados na direção de avanço à medida que a lavra avança no painel. O teto que é deixado sem suporte após o deslocamento da estrutura, então, desaba sobre a antiga área de lavra.

O desmonte é feito com mineradores contínuos (dos tipos *Shearer* ou *Plow*) em cerca de 80% dos casos (ALVARENGA, 2012). Já em aproximadamente 20% dos casos, utiliza-se explosivos e equipamentos de perfuração de pequeno porte. Nos casos em que o desmonte é feito por mineradores contínuos (conforme o esquema da Figura 2), o minério escavado cai sobre um transportador de corrente blindado (ou articulado) denominado AFC (*Armored Face Conveyor*) que o transporta para a lateral do painel, onde é descarregado em um transportador de correia (CURI, 2017).

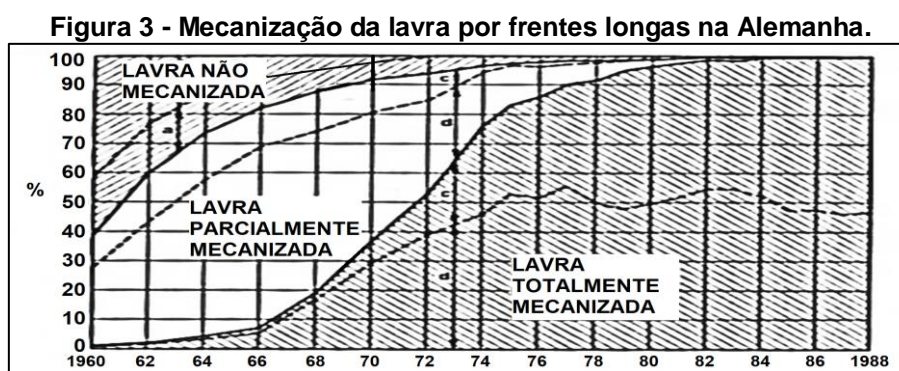
Segundo Ayres da Silva (2021), o entorno do painel de lavra é escavado deixando pilares para suporte, durante o desenvolvimento da mina (lavra em recuo ou *Retreat Mining*) ou simultaneamente ao avanço de lavra (lavra em avanço ou *Advance Mining*). As vias formadas permitem o acesso e a instalação dos sistemas de transporte de minério, de ventilação e de drenagem de gases tóxicos como o metano, comum nas minas de carvão. Há certa resistência contra esse método de lavra, pela preocupação sobre a geração de subsidência das rochas decorrente do desabamento do teto, embora esse fenômeno não ocorra em todos os casos (ALVARENGA, 2012).



Fonte: Adaptado de NALBANTOV et al., 2010.

Segundo Hartman e Mutmansky (2002), a produtividade do método de lavra é alta, sendo considerada a maior em subsolo por variar de 63 a 163 t/(homem x turno). Tanto a diluição quanto a recuperação são elevadas. Na Tabela 11 (Apêndice A), são descritos métodos de lavra subterrânea variantes do método de frentes longas que também empregam mineradores contínuos.

O gráfico da Figura 3 é um retrato do grau de mecanização da lavra por frentes longas ao longo dos anos, com base em dados de minas de carvão alemãs. O aumento expressivo no grau de mecanização ajuda a explicar o crescimento da produtividade de tal método, fazendo com que ele tenha aplicações viáveis até os dias atuais.



3.2.1.1 Lavra por Frentes Curtas (*Shortwall*)

A lavra por frentes curtas é semelhante à lavra por frentes longas, com diferença apenas nas dimensões dos painéis de lavra, menores no caso das frentes curtas. O comprimento do painel normalmente é de 600 a 1200 m, enquanto a largura é inferior a 120 m (AYRES DA SILVA, 2021). No Brasil, a lavra por frentes curtas foi utilizada em uma operação experimental na mina de carvão Leão I da Companhia Riograndense de Mineração (RS), na década de 80 (UFRGS/DEMIN, 2014).

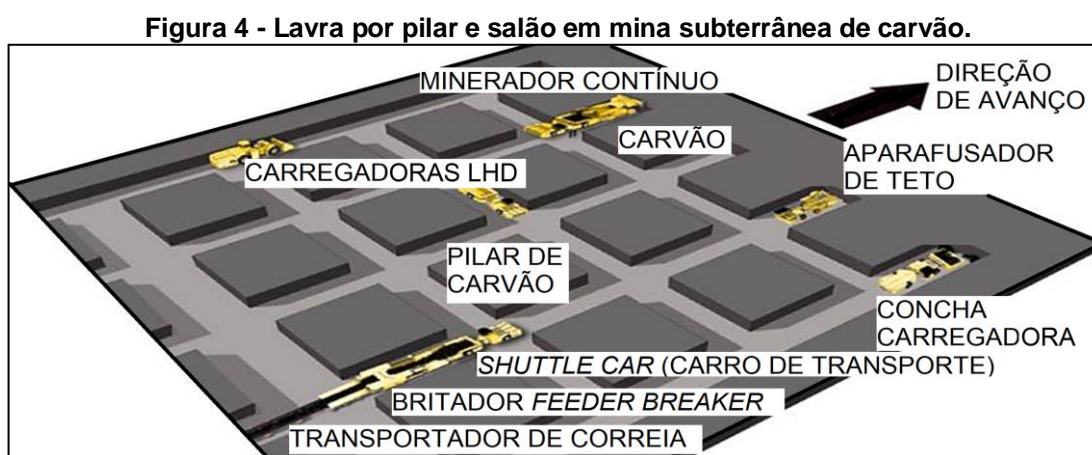
3.2.2 Lavra por Pilar e Salão (*Room and Pillar*)

O método de lavra por pilar e salão ou câmaras e pilares, como também é conhecido, consiste na retirada parcial de minério dos painéis de lavra, deixando pilares de minério devidamente dimensionados para suporte natural do teto. Minas de uma

grande variedade de minerais de minério podem operar em pilar em salão, como carvão, manganês, chumbo, zinco, esmeralda, ouro, sais, gesso, calcário e ardósia (ALVARENGA, 2012). A profundidade das jazidas geralmente se limita a cerca de 500 m. O método pode ser aplicado em depósitos tabulares e preferencialmente horizontais ou pouco inclinados (mergulho inferior a 15°), embora algumas variantes permitam ângulos de mergulho de até 40°. Em depósitos tabulares com espessura superior a 5 m, a lavra pode ocorrer em bancos (CURI, 2017).

O desmonte pode ocorrer por explosivos (geralmente quando o corpo de minério possui resistência moderada a alta), por mineradores contínuos (com cabeça cortante dos tipos raspadora ou com movimento giratório, quando o corpo de minério possui resistência baixa), ou por ambos. Segundo Curi (2017), a rocha encaixante da capa, por outro lado, deve ter resistência moderada a alta, para que não ocorra desabamento. Ao final da operação nos painéis de lavra, estes podem ter seus pilares recuperados total ou parcialmente, mediante enchimento ou até desabamento. Essa característica pode melhorar a recuperação total, que costuma variar de 45 a 60%. A produtividade do método é elevada, devido à relativa simplicidade das operações empregadas, podendo variar de 30 a 70 t/(homem x turno). Já a diluição é de 0 a 40% (HARTMAN; MUTMANSKY, 2002).

No Brasil, existem algumas minas que operam utilizando esse método. A lavra por pilar e salão se diferencia da lavra por realces e pilares (*Stope and Pillar*), cujos pilares têm altura maior e não são uniformes como na lavra por pilar e salão. A Figura 4 esquematiza uma operação de lavra por pilar e salão, com uso de minerador contínuo.



Fonte: Adaptado de PASCHEDAG, 2000.

4 METODOLOGIA E DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE TRABALHO

A metodologia seguida no trabalho compreendeu duas etapas. Inicialmente, foi feita uma pesquisa bibliográfica abrangente e aprofundada sobre o tema proposto e, posteriormente, foi realizado um levantamento sobre a utilização de mineradores contínuos em subsolo brasileiro. Dessa forma, cada uma das etapas foi desempenhada seguindo sua própria metodologia.

4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica sobre mineradores contínuos subterrâneos, com ênfase na evolução tecnológica destes, foi dividida inicialmente entre os temas: mineradores contínuos em lavra por frentes longas (*Longwall*); e mineradores contínuos em lavra por pilar e salão (*Room and Pillar*). A pesquisa foi realizada por meio de consultas a livros texto de referência, bibliotecas digitais e bases de dados variadas, como *Google Scholar* e *Science Direct*. Além disso, catálogos e manuais de fabricantes foram de grande utilidade para o levantamento de características e especificações dos equipamentos estudados.

Especificamente, para o conteúdo da seção que trata dos mineradores contínuos para lavra por frentes longas, uma obra de suma importância foi a de Junker e Lemke (2018), especialmente os capítulos “*Shearing*”, de Lemke (2018), e “*Plowing*”, de Paschedag (2018). O livro texto é uma rica coletânea descritiva acerca dos desenvolvimentos tecnológicos na mineração de carvão por frentes longas na Alemanha desde meados do século XX, para além dos mineradores contínuos subterrâneos. Vale ressaltar que as notáveis minas de carvão do Vale do *Ruhr*, geridas pela corporação *Ruhrkohle AG* (RAG), representaram um dos pilares da expressiva industrialização alemã.

A elaboração da seção que trata dos mineradores contínuos para lavra por pilar e salão, por sua vez, teve como referência fundamental o livro texto de Darling (2011), mais precisamente o capítulo “*Equipment selection and sizing*”, de Lineberry e Paolini (2011), além de outras referências importantes.

4.2 MINERADORES CONTÍNUOS SUBTERRÂNEOS NO BRASIL

Os objetos de estudo desta etapa do trabalho, que consiste em um levantamento, foram minas subterrâneas brasileiras que empregam mineradores contínuos. Para isto, foi necessário inicialmente mapear as minas brasileiras atualmente ativas que extraem carvão e evaporitos (sais) em subsolo, o que foi feito com base na publicação de Heider (2017).

Por meio de conversas informais e de pesquisas superficiais nos *websites* das empresas responsáveis pelas minas mapeadas, foi apurado se cada uma dessas minas emprega mineradores contínuos e se está de fato em atividade no ano de 2021, uma vez que a publicação de Heider (2017) certamente não se encontra totalmente atualizada. Pelo mesmo motivo, também foram utilizadas outras fontes para mapear eventuais minas ativas de interesse para o estudo que não constam em Heider (2017). Foi construída uma tabela com todas as informações obtidas (Tabela 8, página 42), constituindo os resultados da denominada primeira fase do levantamento.

As minas brasileiras que, segundo os resultados da primeira fase do levantamento, obedecem aos dois critérios (empregam mineradores contínuos e se encontram em operação no ano de 2021) foram submetidas à segunda fase do levantamento, que consistiu na obtenção de informações sobre os mineradores utilizados nessas minas.

Para a obtenção dos resultados da segunda e última fase do levantamento, realizou-se o contato formal com representantes das empresas mineradoras. A abordagem foi realizada por meio de um formulário elaborado utilizando-se a plataforma *Google Forms*, enviado via e-mail a cada um dos representantes das empresas elegíveis. O modelo deste formulário está disponível na Figura 22 e na Figura 23, ambas no Apêndice B.

Por fim, foi construída uma tabela com os resultados finais do levantamento (Tabela 9, página 44), advindos das respostas obtidas por meio do formulário referido. A partir de tais resultados, foi possível analisar o atual cenário dos mineradores contínuos no Brasil e apontar alguns aspectos relevantes sobre o tema.

5 RESULTADOS

Este capítulo engloba os resultados da pesquisa no que diz respeito à evolução tecnológica de mineradores contínuos para lavra por frentes longas (*Longwall*), também aplicáveis ao método de frentes curtas (*Shortwall*), e para lavra por pilar e salão (*Room and Pillar*). Também são apresentados, em nível de detalhe, os empreendimentos mineiros no Brasil que fazem uso de tais equipamentos atualmente.

5.1 MINERADORES CONTÍNUOS EM LAVRA POR FRENTES LONGAS (LONGWALL)

De acordo com Alvarenga (2012), em cerca de 80% das minas de carvão que utilizam o método de lavra por frentes longas (*Longwall*) a escavação do minério é feita por mineradores contínuos, que podem ser dos tipos *Shearer* ou *Plow*.

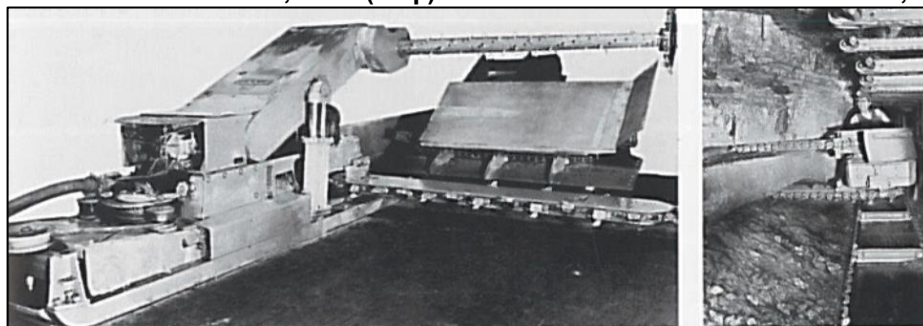
5.1.1 *Shearer*

Mineradores contínuos do tipo *Shearer*, ou fresa/roçadeira, são hoje os mais utilizados em operações de lavra por frentes longas no globo. São comuns especialmente em minas de carvão nos EUA e na Austrália (UNDERGROUND COAL, 2021).

5.1.1.1 Origem

Segundo Lemke (2018b), as ideias básicas que remetem à extração de carvão subterrâneo pelo corte mecânico das camadas remontam o século XVIII. Na primeira metade do século XX, surgiram várias máquinas funcionais de cortar carvão por mecanismo de barra ou de corrente (Figura 5), que facilitavam a retirada posterior manual do minério com o uso de picaretas. A partir das décadas de 1950/60, começaram a surgir *Shearers* com tambores de corte com diâmetro igual à espessura do corpo de minério a ser lavrado, permitindo avanço rápido na frente de lavra e dispensando a retirada manual do carvão da parede.

Figura 5 - Minerador *Iron Miner*, 1938 (esq.) e “cortador de carvão” de correntes, 1957 (dir.).



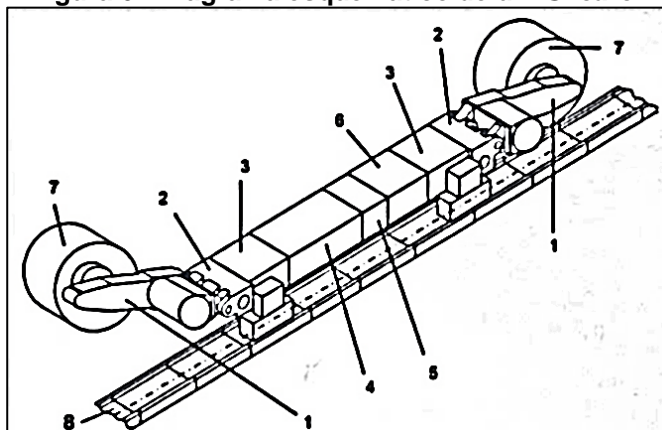
Fonte: LEMKE, 2018b.

Inicialmente, cada máquina possuía apenas um tambor de corte. Com a incorporação dos suportes hidráulicos de teto, do transportador de corrente blindado (AFC) na frente de lavra e do braço articulado interligando o corpo do minerador e o tambor de corte, este último foi duplicado e passou a funcionar também como alimentador de minério no AFC, devido ao novo arranjo do sistema. Esses avanços, que já na década de 60 começaram a ser implementados, formam o princípio básico dos *Shearers* atuais (LEMKE, 2018b).

5.1.1.2 Funcionamento

A Figura 6 ilustra os principais componentes de um *Shearer*, que são: braços articulados (1); suportes de rolamento (2); unidades de transporte, ou *haulage-box drives* (3); unidade de controle (4); compartimentos elétricos (5); unidade hidráulica (6); tambores de corte, ou *cutting drums* (7) e sistema de alimentação, ou *machine feed system* (8).

Figura 6 - Diagrama esquemático de um *Shearer*.



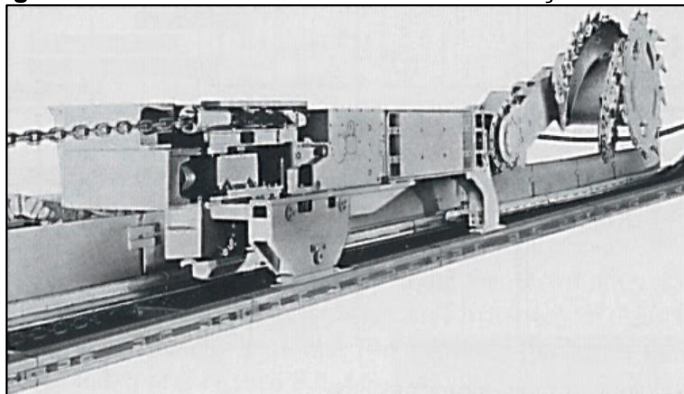
Fonte: LEMKE, 2018b.

A máquina deve ser capaz de se locomover ao longo da largura do painel de lavra, correspondente à extensão do AFC. O transporte ao longo dessa extensão é feito sobre o sistema de alimentação, que é posicionado atrás do AFC e conectado às unidades de transporte do *Shearer* (LEMKE, 2018b).

5.1.1.3 Tipos de *Shearer*

Os primeiros *Shearers* de tambor (*Drum Shearers*) possuíam tambor de corte único (*Single-Drum Shearers*). O tambor de corte era fixo, inicialmente, e depois passou a contar com um braço articulado. Essas máquinas (como a da Figura 7) tinham motor centralizado (*mid-motor*), elétrico, usado para acionar as correntes das engrenagens do braço articulado através de um eixo e de um par de engrenagens retas. O mesmo motor também acionava as bombas de lubrificação e os motores de giro hidráulico que impulsionavam o sistema de transporte. A vantagem desta configuração era que ela podia acomodar um motor de acionamento grande e robusto. A saída do motor podia ser direcionada para os tambores de corte ou para as unidades de transporte, conforme necessário. A potência de acionamento dos *Single-Drum Shearers* chegou a evoluir de 100 kW para até 300 kW, em algumas máquinas (LEMKE, 2018b).

Figura 7 - *Shearer* de tambor único com braço articulado.



Fonte: LEMKE, 2018b.

Até os anos 90, segundo Lemke (2018b), *Shearers* de tambor único ainda eram utilizados. *Shearers* de dois tambores de corte (*Double-Drum Shearer*) já existiam desde a década de 60 também na configuração *mid-motor*, desta vez com um ou dois motores centrais. A potência de acionamento desses mineradores foi de menos de 200 kW a até 600 kW, quando caíram em desuso também na década de 90.

Em meados da década de 70, foram desenvolvidos *Shearers* de dois tambores de corte com motores múltiplos (*multi-motor*). Essa é a única configuração dos modelos em uso atualmente, como aquele ilustrado na Figura 8. Assim, cada função passou a contar com um motor específico, eliminando um grande problema da configuração *mid-motor*, que exigia que a potência do motor fosse concentrada para uma das funções por vez (transporte ou corte de carvão pelos tambores, por exemplo) e, portanto, impedia a realização de operações simultâneas (LEMKE, 2018b).

Figura 8 - *Shearer* de dois tambores de corte, modelo Komatsu 7LS5.



Fonte: KOMATSU, 2021a.

Como parte da adaptação do motor único para motores múltiplos, os sistemas de transporte passaram a ser elétricos, e não mais hidráulicos. Os motores elétricos das unidades de transporte dos *Shearers* desta nova configuração inicialmente eram CC, depois passaram a ser CA e, por último, CA com alimentação reversa.

Além disso, as máquinas passaram a ter unidades de acionamento individuais para os motores, de modo a permitir a atribuição definida de potência de acionamento para cada uma das funções do minerador. A potência do motor dos tambores de corte, ou seja, a potência que define o poder de corte de cada minerador, era de cerca de 150 kW em média (divididos entre os dois tambores) quando esta configuração começou a ser implantada. Hoje, existem equipamentos das mais variadas especificações de potência de corte. Para os mais robustos, destinados a camadas de minério mais resistentes e de grande espessura, este valor pode chegar a mais de 1500 kW, divididos entre os dois tambores (LEMKE, 2018b).

Por último, de meados da década de 70 até meados dos anos 2000, existiu a categoria de *Shearers* compactos. Ainda segundo Lemke (2018b), essas máquinas possuíam

dois tambores de corte e podiam ter motor centralizado ou motores múltiplos. A espessura da frente de carvão capaz de ser lavrada por um *Shearer* compacto era pequena, de 1,1 m a 1,8 m, e tal equipamento também era restrito a camadas de carvão contendo certas complicações, como espessura irregular, alta resistência mecânica, condição ruim da lapa (encaixante), grandes inclusões de estéril ou falhas geológicas. A Figura 9 representa um desses mineradores, que caíram em desuso também por questões mecânicas: possuíam manutenção demorada e cara, apresentavam problemas constantemente e tinham baixa estabilidade.

Figura 9 - *Shearer* compacto, fotografado em superfície.



Fonte: LEMKE, 2018b.

5.1.1.4 Evolução Tecnológica dos Componentes

Nos primeiros *Shearers* de tambor de corte, o sistema de alimentação (transporte do minerador ao longo da extensão do AFC) consistia em pinos e uma corrente presa à máquina, movimentada mecanicamente. A corrente oscilava a todo momento, exposta na frente de lavra, e representava risco de acidentes graves aos trabalhadores. O problema da oscilação foi solucionado por um sistema que realizou a adição de um pinhão acionado pelo eixo da unidade de transporte do minerador. O pinhão girava uma roda motriz cujos dentes engatavam nos elos da corrente, que por sua vez era tensionada nas extremidades da frente de lavra, e rodas guia impediam a máquina de descarrilhar. Paralelamente a esse sistema, foi desenvolvido outro mais moderno e eficiente (Figura 10, esq.), que consistiu na substituição da corrente por uma cremalheira acoplada atrás do AFC, sobre a qual o minerador se movimentava através de rodas dentadas especiais posicionadas no interior da unidade de transporte. Por fim, esse sistema foi aperfeiçoado para aquele que é utilizado nos dias atuais (Figura

10, dir.): um sistema de cremalheira aberta com cames projetados para o engate de rodas dentadas especiais, com formato de evolvente (LEMKE, 2018b).

Figura 10 - Sistemas de alimentação por cremalheira antigo (esq.) e atual (dir.).



Fonte: LEMKE, 2018b.

De acordo com Lemke (2018b), com o aumento progressivo da potência de saída dos equipamentos ao longo dos anos e da quantidade de motores com o advento da configuração *multi-motor*, as fontes de energia usuais de 1000 V tiveram que ser substituídas por fontes de 3300 V ou 5000 V. Com isso, os cabos de energia também tiveram que passar por melhorias. Ao mesmo tempo, esses cabos precisam ser flexíveis, para se conectarem a todos os componentes necessários (inclusive os móveis) sem se desgastarem, e robustos, para fornecerem energia sem interrupções.

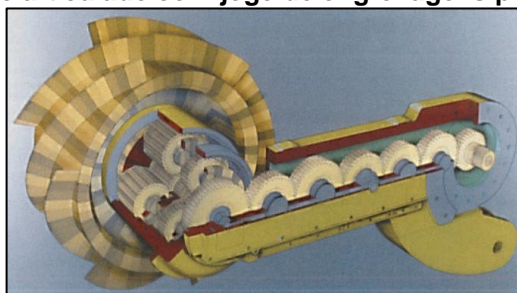
Avanços muito expressivos ao longo dos anos ocorreram nos sistemas de instrumentação, controle e automação. Na década de 60, o controle começou a ser feito por radiofrequência, para acionamento e interrupção de comandos. O sistema era analógico, e passou a ser digital na década de 80, quando também já haviam microprocessadores nas máquinas e painéis de controle digitais. Atualmente, diversas tecnologias tornam os *Shearers* 100% automatizados.

Algumas das tecnologias são: monitoramento de temperatura dos componentes e de vazão de água, envio de todas as informações em tempo real a centrais de controle em superfície por meio da internet e de cabos de fibra ótica, sensores para prevenção de colisões, sensores de sobrecarga, execução de passadas automáticas de corte na parede (baseadas em padrões predeterminados ou em passadas manuais gravadas), diagnósticos de falha modernos, regulagem de velocidade em intervalos contínuos (e não mais discretos) e reconhecimento em 3D da posição do *Shearer* (LEMKE, 2018b).

Segundo Peng et al. (2019), a tecnologia de sensores e a Internet das Coisas (*Internet of Things*, IoT) vêm contribuindo continuamente, desde 1995, na melhoria dos *Shearers* no que diz respeito à confiabilidade dos equipamentos, à produtividade, à segurança e à saúde dos trabalhadores. Tais melhorias, além das já mencionadas, incluem técnicas de controle de poeira e avançados sensores de proximidade.

Os braços articulados dos mineradores estão constantemente submetidos a altos níveis de estresse decorrentes do processo de corte. Lemke (2018b) afirma que esses componentes têm múltiplas funções, como sustentar e articular os pesados tambores de corte, além de converter a força motriz dos motores de corte em poder de corte, na forma de movimento giratório dos tambores. A Figura 11 ilustra um moderno jogo de engrenagens no interior de um braço articulado. Os tambores de corte, por sua vez, têm formato helicoidal para facilitar o carregamento do carvão escavado no AFC.

Figura 11 - Braço articulado com jogo de engrenagens planetárias duplas.



Fonte: LEMKE, 2018b.

Alguns tambores são equipados com uma bandeja curva em uma das laterais ou na parte inferior, também para facilitar o carregamento. O número de dentes e o arranjo dos tambores influenciam na performance de corte, e a direção de rotação depende do método operacional de desmonte. Os tambores também são equipados com jatos d'água, que diminuem a poeira gerada e previnem faíscas decorrentes do corte de carvão. A Figura 24 (Anexo A) detalha cronologicamente os principais avanços tecnológicos em *Shearers*, tendo como base máquinas do fabricante Eickhoff.

5.1.1.5 Especificações dos Equipamentos Atuais

Foram levantadas algumas especificações de *Shearers* das séries 7LS, da Komatsu, (Tabela 2), e EL, da Caterpillar (Tabela 3).

Tabela 2 - Especificações de *Shearers* Komatsu.

Minerador contínuo Komatsu	Altura de corte (m)	Altura da máquina (m)	Peso da máquina (t)	Tração de transporte (kN)	Potência máxima do motor de corte (kW)
7LS0	1,3 - 2	0,89	45	626	2 x 335
7LS1A	1,5 - 3	1 - 1,3	46,8	800	2 x 600
7LS1D	1,5 - 3,9	1 - 1,3	52	800	2 x 600
7LS2A	1,6 - 3,5	1 - 1,3	59	800	2 x 675
7LS3A	2 - 4	1,45 - 1,7	60,5	800	2 x 675
7LS5	2 - 4,5	1,5 - 1,9	81,7	800	2 x 750

Fonte: Adaptado de KOMATSU, 2021a.

Tabela 3 - Especificações de *Shearers* Caterpillar.

Minerador contínuo CAT	Altura máxima de corte (m)	Altura da máquina (m)	Peso da máquina (t)	Tração de transporte (kN)	Potência máxima do motor de corte (kW)
EL1000	3,2	1,2	60	732	2 x 500
EL2000	4,1	1,495	70	945	2 x 750
EL3000	5,5	2,240	116	1075	2 x 860
EL4000	7,0	2,656	130 - 143	1075	2 x 860

Fonte: Adaptado de CATERPILLAR, 2021a.

A série EL da Caterpillar é, em média, mais robusta que a série 7LS da Komatsu. O modelo de maior porte da série da Komatsu (7LS5), dentre os analisados, é similar ao EL2000 da Caterpillar. A altura máxima de corte pode variar de 2 a 7 m, o que representa uma amplitude significativa. O EL4000 (Figura 12), que é o *Shearer* mais robusto e avançado já fabricado, possui características exuberantes. Além de permitir a lavra por frentes longas para camadas de até 7 m, os tambores de corte desse minerador possuem 3,5 m de diâmetro e capacidade de corte superior a 1 m de profundidade na frente de lavra por passada (CATERPILLAR, 2013b).

Figura 12 - *Shearer* modelo CAT EL4000.

Fonte: CATERPILLAR, 2013b.

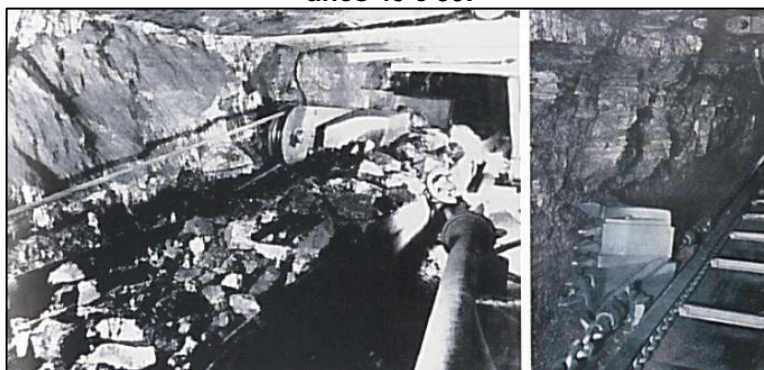
5.1.2 *Plow*

Mineradores do tipo *Plow* (ou *Plough*), também chamados de raspadores e às vezes de rafadeiras, não são tão utilizados quanto os *Shearers* na lavra por frentes longas atualmente. Entretanto, seu uso na Europa ainda é relevante. Ainda em relação aos *Shearers*, os *Plows* se aplicam a camadas de minério de menor espessura, em média.

5.1.2.1 Origem

Na década de 30, foi desenvolvida a ideia básica do raspador *Plow* e também foram realizados os primeiros testes em campo. Na década seguinte, já foram implantados os primeiros equipamentos, cujo princípio de corte era o mesmo dos equipamentos atuais. Primeiramente, o transporte ao longo da extensão da frente de lavra era feito por sistema de polia e cabo de aço (Figura 13, esq.). Depois, passou a ser mais comum o transporte por corrente (Figura 13, dir.). Esses equipamentos, até meados da década de 70, tinham potência instalada, velocidade de transporte e produtividade muito limitadas (PASCHEDAG, 2018).

Figura 13 - Mineradores alemães *Einheitshobel* (esq.) e *Lobbehobel* (dir.), em operação nos anos 40 e 50.



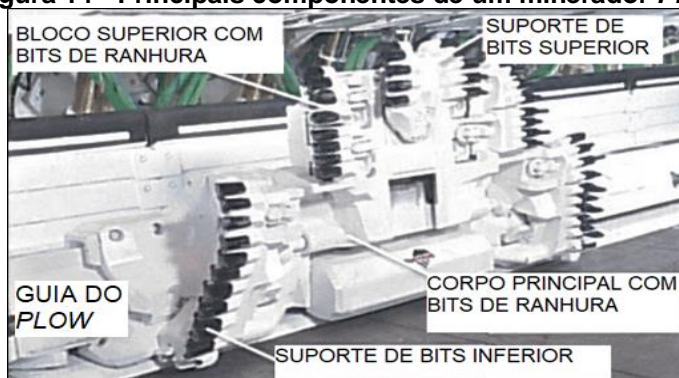
Fonte: PASCHEDAG, 2018.

5.1.2.2 Funcionamento

O *Plow* é considerado um minerador tecnicamente mais simples que o *Shearer*, uma vez que ele é menor, mais leve e seu mecanismo de corte consiste basicamente na escarificação realizada ao movimentar-se o *Plow* rente à frente de lavra. Porém, é

uma máquina com desempenho que por vezes supera aquele alcançado pelos *Shearers*, apesar de ser limitada a camadas de carvão com espessura de no máximo 2 m, aproximadamente (CATERPILLAR, 2021b). Além disso, é capaz de operar em mergulhos de até 55°. A Figura 14 ilustra os principais componentes de um *Plow*.

Figura 14 - Principais componentes de um minerador *Plow*.



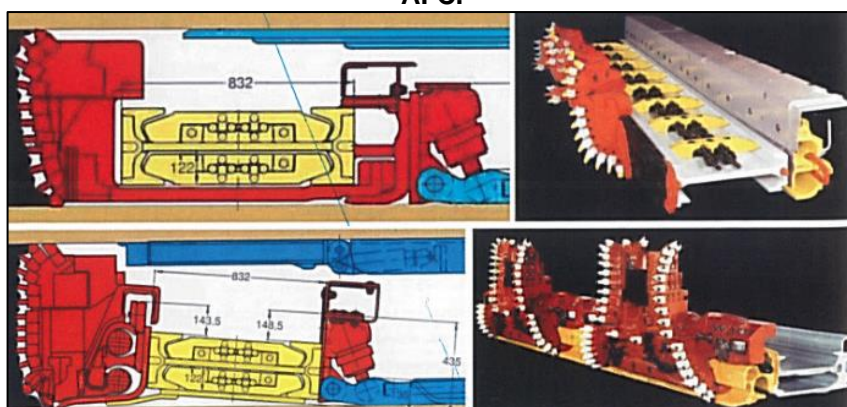
Fonte: Adaptado de PASCHEDAG, 2018.

O corpo principal é ligado ao guia do *Plow*, por meio do qual o minerador é transportado entre uma extremidade e outra. O corpo principal, o bloco superior e os suportes de bits atuam como escarificadores de rocha, sendo que o suporte superior determina a altura máxima de lavra permitida para o equipamento. Os bits são todos fabricados com extremidade em carboneto de tungstênio (PASCHEDAG, 2018).

5.1.2.3 Tipos de *Plow*

O guia do *Plow* é ligado ao AFC por um de dois meios, conforme ilustra a Figura 15.

Figura 15 - Esquema de *Plow* com o guia instalado na traseira (sup.) e na parte frontal (inf.) do AFC.



Fonte: PASCHEDAG, 2018.

Segundo Paschedag (2018), existem basicamente dois tipos de *Plow*, que se diferenciam justamente pela forma como o guia é acoplado ao transportador de corrente blindado: conexão atrás do AFC, com uma lâmina que passa sob o AFC conectando o guia ao corpo do minerador na frente de lavra (*gobside Plow guide*); ou diretamente na parte frontal do AFC, onde está posicionado o corpo da máquina (*faceside Plow guide*). Na década de 70, os mineradores com *gobside Plow guide* eram bem mais numerosos que aqueles com *faceside Plow guide*. Porém, esses últimos foram se popularizando e hoje representam a maioria dos *Plows* em atividade, sobretudo pela melhor dirigibilidade dos mineradores com o guia nesta configuração.

5.1.2.4 Evolução Tecnológica dos Componentes

Paschedag (2018) afirma que o corpo de um *Plow* é feito de aço ou ferro fundido, e seu formato foi desenvolvido e aperfeiçoado de modo a facilitar o escoamento de minério sobre o AFC. Suas peças que o conectam ao guia do *Plow* sofrem desgaste constantemente, e por isso são de fácil substituição. A altura do raspador é adaptável à espessura da camada de carvão, por meio do ajuste manual da altura de cada componente (corpo principal, bloco superior e suporte superior). Os bits são instalados em simetria horizontal, e o formato de cada um é específico de acordo com a posição em que está localizado, de modo a otimizar a escarificação do carvão.

A potência de acionamento é transferida sobre o guia do *Plow* e suas engrenagens, através dos componentes motor, corrente do *Plow*, redutor e dispositivo de proteção contra sobrecarga. A corrente é crucial, já que ela deve ser resistente o bastante para tracionar o *Plow*, quanto maior for a potência máxima de acionamento. O diâmetro das correntes passou, ao longo dos anos, de 26 mm para 42 mm, no caso de máquinas mais robustas como o *Gleithobel* GH 42 (Figura 16), cuja potência máxima de acionamento é de 2 x 800 kW. Até os anos 90, os motores dos *Plows* eram elétricos CA assíncronos. Operavam a 1000 V, 1500 rpm (máximo) e possuíam 2 ou 3 velocidades, além de refrigeração por ar/água. Com avanços tecnológicos, surgiram novos motores de frequência variável, operados a 1000 V, 1800 rpm (máximo), com ajuste contínuo de velocidades e refrigerados por água (PASCHEDAG, 2018). A Figura 25 (Anexo A) detalha cronologicamente os principais avanços em *Plows*.

Figura 16 - Minerador alemão *Gleithobel* GH 42 operando em mina de carvão.



Fonte: PASCHEDAG, 2018.

5.1.2.5 Especificações dos Equipamentos Atuais

A Tabela 4 apresenta especificações de mineradores do tipo *Plow* da Caterpillar.

Tabela 4 - Especificações de *Plows* Caterpillar.

Minerador contínuo CAT	Altura de corte (m)	Profundidade de corte (mm)	Peso da máquina (t)	Velocidade máxima (m/s)	Resistência do carvão	Potência máxima de acionamento (kW)
GH800	1 - 2	180	4,08 - 6,63	3	Macio a duro	2 x 400 kW
GH800B	0,8 - 2	205	4,38 - 5,62	3	Macio a duro	2 x 400 kW
RHH800	0,8 - 1,6	190	4,4 - 6,4	2,5	Macio a duro	2 x 400 kW
GH1600	1,1 - 2,3	210	5,6 - 8,6	3,6	Médio a muito duro	2 x 800 kW

Fonte: Adaptado de CATERPILLAR, 2021b.

De acordo com Paschedag (2018), o minerador CAT GH1600 é, na verdade, o *Gleithobel* GH 42 (Figura 16) renomeado, mantendo suas especificações. É considerado o *Plow* mais avançado da atualidade, tendo seu predecessor sido desenvolvido no início dos anos 2000. Essa máquina permite a lavra de camadas de carvão com espessuras superiores a 2 m, o que antes não era possível para *Plows*, e ainda quando o carvão é avaliado como muito duro (alta resistência mecânica relativa). Por isso, a potência máxima desse minerador é muito elevada, quase tão alta quanto à do *Shearer* de maior porte da Caterpillar, o EL4000 (Tabela 3), que permite a lavra de camadas de carvão de até 7 m. O modelo GH800 é similar ao GH1600, porém de porte inferior. Os outros dois modelos representados na Tabela 4 são adaptações do GH800. Vale ressaltar que todos eles têm o guia de transporte do *Plow* acoplado à parte dianteira do AFC, ou seja, voltado para a frente de lavra.

5.2 MINERADORES CONTÍNUOS EM LAVRA POR PILAR E SALÃO (*ROOM AND PILLAR*)

Os mineradores contínuos para lavra por pilar e salão são equipamentos móveis que se locomovem por esteiras, se diferenciando nesse aspecto dos mineradores contínuos para frentes longas. Devem ser relativamente estreitos, de modo a possibilitar a passagem entre os pilares de minério nos painéis de lavra. Podem ser mineradores contínuos com cabeça cortante raspadora ou mineradores contínuos com cabeça cortante com movimento giratório.

5.2.1 Cabeça Cortante Raspadora

Mineradores contínuos com cabeça cortante raspadora são mais comuns em minas subterrâneas de carvão com lavra por pilar e salão, mas também estão presentes em minas de evaporitos (sais) que empregam o mesmo método de lavra.

5.2.1.1 Origem

Segundo Karmis (2001), foi construído em 1941 o protótipo de minerador contínuo *Lee Norse*. Pouco depois, em 1948, surgiu o minerador *Joy Ripper*, considerado o primeiro minerador contínuo subterrâneo a ser efetivamente utilizado na mineração de carvão em lavra por pilar e salão. A Figura 17 ilustra um dos primeiros sucessores do *Joy Ripper*, o *Joy 1CM*.

Figura 17 - Minerador contínuo Joy 1CM operando em mina de carvão nos EUA.



Fonte: LIVING HISTORIES, 2011.

A utilização em larga escala dos mineradores contínuos subterrâneos para pilar e salão, porém, só ocorreu a partir da década de 70. A Joy, fabricante do Joy *Ripper* e também de grande fatia dos mineradores contínuos subterrâneos atuais, foi adquirida em 2017 pela japonesa Komatsu, outra gigante do setor.

5.2.1.2 Funcionamento

Mineradores contínuos com cabeça cortante raspadora realizam o desmonte de rocha por cisalhamento, por meio de um tambor (cabeça) de corte cilíndrico com bits de ranhura. O tambor é posicionado paralelamente à frente de lavra e ligado ao corpo do minerador por um braço mecânico que o rotaciona e o articula em diferentes alturas da parede, de modo a escarificá-la do piso ao teto e permitir o avanço.

Além da cabeça de corte, a Figura 18 apresenta as principais estruturas externas de um minerador dessa tipologia. Após o desprendimento do minério da parede, este cai sobre a pá do minerador, que é equipada com duas hélices que conduzem o material para o centro da pá, a partir de onde um pequeno transportador de corrente blindado (AFC) conduz o material até uma lança na traseira do minerador, descarregando geralmente em um ou mais *Shuttle Cars*. O *Shuttle Car*, ou carro de transporte, é um veículo com altura reduzida e caçamba comprida e estreita que transporta o material por curta distância até um alimentador de transportador de correia. Em alguns casos, o transporte pode ser feito também pelos próprios mineradores contínuos ou por uma combinação entre LHDs e caminhões (LINEBERRY; PAOLINI, 2011).

Figura 18 - Minerador contínuo Komatsu Joy 12CM12 e seus principais componentes.



Fonte: Adaptado de KOMATSU, 2021b.

De acordo com Lineberry e Paolini (2011), são variantes desse tipo de máquina os mineradores denominados *Roadheaders*. A estrutura destes se assemelha àquela dos mineradores com cabeça cortante raspadora comuns, exceto pela própria cabeça de corte. Nesse caso, a cabeça é mais curta e movimentada tanto vertical quanto horizontalmente pelo braço mecânico. São mineradores de porte menor, geralmente, e também de menor custo de aquisição. Se adequam apenas a rochas de baixa resistência e são comumente empregados na escavação de galerias de desenvolvimento, por possuírem boa flexibilidade para escavações de detalhe. Esse tipo de escavação requer mais tempo, geralmente, e maior atenção com as dimensões (ALVARENGA, 2012). A Figura 19 ilustra um minerador do tipo *Roadheader*.

Figura 19 - Minerador contínuo Sandvik MR361.



Fonte: SANDVIK, 2021a.

Segundo Lineberry e Paolini (2011), os mineradores contínuos com cabeça cortante raspadora (não apenas os *Roadheaders*) são frequentemente utilizados nas fases de desenvolvimento em minas subterrâneas de carvão com lavra por frentes longas.

5.2.1.3 Evolução Tecnológica dos Componentes

Atualmente, com a evolução dos mineradores contínuos com cabeça cortante raspadora ao longo dos anos, a instalação de tirantes e parafusos de sustentação no teto das câmaras abertas pode ser feita por subsistemas anexados na parte superior do próprio minerador contínuo. Até 3,4 m de largura do teto podem ter tirantes e parafusos instalados por um minerador contínuo por passada, aumentando a segurança e a eficiência do processo. Além disso, mineradores do tipo são equipados com coletores de pó, que também impedem que o painel seja todo contaminado com

gases não respiráveis durante a escavação. Os coletores, compostos por filtros e jatos d'água, liberam ar limpo na saída do processo (LINEBERRY; PAOLINI, 2011).

Mineradores contínuos deste e de outros tipos emitem demasiado ruído, sobretudo devido à interação entre rocha e tambor de corte. Assim como a emissão de gases, o ruído pode ocasionar doenças ocupacionais aos trabalhadores. Pensando nisso, a Joy desenvolveu a partir de 2008 o *Quiet Tail Continuous Miner* (QT-CM). Os resultados foram promissores para redução de ruído graças a melhorias em vários sistemas mecânicos em relação a um minerador regular, com destaque para a corrente do AFC e componentes adjacentes a ela (SZARY; CHUGH; HIRSCHI, 2011).

Na maioria dos casos, a operação desses mineradores se dá remotamente, por meio de um controle remoto com peso aproximado de 3 kg e com distância máxima de operação de 30 m entre o operador e a máquina. O operador conduz a operação por cerca de seis horas, por exemplo, com intervalo de 15 minutos após as três primeiras horas. Esse método possui a vantagem de ser mais seguro ao operador, se comparado à operação de máquinas na cabine, pois a escavação é acompanhada a uma distância segura do minerador contínuo. Entretanto, ainda existem alguns mineradores em atividade operados na cabine (ALVARENGA, 2012). Além disso, a automação de máquinas modernas torna possível, inclusive, identificar e coordenar tarefas por meio de IA entre máquinas independentes (por exemplo, um minerador contínuo e um carro de transporte), segundo Ralston et al. (2015).

5.2.1.4 Especificações dos Equipamentos Atuais

A Tabela 5 apresenta especificações de mineradores contínuos com cabeça cortante raspadora da Komatsu Joy, séries 12CM e 14CM. Pode-se inferir que os da série 12CM são, em média, mais robustos que os da série 14CM, pois os primeiros apresentam maior peso e maior potência de corte, por exemplo, além de serem indicados para galerias mais altas. A altura de corte máxima pode chegar aos 4,9 m para o 12CM30, minerador mais robusto dentre todos os apresentados. A Tabela 6, por sua vez, apresenta especificações de mineradores variantes do tipo *Roadheaders*, série MR da Sandvik. Estes últimos apresentam uma boa eficiência energética, já que boa parte da potência total é aproveitada na cabeça de corte.

Tabela 5 - Especificações de Mineradores contínuos Komatsu Joy das séries 12CM e 14CM.

Minerador contínuo Komatsu Joy		Peso da máquina (t)	Altura mín. de corte (mm)	Altura máx. de corte (mm)	Altura mín. do vagão de carga (mm)	Potência da cabeça de corte (kW)	Potência total da máquina (kW)
Série 12CM	12CM12	59	1270 - 2160	3685 - 4600	1600	175	610
	12CM15	59	1270 - 2160	3685 - 4600	1600	175	610
	12CM27	75	1560 - 2410	3765 - 5000	1600	245	750
	12CM30	85	2856	4900	-	340	610
Série 14CM	14CM9	50,8	812	2324	718	150	550
	14CM10	53,5	965	3099	725	123	496
	14CM15	55 - 58,2	965 - 1219	2324 - 3277	718 - 870	175	600
	14CM27	67,3	1000	3400	1000	185 - 220	630 - 695

Fonte: Adaptado de KOMATSU, 2021b.

Tabela 6 - Especificações de mineradores contínuos Sandvik da série MR.

Minerador contínuo Sandvik	Peso (t)	Capacidade de carregamento (m ³ /h)	Altura de corte (mm)	Largura de corte (mm)	Dimensões C-L-A da máquina (m)	Potência da cabeça de corte (kW)	Potência total da máquina (kW)	Vel. máx. desloc. (m/s)
MR341	60	300	3000 - 4900	4200 - 7500	10,9 x 4,2 x 2,9	200	404	0,11
MR361	61	300	3000 - 5050	4500 - 7600	10,9 x 3,5 x 2,6	200	382	0,11
MR520	102	350	3900 - 5200	6500 - 8000	14,3 x 5,5 x 3,4	325	547	0,22

Fonte: Adaptado de SANDVIK, 2021a.

5.2.2 Cabeça Cortante com Movimento Giratório

Mineradores contínuos com cabeça cortante com movimento giratório, ou *Boring Miners*, são pouco empregados atualmente. Têm uso limitado à lavra por pilar e salão em algumas minas de sal ou a trabalhos de desenvolvimento (LINEBERRY; PAOLINI, 2011).

5.2.2.1 Origem

Lineberry e Paolini (2011) afirmam que os primeiros *Boring Miners* foram desenvolvidos quase que no mesmo período em que os primeiros mineradores

contínuos com cabeça cortante raspadora, como o *Joy Ripper* (1948), e desde então tiveram avanços tecnológicos incorporados ao longo dos anos.

5.2.2.2 Funcionamento

Mineradores contínuos dessa tipologia possuem cabeça de corte do tipo rotor, posicionada em plano paralelo à frente de lavra e acoplada ao corpo do minerador. Na maioria dos casos, cada minerador possui dois rotores (cabeças de corte), um ao lado do outro. A Figura 20 ilustra um minerador de dois rotores.

Figura 20 - Minerador contínuo Sandvik MF320 de dois rotores no interior de uma mina de sal.



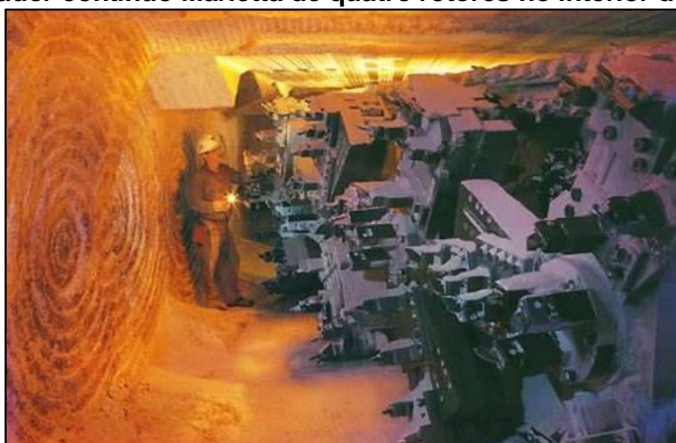
Fonte: SANDVIK, 2021b.

Existem também mineradores com apenas um rotor ou com mais de dois rotores. Na Figura 21, por exemplo, tem-se um minerador de quatro rotores. A escarificação dos *Boring Miners* é realizada por meio do movimento rotacional das cabeças de corte, de modo a desmontar uma grande área da parede simultaneamente. O material desmontado geralmente é transportado por um transportador de corrente blindado situado entre os rotores, cujo movimento, além de escavar o minério, também colabora para carregá-lo no AFC. Assim como nos mineradores contínuos com cabeça cortante raspadora, o AFC presente nesses equipamentos também transporta o material até a parte traseira e o descarrega em algum veículo de transporte.

De acordo com Fontes e Pinto (2002), esses mineradores apresentam altas taxas de avanço, alcançando produtividades elevadas em lavra. Conforme se observa na Figura 20, os *Boring Miners* são equipados com uma cabeça cortante articulada em

tambor cilíndrico superior e outra inferior, além dos rotores, para auxiliar na lavra próxima ao teto e ao piso. Mesmo assim, são máquinas pouco flexíveis e, por isso, consideradas pouco propícias para escavações de detalhe. Logo, podem demandar escavação complementar por *Roadheaders*, por exemplo.

Figura 21 - Minerador contínuo Marietta de quatro rotores no interior de uma mina de sal.



Fonte: DRÜPPEL, 2010.

Ademais, são equipamentos considerados difíceis de manobrar e que dificultam a ventilação na frente de lavra, devido ao grande volume que ocupam. Outra desvantagem está na dificuldade que estes equipamentos têm em escavar a parede e instalar tirantes e parafusos no teto simultaneamente, apesar de serem equipados com sistemas que o permitem (LINEBERRY; PAOLINI, 2011).

5.2.2.3 Especificações dos Equipamentos Atuais

A Tabela 7 contém especificações de mineradores contínuos com cabeça cortante com movimento giratório da Sandvik, série MF, que conta com apenas duas máquinas.

Tabela 7 - Especificações de mineradores contínuos Sandvik da série MF.

Minerador contínuo Sandvik	Peso (t)	Altura de corte (mm)	Largura de corte (mm)	Dimensões C-L-A da máquina (m)	Potência total da máquina (kW)
MF320	160	2840-3150	4800-5100	12,4 x 5,1 x 3,2	990
MF420	<i>Não especificado</i>	<i>Não especificado</i>	<i>Não especificado</i>	13,6 x 6,1 x 4	1633,5

Fonte: Adaptado de SANDVIK, 2021b.

Os equipamentos da linha MF são muito pesados e robustos, já que o MF320 (Figura 20), de menor porte, pesa 160 t. Ambos possuem dois rotores cada, mas não foram encontrados dados relativos às respectivas potências das cabeças de corte e tampouco algumas outras informações relevantes. Em Sandvik (2021b), o MF420 é descrito como o minerador contínuo mais pesado e mais “poderoso” (com maior potência total) do mundo, pelo menos dentre os mineradores para pilar e salão.

5.3 MINERADORES CONTÍNUOS SUBTERRÂNEOS NO BRASIL

Segundo Heider (2017), estão em atividade no Brasil dez minas subterrâneas de carvão mineral e uma de potássio, totalizando onze minas com potencial para emprego de mineradores contínuos em subsolo. Todas elas aplicam o método de lavra por pilar e salão. A Tabela 8 exhibe os resultados detalhados da primeira parte do levantamento, que apresenta informações úteis acerca de todas as minas subterrâneas mapeadas, incluindo o resultado das apurações sobre o status (ativa em 2021 ou não) e sobre o método de desmonte utilizado atualmente em cada uma delas.

Tabela 8 - Minas subterrâneas brasileiras de carvão mineral ou potássio e informações úteis.

Mina	Mineral de minério	Estado	Status (2021)	Método de lavra	Método de desmonte atual
Mina Amando Simões PI-08 – Carbonífera do Cambuí Ltda.	Carvão mineral	PR	Ativa	Pilar e salão	Por explosivos
Mina Fontanella – Carbonífera Metropolitana S/A	Carvão mineral	SC	Ativa	Pilar e salão	Mineradores contínuos
Mina Mel – Carbonífera Metropolitana S/A	Carvão mineral	SC	Ativa	Pilar e salão	Mineradores contínuos
Mina 101 – Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda.	Carvão mineral	SC	Ativa	Pilar e salão	Mineradores contínuos
Mina Cruz de Malta – Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda.	Carvão mineral	SC	Ativa	Pilar e salão	Mineradores contínuos
Mina Novo Horizonte – Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda.	Carvão mineral	SC	Inativa	Pilar e salão	-
Mina Bonito I – Carbonífera Catarinense Ltda.	Carvão mineral	SC	Ativa	Pilar e salão	Misto
Mina 3G Plano II – Carbonífera Catarinense Ltda.	Carvão mineral	SC	Ativa	Pilar e salão	Por explosivos
Mina Lauro Muller – Carbonífera Belluno Ltda.	Carvão mineral	SC	Ativa	Pilar e salão	Mineradores contínuos

Mina	Mineral de minério	Estado	Status (2021)	Método de lavra	Método de desmonte atual
Mina Cantão Norte – Carbonífera Belluno Ltda.	Carvão mineral	SC	Inativa	Pilar e salão	-
Mina 3 Acesso João Sônego – Coop. Ext. de Carvão Mineral dos Trabalhadores de Criciúma (Cooperminas)	Carvão mineral	SC	Inativa	Pilar e salão	-
Mina Taquari-Vassouras – Mosaic Potássio Mineração Ltda.	Silvina e Halita (Silvinita)	SE	Ativa	Pilar e salão	Mineradores contínuos

Fonte: Elaboração própria.

A Mina Mel (SC) da Carbonífera Metropolitana também foi incluída no levantamento, apesar de não constar em Heider (2017). O empreendimento se encontra em atividade em 2021 após alguns anos de paralização e emprega mineradores contínuos, conforme apurado. Esta mina, portanto, e outras seis minas (segundo a Tabela 8), foram consideradas elegíveis para a segunda fase do levantamento.

Para a segunda fase do levantamento, além das sete minas consideradas elegíveis na primeira fase, também foram colhidas informações acerca da mina Leão I (RS), onde foi realizado um experimento de lavra de carvão na década de 80. Embora não esteja ativa, a mina foi selecionada para a fase de descrição dos mineradores empregados por representar o único caso de que se tem notícia da aplicação de minerador contínuo para lavra por frentes longas (ou frentes curtas) no Brasil.

O formulário que serviu para captar as informações nesta fase do levantamento (modelo disponível na Figura 22 e na Figura 23, ambas no Apêndice B) foi enviado para seis representantes de cinco empresas mineradoras, considerando que algumas das empresas são responsáveis por mais de uma das minas selecionadas. Foram obtidas seis respostas dos representantes das cinco empresas: Carbonífera Metropolitana, Rio Deserto, Carbonífera Catarinense, Carbonífera Belluno e Mosaic Fertilizantes.

A Tabela 9 apresenta os resultados definitivos do levantamento, com destaque para as descrições dos mineradores empregados em subsolo brasileiro. As descrições incluem tipos, quantidades e modelos dos equipamentos de cada mina.

Tabela 9 - Minas brasileiras que empregam mineradores contínuos na lavra subterrânea e descrições dos equipamentos.

Mina	Mineral de minério	Estado	Status (2021)	Método de lavra	Descrição dos mineradores contínuos
Mina Fontanella – Carbonífera Metropolitana S/A	Carvão mineral	SC	Ativa	Pilar e salão	Minerador contínuo com cabeça cortante raspadora: Komatsu Joy 12CM12 (01). • Utilizado na lavra de minério.
Mina Mel – Carbonífera Metropolitana S/A	Carvão mineral	SC	Ativa	Pilar e salão	Mineradores contínuos com cabeça cortante raspadora: Komatsu Joy 14CM15 (02). • Utilizados na lavra de minério e no desenvolvimento da mina.
Mina 101 – Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda.	Carvão mineral	SC	Ativa	Pilar e salão	Mineradores contínuos com cabeça cortante raspadora: EIMCO Dash Zero (01); Komatsu Joy 14CM09 (04) - <i>ver Figura 26 (Anexo B)</i> .
Mina Cruz de Malta – Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda.	Carvão mineral	SC	Ativa	Pilar e salão	• Utilizados na lavra de minério, divididos entre duas minas da empresa.
Mina Bonito I – Carbonífera Catarinense Ltda.	Carvão mineral	SC	Ativa	Pilar e salão	Mineradores contínuos com cabeça cortante raspadora: Komatsu Joy 14CM15 (02). • Utilizados na lavra de minério.
Mina Lauro Muller – Carbonífera Belluno Ltda.	Carvão mineral	SC	Ativa	Pilar e salão	Mineradores contínuos com cabeça cortante raspadora: Komatsu Joy 14CM15 (03). • Utilizados na lavra de minério e no desenvolvimento da mina.
Mina Taquari-Vassouras – Mosaic Potássio Mineração Ltda.	Silvina e Halita (Silvinita)	SE	Ativa	Pilar e salão	Mineradores contínuos com cabeça cortante com movimento giratório: Marietta 900 (06) - <i>ver Figura 27 (Anexo B)</i> . • Utilizados na lavra de minério e no desenvolvimento da mina.
Mina Leão I (lavra experimental) – Companhia Riograndense de Mineração	Carvão mineral	RS	Inativa	Frentes curtas	A lavra experimental ocorreu na década de 80 em um painel de 800 m de extensão, 70 m de largura e 2 m de espessura. O minerador era um <i>Shearer</i> de dois tambores e diâmetro 1,09 m cada um. A escavação das galerias laterais foi feita por <i>Roadheaders</i> (UFRGS/DEMIN, 2014).

Fonte: Elaboração própria.

O estudo também pôde captar a opinião de alguns profissionais (sobretudo engenheiros de minas) sobre o cenário dos mineradores contínuos subterrâneos no Brasil. No que diz respeito especificamente à lavra subterrânea de carvão, um ponto

de vista que pôde ser percebido considera que a utilização dos mineradores contínuos ainda é relativamente recente no país e, por isso, ainda há dificuldades para a formação de mão-de-obra qualificada para operação e manutenção dos equipamentos. Como exemplo disso, foi mencionado o desconhecimento, por parte de muitos profissionais, da aplicabilidade de diferentes tipos de *laycings* (configurações) dos tambores de corte para cada nível de resistência da camada de carvão, em minas que aplicam o método de lavra por pilar e salão.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Diante dos assuntos abordados e dos resultados apresentados, tanto pela pesquisa bibliográfica quanto pelo levantamento sobre mineradores contínuos subterrâneos no Brasil, algumas observações sobre cada uma das duas etapas de trabalho podem ser pontuadas.

6.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Os mineradores contínuos subterrâneos utilizados na atualidade, em sua grande maioria, são totalmente elétricos. Essa é considerada a única fonte de energia realmente viável para o funcionamento dessas máquinas, já que o uso de motores a combustão, por exemplo, gera gases poluentes no interior das galerias subterrâneas. Tais galerias já não apresentam circulação de ar natural e dependem de sistemas de ventilação artificial, que correm risco de serem fortemente sobrecarregados por gases poluentes para proverem as condições de trabalho adequadas aos colaboradores que atuam em subsolo. No caso de minas subterrâneas de carvão (onde se emprega grande parte dos mineradores contínuos), ainda pode haver o agravante da liberação natural de gás metano (explosivo) das rochas carboníferas, fator que por si só já exige a implantação de sistemas de ventilação reforçados (MCPHERSON, 2018).

Além disso, os equipamentos estudados são operados remotamente, na maioria dos casos. Enquanto mineradores para lavra por pilar e salão necessitam de operadores no painel de lavra, operando a uma distância segura por controle remoto, alguns

mineradores para lavra por frentes longas permitem até mesmo que a operação seja toda feita em superfície, dispensando trabalhadores nos painéis de lavra na maior parte do tempo, exceto para atividades de manutenção.

Essas e outras tecnologias juntas permitem que os mineradores contínuos subterrâneos atuais sejam 100% automatizados e tenham características operacionais de ponta. O principal benefício decorrente desse fato está na segurança que é propiciada aos trabalhadores de minas subterrâneas, reduzindo os riscos de acidentes (incidentes com danos aos trabalhadores) envolvendo falhas mecânicas ou quaisquer outros problemas a níveis baixíssimos. Vale ressaltar, porém, que o uso de equipamentos modernos e operados corretamente não é garantia de segurança em operações na mineração. A segurança envolve também uma série de sistemas e práticas de responsabilidade de todos os trabalhadores, desde aqueles que atuam em cargos de liderança até os que trabalham *in loco* nas operações em subsolo.

É notório, também, que grande parte dos avanços foram desenvolvidos de modo a otimizar os processos na frente de lavra, aumentando a produtividade e a confiabilidade, reduzindo custos operacionais (na medida do possível) e possibilitando manutenções mais simples, mais baratas e menos frequentes. Em alguns casos, a redução de impactos ambientais, como poluição sonora e atmosférica, também pode ser constatada como consequência da evolução tecnológica das máquinas estudadas.

6.2 MINERADORES CONTÍNUOS SUBTERRÂNEOS NO BRASIL

Com relação aos mineradores contínuos subterrâneos em operação no Brasil, nota-se que grande parte destes, ou todos os utilizados em minas de carvão atualmente, estão na região carbonífera de Santa Catarina. Localizada no sul do estado, ela tem como base de seu desenvolvimento socioeconômico a própria indústria carbonífera, que envolve diretamente os municípios catarinenses de Criciúma, Treviso, Içara, Urussanga, Forquilha, Cocal do Sul, Siderópolis e Lauro Müller (SIECESC, 2008).

As minas subterrâneas de carvão da região, que aplicam a lavra por pilar e salão, compreendem todos os treze mineradores contínuos com cabeça cortante raspadora mapeados pela pesquisa no país, embora nem todas as minas da região façam uso

desse tipo de maquinário no desmonte de rochas. Doze dos treze mineradores referidos são do fabricante Komatsu Joy, séries 12CM ou 14CM. Esses equipamentos, cujas especificações foram detalhadas no presente trabalho, estão há muito tempo no mercado e são modernos e automatizados. Incluem motores individuais confiáveis e de manutenção simples para os sistemas de corte, de tração, de coleta e hidráulicos, podem conter também sistemas de resfriamento e umidificação, são operados por controle remoto, possuem plataforma de controle para facilitar o equilíbrio entre o custo e a taxa de produção e têm sistemas hidráulicos simples, de modo a evitar vazamentos (KOMATSU, 2021b), entre outras características relevantes.

Já os mineradores contínuos com cabeça cortante com movimento giratório somam seis de acordo com a pesquisa, todos eles da mina de potássio Taquari-Vassouras (SE), da Mosaic Fertilizantes. São equipamentos relativamente antigos (com mais de 20 anos), mas ainda muito eficientes e com características voltadas para uma alta produtividade. Os números detalhados de mineradores contínuos em operação no país, subdivididos em tipos e modelos, se encontram na Tabela 10.

Tabela 10 - Mineradores contínuos subterrâneos em operação no Brasil em 2021.

Método de lavra	Tipo de minerador contínuo	Modelo	Quantidade
Pilar e salão	Cabeça cortante raspadora	Komatsu Joy 12CM12	01
		Komatsu Joy 14CM09	04
		Komatsu Joy 14CM15	07
		EIMCO Dash Zero	01
	Cabeça cortante com movimento giratório	Marietta 900	06

Fonte: Elaboração própria.

7 CONCLUSÃO

Os inúmeros desenvolvimentos tecnológicos para todos os tipos de equipamentos estudados evidenciam que a lavra subterrânea com mineradores contínuos definitivamente mudou de patamar nos últimos 50 anos. Considera-se esse período como base, nesse caso, porque há 50 anos as máquinas de desmonte mecânico em subsolo já eram amplamente utilizadas na lavra por frentes longas e por pilar e salão.

O estudo da evolução dos mineradores contínuos subterrâneos ajuda a entender a evolução dos próprios métodos de lavra, que em sua maioria acabavam intensificando no passado as condições de insalubridade das minas. Hoje, os métodos de lavra compreendem estruturas mais seguras, profissionais capacitados e máquinas de alta tecnologia, o que possibilita alta salubridade, segurança e produtividade em subsolo.

Como são cada vez mais escassas as reservas minerais próximas à superfície, com o passar do tempo os desenvolvimentos tecnológicos para operações em subterrâneo, inclusive cada vez mais profundas, se tornam também requisitos para a abertura de novas minas. E nesse contexto, os avanços tecnológicos dos mineradores contínuos subterrâneos visam adaptá-los cada vez mais às condições da mineração subterrânea, como as características do minério e das rochas encaixantes, específicas em cada caso, e a necessidade de ventilação artificial, por exemplo, além de serem influenciados pelas preocupações constantes em se promover o aumento da produtividade, a redução dos impactos ambientais e a manutenção da segurança da operação para os trabalhadores.

No Brasil, destaca-se a presença dos mineradores contínuos com cabeça cortante raspadora, sendo que todos estes operam em minas de carvão no estado de Santa Catarina com lavra por pilar e salão. Esses equipamentos correspondem a treze dos dezenove mineradores contínuos subterrâneos empregados em território nacional, ou 68,4% (dentre os mapeados pela pesquisa). Já os outros seis equipamentos, ou 31,6% de todos, são mineradores contínuos com cabeça cortante com movimento giratório que atuam em uma única mina de potássio, que também adota o método de lavra por pilar e salão.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Além do estudo dos mineradores contínuos subterrâneos, seria interessante também a realização de um aprofundamento dos conhecimentos sobre a evolução tecnológica de outras máquinas relacionadas à lavra subterrânea, como transportadores (de correia convencionais, com alta inclinação ou AFC, por exemplo), suportes hidráulicos de teto, britadores em subterrâneo, veículos subterrâneos (LHDs, *Shuttle Cars* ou caminhões adaptados, por exemplo), entre outros.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, J. F. **Estudo de índices operacionais da lavra subterrânea no Brasil**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 2012. p. 19-40.

ATLAS COPCO. **Underground mining: A global review of methods and practices**. 1ª Ed., 2014. 260 p.

AYRES DA SILVA, A. L. **Métodos de lavra subterrânea: Método de lavra por frentes longas e por frentes curtas**. Notas de Aula, 2021. 17 p.

BIBB, T. C.; HARGROVE, K. M. Coal mining: method selection. In: DARLING, P. **SME Mining Engineering Handbook**. 3ª Ed, Cap 21.4, 2011. p. 1854-1866.

BUSFIELD, J. Soft-rock equipment selection and sizing. In: DARLING, P. **SME Mining Engineering Handbook**. 3ª Ed, Cap 12.3, 2011. p. 1157-1178.

CATERPILLAR. **Wherever there's mining, we're there: Underground mining**, 2013a. 52 p.

CATERPILLAR. **Small specalog for Cat EL4000 Longwall Shearer**. 2013b. 4 p. Disponível em: <<https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C835931>>. Acesso em: 22 jun. 2021.

CATERPILLAR. **Sistema de mineração subterrâneo Longwall**. Links para as páginas dos mineradores EL1000, EL2000 e EL3000, 2021a. Disponível em: <https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/underground-longwall.html>. Acesso em: 23 jun. 2021.

CATERPILLAR. **Rafadeiras de mineração**. Links para as páginas dos mineradores GH800, RHH800, GH800B, GH1600, 2021b. Disponível em: <https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/underground-longwall/plows.html>. Acesso em: 25 jun. 2021.

CIGLA, M.; OZDEMIR, L. **Computer modeling for improved production of mechanical excavators**. Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SME) Annual Meeting. Salt Lake City, UT, USA, 2000. 1343 p.

CURI, A. **Lavra de minas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 462 p.

DRÜPPEL, E. **Desenvolvimento de um conceito para corte em extração de sal-gema (tradução)**. Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Recursos Minerais e Engenharia de Materiais da Universidade Técnica de Aachen, Alemanha (RWTH Aachen University), 2010. 194 p.

FONTES, S.; PINTO, C. **Planejamento de lavra dos painéis ED5 da mina de potássio de Taquari-Vassouras**. II Congresso Brasileiro de Mina Céu Aberto e Mina Subterrânea, 2002. 13 p.

HARTMAN, H. L.; MUTMANSKY, J. M. **Introductory Mining Engineering: Stages of mining: development and exploitation**. 2ª Ed., John Wiley and Sons, 2002. 592 p.

HEIDER, M. **Visão da mineração subterrânea no Brasil**. Revista In The Mine, São Paulo, No. 66, 2017. p. 13-16.

KARMIS, M. **Mine health and safety management**. Littleton, USA: Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SME), 2001. p. 8.

KOMATSU. **Sistemas Longwall: Cortadores Longwall da Joy; Especificações**, 2021a. Disponível em: <<https://mining.komatsu.pt/product-details/cortadores-longwall-da-joy#!specifications>>. Acesso em: 22 jun. 2021.

KOMATSU. **Mineração subterrânea: Sala e pilares**. Mineradores contínuos; links para as páginas dos mineradores 12CM12, 12CM15, 12CM27, 12CM30, 14CM9, 14CM10, 14CM15 e 14CM27, 2021b. Disponível em: <<https://mining.komatsu.pt/minera%C3%A7%C3%A3o-subterr%C3%A2nea/sala-e-pilares>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

LEMKE, M. Coal winning overview. In: JUNKER, M.; LEMKE, M. **Technical developments in coal winning**. Essen, Germany: Vulkan Verlag, 1ª Ed., Cap. 2, 2018a. P. 5-21.

LEMKE, M. Shearing. In: JUNKER, M.; LEMKE, M. **Technical developments in coal winning**. Essen, Germany: Vulkan Verlag, 1ª Ed., Cap. 5.1, 2018b. p. 101-140.

LEMKE, M. Coal winning in semi-steep and steep deposits. In: JUNKER, M.; LEMKE, M. **Technical developments in coal winning**. Essen, Germany: Vulkan Verlag, 1ª Ed., Cap. 6, 2018c. p. 473-490.

LINEBERRY, G. T.; PAOLINI, A. P. Equipment selection and sizing. In: DARLING, P. **SME Mining Engineering Handbook**. 3ª Ed, Cap 17.2, 2011. p. 1550-1571.

LIVING HISTORIES. **'Joy' 1CM Continuous Miner close up of ripper head at the face**. Compass Coal Co. No. 3 mine, West Virginia, USA. The University of Newcastle, Australia, 2011. Disponível em: <<https://livinghistories.newcastle.edu.au/nodes/view/85978>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

MCPHERSON, M. J. **Subsurface Ventilation Engineering**. Berkeley: Mining Ventilation Services, Inc., 2018. 902 p.

MOREIRA, E. I. **Seleção de método de lavra para exploração de pegmatitos na Paraíba utilizando métodos de Nicholas e Nicholas modificado**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, 2017. 133 p.

NALBANTOV, G. I. et al. **Image mining for intelligent autonomous coal mining**. 2010. P. 17-23. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/The-process-of-longwall-coal-mining_fig1_221338393>. Acesso em: 21 jun. 2021.

PASCHEDAG, U. **CAT Room & Pillar solutions**: Caterpillar Global Mining, GM Underground Products. Advanced Mining Solutions, 2000. Disponível em: <<https://www.advanced-mining.com/artikel.php?id=241>>. Acesso em: 21 jun. 2021.

PASCHEDAG, U. Plowing. In: JUNKER, M.; LEMKE, M. **Technical developments in coal winning**. Essen, Germany: Vulkan Verlag, 1ª Ed., Cap. 5.2, 2018. p. 141-180.

PENG, S. S. et al. **Automation in US Longwall coal mining**: A state-of-the-art review. International Journal of Mining Science and Technology, v. 29, n. 2, 2019. p. 151-159.

RALSTON, J. C. et al. **Longwall automation**: Delivering enabling technology to achieve safer and more productive underground mining. International Journal of Mining Science and Technology, v. 25, n. 6, 2015. p. 865-876.

RIO DESERTO. **Tecnologia**: Minerador contínuo importado dos Estados Unidos recebe adequações e já está em operação na Rio Deserto. 2020. Disponível em: <<https://www.riodeserto.com.br/blog/13209-2/>>. Acesso em: 05 set. 2021.

SANDVIK. **Cabeças rotativas para mineração**. Links para as páginas dos mineradores MR341, MR361 e MR520, 2021a. Disponível em: <<https://bitly.com/YYYawh>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

SANDVIK. **Mineradores**. Links para as páginas dos mineradores MF320 e MF420, 2021b. Disponível em: <<https://bitly.com/MqNhL3>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

SECCATORE, J.; MARIN, T.; TOMI, G. **Aplicabilidade do método de lavra “Longwall Top Coal Caving” nas jazidas de carvão na Região Sul do Brasil**. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011. 16 p.

SIECESC. **Relatório Setorial**. Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina; Carvão Mineral - Energia Nacional, 2008. p. 05.

SZARY, M. L.; CHUGH, Y. P.; HIRSCHI, J. **Noise variability in underground Room and Pillar coal mines**. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, Vol. 17, No. 3, 2011. p. 301-308.

UFRGS/DEMIN. **Método de lavra**: Longwall. Material de divulgação interna, 2014. 132 p. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/1272389/>>. Acesso em: 18 ago. 2021.

UNDERGROUND COAL. **Shearers**. Longwall Mining; Equipment Selection. Australian Coal Industry's Research Program, University of Wollongong, 2021. Disponível em: <<http://www.undergroundcoal.com.au/longwall/shearers.aspx>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

WITTHAUS, H. Coal winning with stowing. In: JUNKER, M.; LEMKE, M. **Technical developments in coal winning**. Essen, Germany: Vulkan Verlag, 1ª Ed., Cap. 7, 2018. P. 491-508.

APÊNDICE A – MINERADORES CONTÍNUOS SUBTERRÂNEOS EM LAVRA POR MÉTODOS VARIANTES DE FRENTES LONGAS

Tabela 11 - Métodos variantes de lavra que empregam mineradores contínuos subterrâneos.

Método variante	Características
Lavra por frentes longas em corpos íngremes	<p>Camadas de carvão com mergulho de 0 a 20° são consideradas planas a moderadamente inclinadas. Com mergulho de 20 a 40° ou acima de 40°, são, respectivamente, semi-íngremes ou íngremes. Raramente camadas de carvão com mergulho acima de 20° são lavradas por frentes longas, mas até meados da década de 90 muitos dos depósitos explotados eram semi-íngremes ou íngremes. Por meio de operações de lavra totalmente mecanizadas, depósitos desses tipos podem ser explotados utilizando-se mineradores contínuos do tipo <i>Shearer</i> ou do tipo <i>Plow</i>. <i>Shearers</i>, nesses casos, requerem algumas adaptações. O peso elevado desse tipo de minerador (e crescente ao longo dos anos) dificulta sua sustentação e sua locomoção em meio inclinado devido à ação da gravidade. Logo, os sistemas de transporte devem possuir capacidade mais elevada de tração. Já os do tipo <i>Plow</i> são mais adaptáveis a esse tipo de ambiente, muito em virtude de serem mais leves. Os <i>Plows</i> empregados são praticamente os mesmos utilizados em camadas de carvão planas, e por isso eles foram mais comuns que os <i>Shearers</i> neste método variante. Até a década de 60, o uso do AFC era dispensado. O material desmontado se movimentava para a lateral do painel apenas pelo arraste do minerador e pela ação da gravidade. Vale ressaltar também que depósitos mais inclinados geralmente possuem mais falhas geológicas, exigindo, por exemplo, suportes hidráulicos de teto mais fortes (LEMKE, 2018c).</p>
Lavra por <i>Stowing</i>	<p>O método de lavra por <i>Stowing</i> consistia em uma adaptação do método de frentes longas sem o desabamento do teto sobre os realces abertos. Ao invés disso, o teto era suportado provisoriamente por algum entre uma série de mecanismos disponíveis (pneumático, hidráulico, mecânico, entre outros) e depois preenchido total ou parcialmente por material externo, geralmente rejeitos de processamento compostos por partículas grossas ou finas (como argila). Empregado entre meados da década de 20 e meados da década de 90, este método se aplicava a camadas de carvão íngremes ou não, e seu principal objetivo era evitar a possível subsidência da superfície sobre a jazida decorrente do desabamento do teto em lavra por frentes longas (WITTHAUS, 2018).</p>

Método variante	Características
<p>Lavra por <i>Longwall Top Coal Caving</i> (LTCC)</p>	<p>A lavra pelo método tradicional de frentes longas é limitada tecnicamente, em alguns casos, pela espessura elevada da camada de carvão. Os <i>Shearers</i> de maior porte e mais modernos podem extrair camadas de carvão de até 7 m de altura, entretanto os altos custos operacionais, de aquisição e de manutenção dos mineradores de grande porte são fatores que podem impedir o uso. Existem, ainda, camadas com espessuras superiores a 7 m, nas quais o volume acima do limite dos equipamentos não é retirado independentemente do minerador empregado. Quando um dos problemas descritos ocorre, o método <i>Longwall Top Coal Caving</i> (LTCC) é uma opção a ser considerada. A técnica emprega escavação por <i>Shearer</i> na porção inferior da camada de carvão, acompanhada da recuperação do mineral desabado do teto do painel atrás dos suportes hidráulicos. Os suportes empregados pelo método LTCC são ligeiramente modificados em relação àqueles utilizados em frentes longas, incorporando um AFC traseiro e um cantilever controlado hidráulicamente e capaz de virar em torno de um pinhão. A sequência de escavação permite que o carvão fraturado acima e na parte traseira do suporte seja confluído pelo cantilever no AFC traseiro. Após o fluxo de determinado volume de minério, o cantilever traseiro é estendido de volta contra o material colapsado, interrompendo fluxos eventuais de material estéril. Em seguida, os suportes avançam normalmente para o próximo ciclo de escavação. Esse método foi desenvolvido originalmente na China nos anos 90, e vem sendo aplicado continuamente desde então. Está em operação, atualmente, em mais de 100 jazidas em diferentes condições de mineração. A lavra por LTCC combina a comprovada eficiência da escavação da lavra por frentes longas com uma redução expressiva de custos e de riscos de segurança na exploração de camadas com espessuras superiores a 4 m. Sua aplicabilidade depende de características físicas dos depósitos, como a profundidade de escavação, a resistência do carvão e a espessura do carvão na parte superior da jazida (SECCATORE; MARIN; TOMI, 2011).</p>

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE B – FORMULÁRIO DO LEVANTAMENTO SOBRE MINERADORES CONTÍNUOS SUBTERRÂNEOS NO BRASIL

Figura 22 - Formulário elaborado via plataforma *Google Forms* e enviado a representantes de empresas mineradoras (parte 1 de 2).

Pesquisa Sobre Mineradores Contínuos Subterrâneos no Brasil

Levantamento dos empreendimentos de mineração em subsolo brasileiros que empregam mineradores contínuos e de quais tipos, como parte do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Minas na Escola Politécnica da USP.
Autor: Pedro Lucas Campos Jorge.

*Obrigatório

1. E-mail *
2. Nome da empresa *
3. Nome da mina subterrânea *
4. Mineral de minério e subprodutos (caso aplicável) *
5. Qual é o método de lavra subterrânea utilizado no empreendimento?
6. A mina utiliza mineradores contínuos nas operações de lavra ou de desenvolvimento? *

Marcar apenas uma oval.

Sim, apenas em lavra

Sim, apenas no desenvolvimento da mina

Sim, em lavra e no desenvolvimento da mina

Não

Fonte: Elaboração própria.

Figura 23 - Formulário elaborado via plataforma *Google Forms* e enviado a representantes de empresas mineradoras (parte 2 de 2).

7. Se possível, especificar os modelos dos mineradores contínuos empregados e a quantidade de cada um na frota de equipamentos da mina.

8. Espaço para envio de fotografias ou vídeos dos equipamentos (opcional).

Arquivos enviados:

9. Adicione comentários adicionais, se pertinente.

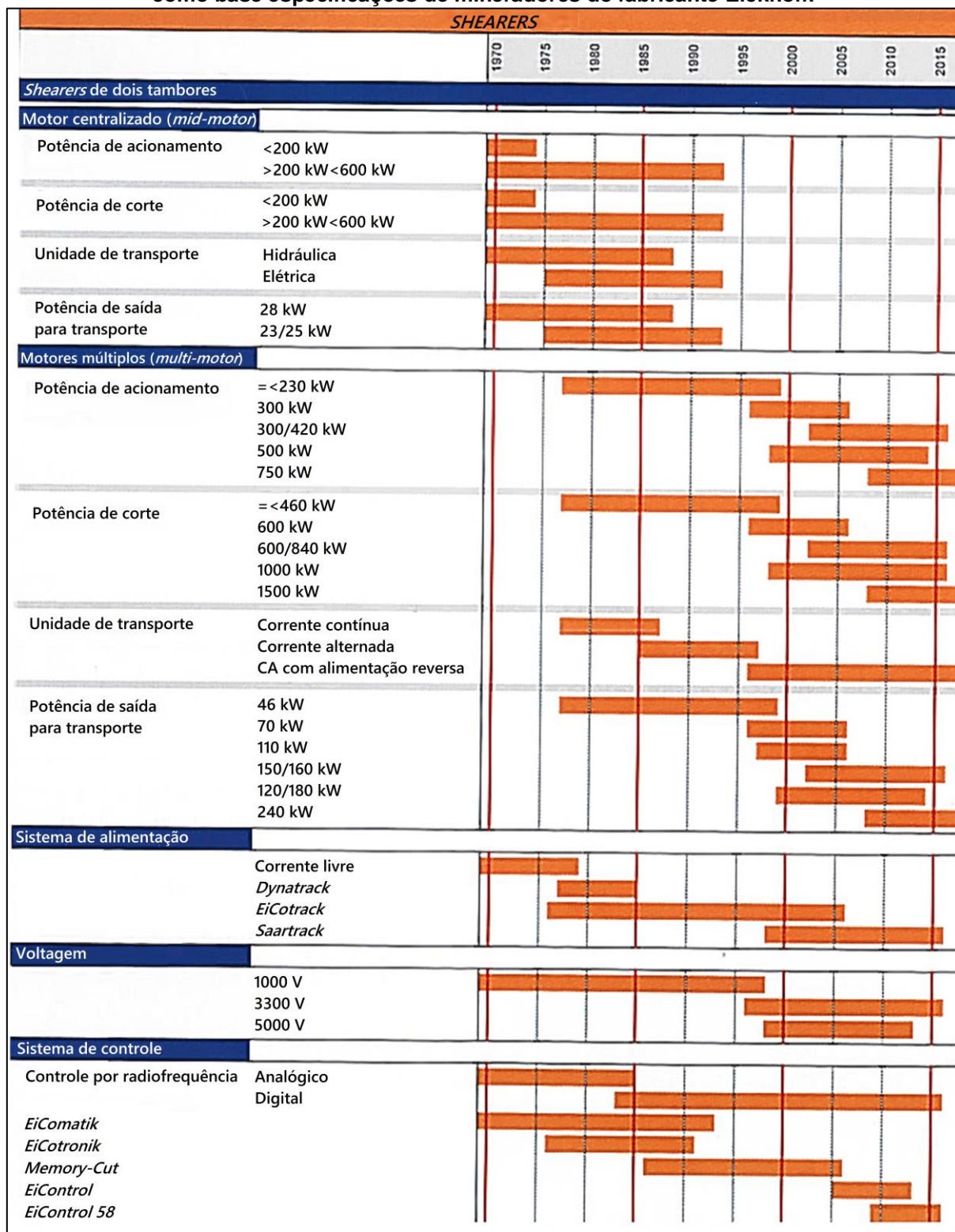
Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

Fonte: Elaboração própria.

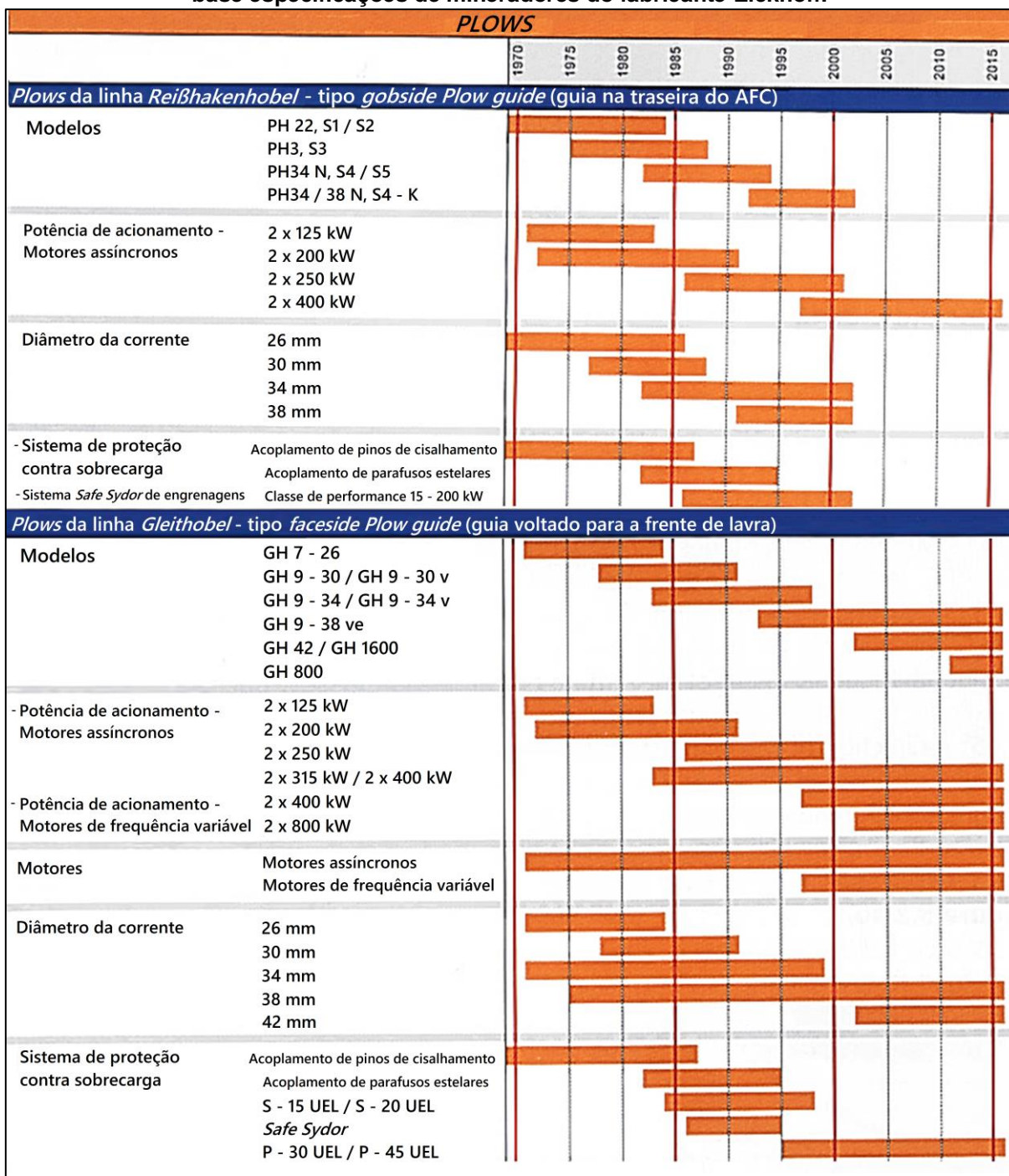
ANEXO A – ESCALAS CRONOLÓGICAS DE DESENVOLVIMENTOS TECNOLÓGICOS

Figura 24 - Cronologia dos principais desenvolvimentos tecnológicos em *Shearers*, tendo como base especificações de mineradores do fabricante Eickhoff.



Fonte: Adaptado de LEMKE, 2018b.

Figura 25 - Cronologia dos principais desenvolvimentos tecnológicos em *Plows*, tendo como base especificações de mineradores do fabricante Eickhoff.



Fonte: Adaptado de PASCHEDAG, 2018.

ANEXO B – FOTOGRAFIAS DE MINERADORES CONTÍNUOS SUBTERRÂNEOS EM OPERAÇÃO NO BRASIL

Figura 26 - Vista dianteira (esq.) e traseira (dir.) de um minerador contínuo Komatsu Joy 14CM09 adaptado da Rio Deserto, atualmente em operação na mina Cruz de Malta (SC).



Fonte: RIO DESERTO, 2020.

Figura 27 - Minerador Marietta 900 na mina Taquari-Vassouras (SE) – Mosaic Fertilizantes.



Fonte: FONTES; PINTO, 2002.