

O FUTURO DA LAVRA SUBTERRÂNEA DE CARVÃO

Diogo CORDOVA¹; Matheus PIMENTA²; Fernando CARDOZO³; André ZINGANO⁴

¹UFRGS, diogocordova@me.com; ²UFRGS, pimenta@ufrgs.br; ³UFRGS, fernando.cantini3@hotmail.com; ⁴UFRGS, andrezin@ufrgs.br

RESUMO

A mineração de carvão por lavra subterrânea tem evoluído ao longo do tempo passando por diferentes estágios de transformação. A chamada “mineração tradicional” envolvia o uso de grande mão de obra no subsolo, uso intenso de equipamentos movidos a combustível fóssil, baixa tecnologia e nenhum processo automatizado. Atualmente, fora do Brasil, podemos dizer que já começamos a viver em um período denominado Mineração em Tempo Real (MTR), onde já existem alguns processos semiautônomos, com operações remotas e salas de controle operacional. Hoje o que se pensa sobre o futuro da mineração subterrânea envolve o uso de equipamentos totalmente autônomos, lavra ininterrupta e um número mínimo de trabalhadores no interior da mina. Por meio de uma revisão bibliográfica, este trabalho busca reunir as informações atualmente existentes a respeito de como as inovações tecnológicas, podem otimizar a lavra subterrânea de carvão. Além disso, o objetivo também é discutir como o uso de equipamentos autônomos impactaria em uma nova estrutura organizacional, atraindo interesse das novas gerações de mão de obra. O uso de equipamentos autônomos traz vantagens desde o ponto de vista técnico, operacional e da segurança. Além disso, possibilita a lavra de depósitos extremamente profundos e em lugares remotos, com informações em tempo real e aumento de produtividade. Ao longo de décadas de constantes reduções de custos e de envelhecimento da mão de obra, as empresas de mineração foram obrigadas a limitar os investimentos em novos recursos e tecnologias. Utilizando-se como argumento as questões sociais, ambientais e econômicas, que envolvem a automação na indústria mineira de carvão, pode-se conseguir a quantidade de investimento necessário para o setor. A aplicação de sistemas automatizados melhora a qualidade do trabalho para os funcionários, reduzindo a exposição à ambientes insalubres ou inseguros e proporcionará oportunidades de treinamento e capacitação. Esses sistemas também são eco sustentáveis e ajudam a obter o apoio social que a indústria do carvão tanto vem lutando para conquistar nos últimos anos. Tendo em vista a crescente demanda por energia no país e no mundo, se imagina que a matriz energética seja cada vez mais ampliada, portanto é necessário garantir que parte do incentivo seja dado à geração de energia via termoeletrônica com investimentos nas novas tecnologias. Portanto, inicialmente espera-se a otimização da tecnologia de lavra com aplicação de sistemas semiautônomos, para uma posterior completa quebra de paradigma, passando de sistemas manuais para sistemas totalmente automatizados nas operações de lavra subterrânea de carvão no Brasil.

Palavras-chave: Equipamentos autônomos, mineração em tempo real, mineração do futuro

ABSTRACT

Underground coal mining has evolved over time through different stages of transformation. The so-called "traditional mining" involved the use of extensive underground labor, heavy use of fossil fuel-powered equipment, low technology and no automated process. Nowadays, outside Brazil, we can say that we have started living in a period called Real-Time Mining (RTM), where there are already some semiautonomous processes, with remote operations and operating control rooms. Today what is thought about the future of underground mining involves the use of fully autonomous equipment, uninterrupted operations and a reduced number of workers inside the mine. Through a bibliographical review, this work seeks to gather information about how technological innovations can optimize underground coal mining. In addition, the objective is also to discuss how the use of standalone equipment would impact a new organizational structure, attracting interest from the new generations of laborers. The use of standalone equipment brings advantages from the technical, operational and safety point of view. Furthermore, it enables the exploitation of extremely deep ore bodies and in remote locations, with real-time information and increased productivity. Through decades of constant cost reductions and the aging of the workforce, mining companies have been forced to limit investments in new resources and technologies. The heavy investment required to introduce automation into the coal mining industry is legitimized when considering the social, environmental and economic advantages. The application of automated systems improves the quality of work for employees by reducing exposure to unhealthy or unsafe environments and will provide training and capacity building

opportunities. These systems are also eco-sustainable and help gain the social support that the coal industry has been struggling to achieve in recent years. Given the growing demand for energy in the country and in the world, Brazil's energy matrix is expected to grow more and more. It is therefore necessary to ensure that part of the incentive is given to the new generation thermoelectric power plants with investments in new technologies. Therefore, it is appropriate to optimize the mining technology with the application of semi-autonomous systems, for a later complete paradigm shift, from manual systems to fully automated systems in the underground coal mining operations in Brazil.

Key-Words: Autonomous mining, real-time mining, future mining

1 INTRODUÇÃO

Quando se ouve rapidamente a expressão “mina de carvão”, o pensamento coletivo remete a figura de um mineiro sujo de preto, de meia idade, com uma lanterna no capacete e carregando vagonetas em condições insalubres sob jornadas exaustivas (KLOVAN, 2009). Isso ocorre porque a mineração de carvão no Brasil é uma indústria antiga que data desde o final do século XIX. (ARAMIS, 2002).

Mesmo que essas percepções antigas da mineração de carvão possam soar incoerentes atualmente, no Brasil as minas de carvão ainda não operam com as mesmas tecnologias que em minas de carvão nos EUA, China e Canadá, por exemplo.

Segundo Eble (2015), uma mina modelo, localizada no estado do Colorado nos EUA, fornece a cada um dos mineiros, durante seus turnos de trabalho, aparelhos com tecnologia semelhante à de um celular, com capacidade de envio de mensagens de texto entre subsolo e superfície, mantendo assim comunicação constante com os supervisores na sala de controle em superfície. Como precauções adicionais de segurança, sistemas de rastreamento sem fio, instalados nos capacetes dos mineiros, monitoram suas localizações em tempo real. As etiquetas transmitem a informação de localização dos operários na mina, em mapas, para socorrer e ajudar em caso de um acidente. As etiquetas também são instaladas em todos os equipamentos subterrâneos, de maneira que uma central de controle em superfície mantém o registro de tudo, ajudando na localização de equipamentos e itens para os mineiros.

Estas e outras tecnologias utilizadas requerem grandes investimentos financeiros, desde a compra de novos equipamentos além do investimento em capacitação profissional dos novos trabalhadores. Esses investimentos são muito difíceis no cenário econômico atual do Brasil, onde não há o devido apoio e incentivo ao setor mineral de carvão.

Um dos objetivos deste trabalho é mostrar de que maneira esses investimentos poderiam ter seu retorno viabilizado, na forma de aumento de produtividade, segurança das operações subterrâneas de carvão, qualificação da mão de obra e uso racional dos recursos disponíveis.

2 DEMANDA DE CARVÃO MINERAL NO BRASIL

Durante a Primeira Guerra Mundial, o carvão mineral brasileiro assistiu seu primeiro surto de exploração, época em que foram ampliados os ramais ferroviários no sul do Brasil e inauguradas novas empresas mineradoras.

O segundo surto veio no Governo Federal Getúlio Vargas, com decreto determinando o consumo do carvão nacional e com a construção da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). A obrigatoriedade da utilização do carvão nacional foi estabelecida em 10% em 1931, aumentando esta cota para 20% em 1940.

Ao longo dos anos 60 ocorreram profundas mudanças no setor e, no início dos anos 70, estavam em atividades apenas 11 mineradoras, a maioria pertencente a empresários locais.

O último *boom* no setor foi com a crise do petróleo em 1973, com as atenções voltadas novamente para o uso do carvão nacional. No início da década de 90 o setor é desregulamentado por decreto do Governo Federal, mergulhando toda a indústria do carvão em profunda crise.

O início de uma nova fase de desenvolvimento da atividade carbonífera se avizinha com a implantação de um parque térmico na região Sul. Estudos técnicos vêm sendo realizados com base em tecnologias avançadas já desenvolvidas nos Estados Unidos. O trabalho tem envolvido as empresas mineradoras da região que, nos últimos cinco anos, priorizaram políticas de recuperação e proteção ambiental, de segurança e saúde do trabalhador e

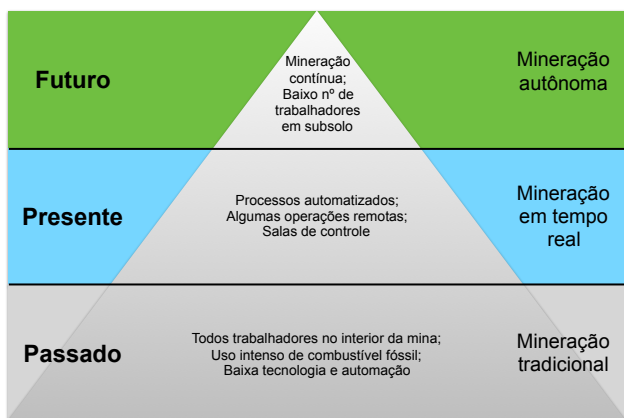
investimentos na qualificação tecnológica das minas (ABCM, 2017).

3 O PASSADO, PRESENTE E FUTURO

A mineração de carvão por lavra subterrânea tem evoluído ao longo do tempo passando por diferentes estágios de transformação. A chamada “mineração tradicional” envolvia o uso de grande mão de obra no subsolo, uso intenso de equipamentos movidos a combustível fóssil, baixa tecnologia, muito acidentes e pneumoconiose. Além de grandes impactos ambientais: depósitos de rejeitos, ruptura de aquíferos e acidificação das águas.

Atualmente, fora do Brasil, pode-se dizer que já estão vivendo o estágio denominado “Mineração em Tempo Real (MTR)”, onde já existem alguns processos semiautônomos, com operações remotas e salas de controle operacional (Figura 1).

Figura 1 - Transição entre o passado (mineração tradicional), o presente (mineração em tempo real) e o futuro (mineração autônoma)



Fonte: Autoria própria

Hoje, nas minas em operação no Brasil, ocorre uma maior aplicação das Leis ambientais, ação civil pública para recuperação do passivo e implantação da ISO 14.000. Além de uma segurança do trabalho mais rígida, criação da CRSM e erradicação da pneumoconiose.

A adoção do método com desmonte mecanizado, a partir da década de 90, permitiu uma grande mudança de paradigma em termos de produtividade das minas, porém ainda existem imensos potenciais de melhorias. Hoje o que se pensa sobre o futuro da mineração subterrânea

envolve o uso de equipamentos totalmente autônomos, lavra ininterrupta e um número mínimo de trabalhadores no interior da mina.

Em se tratando da lavra de carvão no Brasil, ainda se está vivendo o processo de transição entre a “mineração tradicional” e a “mineração em tempo real”.

4 TECNOLOGIA DE LAVRA

4.1 AUMENTO DE RECUPERAÇÃO DAS RESERVAS

Ao longo dos anos, estudos aprofundados com respeito a utilização de métodos de lavra com recuperação de pilares têm sido realizados. No estado do Paraná esta prática tem sido cada vez mais aplicada, com intuito de se obter recuperações globais da jazida na ordem de 70 a 75% (ZINGANO, 2016)

Cardozo et al. (2016) abordou o tema da utilização do método *longwall* como alternativa na extração de carvão na região sul, sobretudo no estado do RS. A implantação do método *longwall* permitiria recuperações ainda maiores das reservas dos depósitos. Além disso o aumento da tecnologia nos equipamentos de lavra, permite hoje uma maior automação das frentes de *longwall*, controle de produtividade dos equipamentos e melhor planejamento de manutenções preventivas.

4.2 AUMENTO DE PRODUTIVIDADE DE EQUIPAMENTOS

A automação aumenta o nível de controle para tomada de decisões em tarefas que normalmente são realizadas de maneira aleatória. Aplicando um processo controlado em um ambiente de geologia variável e topografia em constante atualização, resulta em uma alta produtividade e custos baixos. A automação envolve coletar e utilizar dados, por exemplo, obtenção de informações de furos de desmonte, os quais ajudam no processo de criação de plano de fogo e otimização e previsão de resultados.

Outro benefício da automação ocorre pelo aumento da utilização e performance dos equipamentos, como LHDs, perfuradoras, mineradores contínuos e outros. A partir do controle melhorado dos equipamentos, vêm uma redução nos níveis esperados de desgastes e quebras, permitindo que manutenções preventivas sejam melhor realizadas e melhor planejadas.

4.3 FUTURO DA MECÂNICA DE ROCHAS

No decorrer dos próximos anos, haverá uma integração ainda maior de dados de estruturas geológicas nos modelos, apoiando os desenhos de engenharia e fornecendo modelos mais realistas. Quanto a compreensão sobre as distribuições de tensões existentes em cada local, haverá um entendimento muito maior no futuro com o aumento do número de medidas de tensões em campo (*in situ*). Além disso, novas tecnologias ou aprimoramentos das existentes, vão permitir monitoramento de medidas de tensões em tempo real, conforme o avanço das escavações.

As tecnologias em escoramento e suporte tem se desenvolvido amplamente nos últimos 50 anos, passando desde escoramentos passivos com madeira (*square-set timbering*), Figura 2, até escoramentos ativos com parafusos de coluna completa pré tensionados.

Figura 2 - Escoramento em minas de carvão, utilizando madeiramento (*square-set timbering*)



Fonte: (HARRIS, 2013).

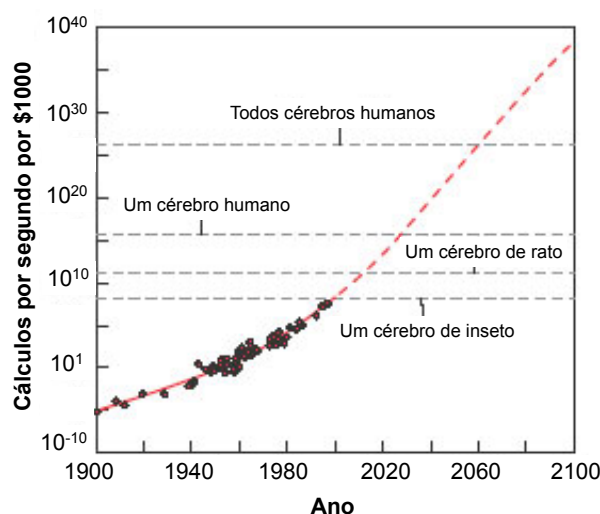
Nos próximos 50 anos o escoramento tende a evoluir ainda mais, possivelmente com a adoção completa de elementos inteligentes capazes de medir a carga aplicada, deformação e deslocamento em tempo real, permitindo que nas salas de controle alertas de zonas com potencial de rupturas sejam informadas. Tais elementos, com essas tecnologias, já estão disponíveis no mercado, porém seu alto custo de aquisição inviabiliza seu uso extensivo quando comparados com os elementos tradicionais.

Com o aumento exponencial do poder de processamento poderemos igualar, nos próximos 15

anos, a capacidade de cálculos por segundo de um cérebro humano. Modelos numéricos estarão cada vez mais próximos a realidade (Figura 3).

O aumento no uso de redes neurais, vai permitir que programas funcionem de maneira inteligente. Esses programas ajudarão na otimização de maiores escavações subterrâneas, com maiores profundidades e por maior tempo, permitindo até mesmo o aumentando da taxa de produção nas escavações mecanizadas.

Figura 3 - Gráfico do poder de processamento



Fonte: Modificado de Kurzweil (2008).

Hoje já se reconhece que modelos geológicos, termais, hidrogeológicos, mecânicos, químicos e de engenharia são necessários para o entendimento completo do mecanismo que ocorre nos maciços rochosos. Em termos de geologia: geometria do terreno, litologia, fraturas. Em termos de calor: taxas de aquecimento, fluxo de calor. Em termos de hidrogeologia: pressão de água, fluxo de água. Em termos mecânicos: tensões *in situ*, rigidez, resistência. Em termos químicos: composição da água, rochas expansivas. Em termos de engenharia: os efeitos das escavações. Esperamos que no futuro seja possível a criação de modelos completamente integrados.

5 CARVÃO E SUSTENTABILIDADE

Outro tema inerente ao futuro da exploração de carvão é o meio ambiente. Se no passado e ainda hoje no pensamento coletivo, no Brasil, a lavra de

carvão era associada a grandes passivos ambientais, hoje temos a necessidade em âmbito global de exploração alheia a sustentabilidade (COLLINS et al., 2012, CHIKKATUR et al. 2009 e SAHU et al. 2015).

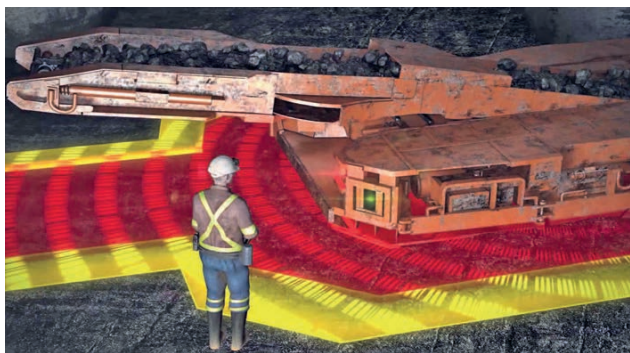
Dessa forma, se têm hoje uma busca constante por novas tecnologias que maximizem o aproveitamento das jazidas, assim diminuindo a abrangência de impactos e danos ambientais.

6 SEGURANÇA NAS OPERAÇÕES

Com o aumento da implementação de novas tecnologias na instrumentação de minas será possível o monitoramento contínuo de diversos itens importantes para a segurança da operação, tais como: temperatura, detector de gases, velocidade do ar, bombeamento, convergência do teto, etc. Esse nível de controle possibilitará a prevenção de diversos acidentes, assegurando a qualidade do ambiente de trabalho e diminuindo os acidentes com afastamento.

Equipamentos como mineradores contínuos, LHDs, *shuttle-cars*, podem receber elementos extras de segurança, como sensores de proximidade para evitar atropelamentos (Figura 4).

Figura 4 - Tecnologia de sensor de presença para equipamentos em subsolo.



Fonte: (INTERNATIONAL MINING, 2016)

Além disso, em casos de acidentes o uso de sistemas de etiquetas RFID (Identificação por radiofrequência), permitem a localização de cada um dos operários no interior da mina para resgate.

7 QUALIFICAÇÃO DA MÃO DE OBRA

No curto prazo, a implantação em larga escala de tecnologias de realidade virtual vai permitir que

treinamentos de novos operadores sejam muito mais rápidos e imersivos. Por exemplo, tal como ocorre na indústria da aviação, utilizando-se de treinamentos com horas mínimas em simuladores antes de operar em ambiente de mina.

Devido as complexidades existentes em um ambiente de mina subterrânea, como baixa luminosidade, ruído de equipamentos, etc. novas tecnologias precisam ser incorporadas para criação de um ambiente de realidade virtual de fácil navegação. Neste contexto, Oliveira et al. (2014) melhoraram a usabilidade de realidade virtual em minas subterrâneas, utilizando comandos táteis de navegação.

No longo prazo, já com a implantação de equipamentos remotamente controlados, o mesmo ambiente de realidade virtual passará a ser utilizado para que o operador, desde uma sala de controle em subsolo ou em superfície, tenha total controle dos equipamentos operando na frente de lavra.

8 CONCLUSÕES

Claramente hoje é o momento ideal para aumento da automação nas minas, porém isso não acontecerá do dia para a noite, além de que essa tarefa não deve ficar a cargo de uma só empresa. A indústria deve adotar padrões de automação, que permitam que isso aconteça. Mesmo assim, o caminho para uma automação elevada será longo e desafiador.

A utilização de sistemas prontos de automação representa custos mais altos quando comparados ao desenvolvimento de tecnologias próprias, aplicadas aos problemas locais que enfrentam as empresas no dia a dia. A criação de departamentos de automação dentro das próprias empresas, além do desenvolvimento de parcerias com universidades, poderia fornecer a tecnologia necessária a um custo muito menor e permitindo constante desenvolvimento e otimização das tecnologias empregadas.

Sistemas de câmeras e de orientação permitem saber precisamente a localização de um veículo remotamente controlado na mina. A combinação de equipamentos semiautônomos aliados a uma infraestrutura de comunicações eficientes, permitem equipamentos controlados remotamente por operadores em ambientes seguros, em superfície ou subsolo, controlando equipamentos

até mesmo em áreas onde o risco elevado impede a presença do homem.

Entretanto, assim como destacam Xu e Nakajima (2016) no cenário do carvão na China, esta realidade almejada só será possível com o investimento das carboníferas, aliado com políticas públicas de valorização do carvão.

9 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia de Minas da UFRGS e a ABCM pela oportunidade de realização deste trabalho.

10 REFERÊNCIAS

ABCM. **Os Ciclos do Carvão na Região Carbonífera de Santa Catarina**, disponível em <http://www.carvaomineral.com.br/interna_conteudo.php?i_subarea=8&i_area=4>, acesso em: 5 abr. 2017.

ARAMIS J. P. G., “Carvão do Brasil Turfa Agrícola: Geologia, Meio Ambiente e Participação Estratégica na Produção de Eletricidade no Sul do Brasil”, **Est Edições**, 2002.

ARRAIS, F.D.; SOUZA, A. O. G.; TORRES, F. R. G.; et al. Implantação de um sistema de irrigação de baixo custo – Bubbler para produtores do polígono das secas no Nordeste. In: JORNADA NACIONAL DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA EM EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA, 1., 2006, Brasília. **Anais...** Brasília: SETEC/MEC. 1 CD-ROM.

CARDOZO, F. A. C.; ZAMPIRON, M.; ZINGANO, A. C. Future of Underground Coal Mining in Brazil: Implementation of Longwall Mining. In: WMC - World Mining Congress, **Proceedings** Rio de Janeiro, IBRAM, 2016.

CHIKKATUR, A. P.; SAGAR, A. D.; SANKAR, T. L. Sustainable development of the Indian coal sector. **Energy**, v. 34, n. 8, p. 942-953, 2009.

COLLINS, A. R.; HANSEN, E.; HENDRYX, M., Wind versus coal: Comparing the local economic impacts of

energy resource development in Appalachia. **Energy policy**, v. 50, p. 551-561, 2012.

EBLE, Julie. The future below: Mining in the 21st century. 2015. Disponível em: <<http://news.psu.edu/story/348426/2015/03/17/academics/future-below-mining-21st-century>>. Acesso em: 5 abr. 2017.

HARRIS, Chris. (EUA). Diretor. **Underground Miners**. 2013. Disponível em: <<http://www.undergroundminers.com/oldpics25.jpg>>. Acesso em: 5 abr. 2017.

INTERNATIONAL MINING. Berkhamsted, Hertfordshire: Miller Technology Inc, abr. 2016. Mensal.

KLOVAN, F. F., **Sob o fardo do ouro negro: as experiências de exploração e resistência dos mineiros de carvão do Rio Grande do Sul na primeira metade da década de 1930**. Monografia (Graduação) - Curso de Historia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2009.

KURZWEIL, Ray. The Coming Merging of Mind and Machine. **Scientific American Sp**, v. 18, n. 1, p.20-25, fev. 2008. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1038/scientificamerican0208-20sp>

OLIVEIRA, V. A.; MARQUES, E.; PERONI, R.; MACIEL, A. Tactile Interface for Navigation in Underground Mines. In: SYMPOSIUM ON VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY, XVI, Salvador/BA. **Proceedings...** IEEE, 2014.

SAHU, H. B.; PRAKASH, N.; JAYANTHU, S. Underground Mining for Meeting Environmental Concerns—A Strategic Approach for Sustainable Mining in Future. **Procedia Earth and Planetary Science**, v. 11, p. 232-241, 2015.

XU, H; NAKAJIMA, K., Did China's coal mine regulation positively affect economic growth? **Resources Policy**, v. 50, p. 160-168, 2016.

ZINGANO, A., Projeto de Recuperação de Pilares. Fundação Luiz Englert, **Não Publicado**, 2016.