

## **SIMULAÇÃO E MAQUETES EM PRÁTICAS PEDAGÓGICAS COMO MÉTODO DE APRENDIZAGEM: LAVRA SUBTERRÂNEA**

Rita de Cássia Pedrosa Santos,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas (PPGEM),  
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

[rita.pedrosa@ufg.br](mailto:rita.pedrosa@ufg.br)

José Margarida da Silva,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral (PPGEM),  
Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Michel Melo Oliveira,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas (PPGEM),  
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Douglas Batista Mazzinghy,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas (PPGEM),  
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

### **RESUMO**

A incorporação da simulação, do lúdico nas práticas pedagógicas pode desenvolver diferentes atividades que contribuem para inúmeras aprendizagens e para a ampliação da rede de significados construtivos, como estratégia de aprendizagem. O uso das representações tridimensionais, como a construção de maquetes, é um método que permite a modelagem e simulação de cenários fazendo com que o aluno compreenda o espaço tridimensional. O conceito “mão na massa” proporciona a própria construção do conhecimento. A proposta de utilização do laboratório modular de ventilação permite facilitar o entendimento dos conceitos relacionados aos parâmetros de temperatura, umidade, pressão e velocidade do fluxo. A construção de simuladores e maquetes contribuem para uma melhor compreensão dos conceitos técnicos em métodos de lavra subterrâneos.

**Palavras chaves: ensino-aprendizagem; lúdico; maquete; lavra subterrânea.**

### **ABSTRACT**

The incorporation of simulation, playful in pedagogical practices can develop different activities that contribute to innumerable learning and to the expansion of the network of constructive meanings, as a learning strategy. The use of three-dimensional representations, such as the construction of models, is a method that allows the modeling and simulation of scenarios making the student understand the three-dimensional space. The “hands-on” concept provides the very construction of knowledge. The proposed use of the modular ventilation laboratory allows to facilitate the understanding of the concepts related to the parameters of temperature, humidity, pressure and flow speed. The construction of simulators and models contributes to a better understanding of the technical concepts in underground mining methods.

**Key words: teaching-learning; ludic; model; underground mining.**

## INTRODUÇÃO

Novos instrumentos de ensino possibilitam uma interação maior entre professor e aluno proporcionando uma aprendizagem diferenciada. O não tradicional pode proporcionar uma maior participação e interesse na disciplina desenvolvida. O lúdico estimula a inteligência porque solta a imaginação, desenvolve a criatividade e, ao mesmo tempo, possibilita o exercício da concentração, da atenção e do engajamento.

São diversos os recursos didáticos disponíveis para a mediação do processo de ensino-aprendizagem em todo o universo acadêmico. Cada curso tem suas especificidades e pode ser classificado como mais ou menos adequado, dependendo do conteúdo a ser ministrado, afinidade professor/aluno, tempo disponível e objetivo da aula a ser ministrada. Na Engenharia de Minas especificamente nas disciplinas de lavra têm-se observado alguns avanços no método de aprendizado com maquetes ou mesmo com laboratórios modulares com o propósito de despertar o interesse do aluno e tornar a aula técnica mais dinâmica. O sucesso neste método de aprendizagem requer que o professor defina o recurso a ser utilizado, ter o domínio sobre o método de aprendizagem, planejar a aula para saber explorar toda a potencialidade e limitações.

Um dos recursos utilizados nas aulas de lavra subterrânea é a maquete como a representação de um objeto de forma tridimensional em escala reduzida, real ou ampliada, com a finalidade de estudar os métodos de lavra e seus condicionantes. Nesse caso, primeiramente é necessário introduzir os métodos de lavra, explicar as variações, aplicações, características e, após a teoria, oferecer condições para que o aluno possa montar a maquete e analisar estas informações, associando método de lavra e operações auxiliares da mina.

O processo de aprendizagem “mão na massa” é uma forma de incentivar a participação e entendimento do aluno, carrega também um novo conceito de ensino principalmente na área de engenharia. A utilização de simulação e maquetes pedagogicamente adequadas aos diferentes contextos promove maior facilidade de compreensão de alguns conceitos em relação a outros recursos didáticos atualmente utilizados.

Todo recurso didático pode enriquecer a explicação de uma aula, despertar o interesse do aluno, facilitar a concentração, o entendimento e compreensão ao materializar e significar o conteúdo estudado. Abre uma nova possibilidade de interagir com o que está sendo discutido, pois o “mão na massa”, o “aprender fazendo” são maneiras de intensificar o processo de ensino-aprendizagem podendo gerar bons resultados nesta parceria teoria e prática dentro das disciplinas. Incentivar o aluno a produzir maquetes permite uma participação maior deste no processo de aprendizagem, além de dar oportunidade ao educador para perceber o contexto sociocultural em que os estudantes estão inseridos [1].

A maquete favorece o processo de ensino-aprendizagem por levar à práxis, ou seja, por aliar teoria e prática. A maquete é práxis, é aplicação de uma teoria em uma ferramenta material, podendo dinamizar a discussão da turma em sala de aula, tornando os conteúdos mais dinâmicos e interativos [2].

A utilização de simuladores e maquetes para os métodos de lavra subterrânea desperta nos alunos a investigação prática e a contextualização do método, promovendo o interesse e participação na replicação de cenários, buscando novas soluções. O trabalho em campo para esta disciplina muitas vezes não é facilmente conseguido nas universidades devido a grandes barreiras no que tange as dificuldades de acesso as empresas e toda logística, segurança envolvida neste setor. Mais um motivo que incentiva ao aprendizado através deste método.

## **METODOLOGIA**

A proposta central baseia-se na busca de uma alternativa renovadora e muito proveitosa para a aplicação dos conteúdos agregados nas disciplinas de Lavra Subterrânea e Condicionamento de Mina. E com isto inserir a contextualização do aluno no real ambiente encontrado pelo engenheiro e ainda funciona como um método extra de avaliação para o professor, pois possibilita uma análise mais ampla do desempenho do acadêmico, para além dos domínios das tradicionais avaliações.

## **MAQUETE**

A seleção do método de lavra é um dos principais elementos, em qualquer análise econômica de uma mina, e sua escolha permite o desenvolvimento da operação. Comumente o método de lavra é designado como sendo a técnica de extração do material. Isso define a importância de sua seleção, já que todo o projeto é elaborado em torno da técnica utilizada para lavar o depósito. Na fase de planejamento a escolha é baseada em critérios geológicos, sociais, ambientais levando-se sempre em consideração, segurança meio ambiente e saúde. Aspectos relativos à estabilidade, recuperação de minério, produtividade e diluição nos métodos também devem ser considerados ao se fazer a escolha.

A maioria das minas utiliza mais de um método de lavra na sua operação. Um método pode ser mais apropriado para uma zona do depósito, todavia em outras partes seu emprego pode não ser a melhor opção. Portanto muitas minas utilizam mais de um método de lavra em sua operação [3]. Além disto, o método escolhido deve ser seguro e produzir condições ambientais adequadas para os operários, os impactos causados ao meio ambiente devem ser reduzidos, deve permitir condições de estabilidade durante a vida útil, deve assegurar a máxima recuperação de minério com mínima diluição, deve ser flexível para se adaptar às diversas condições geológicas e à infraestrutura disponível e deve permitir atingir a máxima produtividade reduzindo, conseqüentemente, o custo unitário.

Para este trabalho vamos apresentar o método de lavra subterrânea por câmaras e pilares. Entre as minas que aplicam o método no Brasil estão: Urucum Mineração, manganês, em Corumbá, no Mato Grosso do Sul; Morro Agudo, zinco-chumbo, da Nexa, em Paracatu, Minas Gerais; Mina de Taquari-Vassouras, potássio, da Mosaic Fertilizantes, em Rosário do Catete, Sergipe; Mina Velha, agalmatolito, da Lamil, em Pará de Minas, Minas Gerais e as minas de carvão no sul do Brasil.

Na lavra por câmaras e pilares (*room and pillar*) o desmonte é feito com o avanço de várias aberturas paralelas, convenientemente espaçadas, deixando-se porções do minério para formar pilares, de dimensões e formas adequadas, que limitam os vãos das aberturas e promovem a sustentação do teto. As dimensões dos pilares e das câmaras (vãos livres) dependem, principalmente, das características de resistência da encaixante superior (capa) e do minério, da potência do depósito e de sua profundidade [4]. A figura 1 mostra um arranjo típico da lavra por câmaras e pilares, para maiores espessuras.

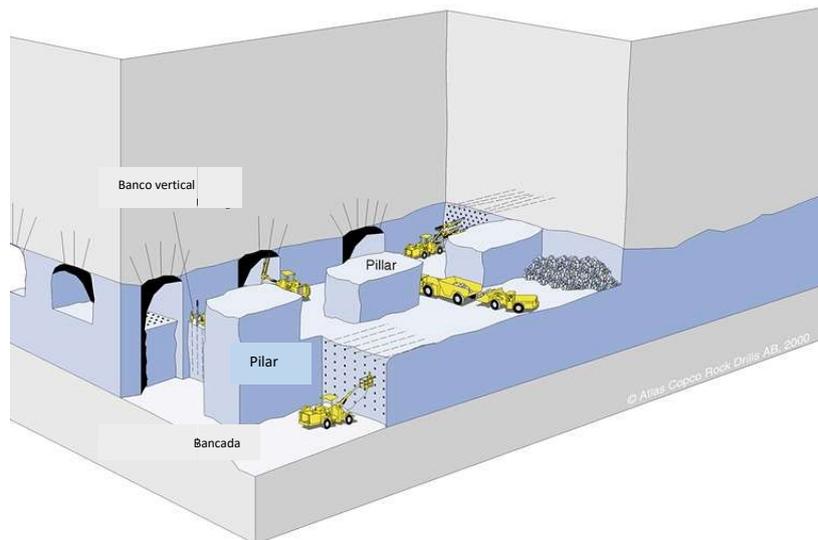


Figura 1 – Arranjo típico da lavra por câmaras e pilares [4]

O método é aplicado a minérios e rochas encaixantes relativamente competentes uma vez que o próprio minério funciona como pilar, depósito tabular de pequeno mergulho (inferior a  $30^\circ$ ), preferencialmente plano, minério uniforme, profundidade média (cerca de 450 m), jazidas de grandes extensões, mas com espessura limitada, para minérios como carvão, manganês, chumbo, zinco, esmeralda, potássio, cuja profundidade é de 900 m, rochas ornamentais, com ou sem desmonte por explosivos [5].

O exemplo apresentado foi desenvolvido durante a aula de Lavra Subterrânea na Universidade Federal de Catalão em 2018. O início do aprendizado contempla a teoria, explicação do método, suas características e posteriormente a proposta de criação da maquete. A prática através da maquete proporciona um ensino-aprendizagem diferenciado que envolve o planejamento das etapas, *layout* da mina, estudos referentes a iluminação, ventilação, empresas que aplicam o método e os materiais que serão utilizados para a construção. A figura 2 apresenta o processo de fabricação da maquete do método câmaras e pilares.





Figura 2 – Início da construção da maquete do método Câmara e Pilares

A figura 3 mostra a construção do poço (*shaft*). A escolha da via de acesso é feita na parte do planejamento da mina, ou seja, no início do empreendimento. Caso seja necessária mudança após este planejamento, poderá ser feita desde que sejam avaliadas as considerações de custos, localização da mina, geologia do corpo a ser lavrado, tempo de execução, vida útil da mina e a alteração de produtividade da mina para tal mudança na sua via de acesso principal [6].



Figura 3 – Construção do *shaft*

Outros trabalhos abordam opções sobre o tema, [7] mostram projeto de lavra de mina subterrânea com utilização de aplicativos específicos, abordando a escolha e o desenho de acessos, para mina subterrânea de ouro. [6] discute a opção entre rampas e poços verticais.

A figura 4 corresponde ao resultado da construção da maquete referente ao método de lavra Câmaras e Pilares. Algumas variações podem ser feitas como por exemplo, na iluminação, área livre e dimensões dos pilares. Para acionamento do *shaft* foi utilizado um motor, as fitas de led para a iluminação e conduítes para simular os dutos de ventilação. Outros materiais foram utilizados visando a adequar as condicionantes da mina escolhida.



Figura 4 – Maquete desenvolvida

A figura 5 representa uma maquete construída no Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) Campus Nova Venécia com base na proposta de nova metodologia de ensino técnico em mineração no IFES. O autor aponta que a utilização de maquete resulta como excelentes instrumentos de ensino no aprendizado dos alunos da instituição [8].



Figura 5. Maquete do método de lavra Câmaras e Pilares [8].

Os pilares encontram-se normalmente distribuídos regularmente, podendo ter seção circular ou retangular. Por vezes opta-se por paredes espessas situadas entre frentes de trabalho. Este método é adaptado principalmente quando o corpo de minério se encontra numa posição bastante próxima da horizontal [8].

A visualização tridimensional torna mais clara a abstração do aluno em alguns conteúdos, sendo este o diferencial da maquete em relação aos outros recursos didáticos.

### **SIMULAÇÃO DA VENTILAÇÃO EM MINA SUBTERRÂNEA**

A vazão do fluxo de ar na mineração subterrânea está entre as variáveis mais importantes a serem consideradas no projeto de ventilação. O sistema de ventilação de uma mina subterrânea, quando bem ajustado, deve reproduzir a composição do ar atmosférico presente na superfície. A ventilação subterrânea é, em sua essência, a aplicação dos princípios da fluidodinâmica para criar um fluxo de ar nas escavações subterrâneas [9]. O objetivo básico de um sistema de ventilação subterrânea é promover correntes de ar em quantidade e qualidade suficientes para diluir contaminantes a concentrações seguras em todas as regiões das instalações onde há pessoas trabalhando ou transitando, remover o material particulado em suspensão e controlar temperatura e umidade do ar [10].

O bom desempenho dos ventiladores é necessário para introduzir ar fresco suficiente no subsolo da mina e, portanto, regular a temperatura e a umidade do ar [11]. Este princípio norteia a maioria das legislações a respeito da ventilação, sendo que a quantidade e qualidade variam conforme a percepção de risco e de saúde em cada país [12]. Sendo assim, a ventilação subterrânea surge e se justifica para controlar os fatores de risco para permitir, com segurança, o desenvolvimento e lavra de escavações em ambientes de subsuperfície [13].

A proposta dentro do método de aprendizagem ligado ao “aprender fazendo” contempla a

simulação obtida com a construção de um laboratório modular de ventilação para auxiliar nas disciplinas de Lavra Subterrânea e Condicionamento de Mina [14]. Construir um ambiente técnico de trabalho é importante para estimular a criatividade, otimizar os esforços de pesquisa e proporcionar bons resultados. Os segmentos modulares permitem o desenvolvimento de experiências acadêmicas e o projeto apresenta os principais parâmetros monitorados em uma mina real, propiciando simular cenários próximos da realidade.

O circuito modular foi desenvolvido com tubo PVC e o nome faz alusão ao método de montagem LEGO®. Criado pelo dinamarquês e marceneiro de profissão, Ole Kirk Christiansen, em 1934, o Leg Godt, mundialmente conhecido como LEGO®, significa "brincar bem". O LEGO® se tornou um tipo de brinquedo universal. É um brinquedo produzido pelo LEGO Group, cujo conceito original se baseia em um sistema patenteado de peças de plástico que se encaixam, permitindo inúmeras combinações [15].

Foi baseando-se neste brinquedo, que fez parte da infância de tantas pessoas, que os tubos PVC foram cortados. A possibilidade de criação de vários cenários, montando e desmontando os circuitos como se fosse peças de "LEGO", objetiva facilitar o entendimento dos conceitos de mecânica de fluidos e ventilação de minas.

O estudo destes cenários permite modificar o fluxo de ar e estudar o comportamento de parâmetros de ventilação, analisando as diferenças relacionadas a eles dependendo da forma de montagem.

A leitura dos dados se dá através de microcontroladores que permitem a obtenção de valores fornecidos pelos sensores instalados (temperatura, pressão e umidade do ar) ao longo do circuito. O parâmetro relacionado a velocidade é medido pontualmente através de anemômetros.

O estudo dos cenários antes de iniciar a montagem é importante para entender o sistema e evitar gastos desnecessários. Neste projeto o estudo foi desenhado e testado no Ventsim com ventilador hipotético para posterior início da execução do circuito. O objetivo foi desenhar um circuito que proporcione uma representação possível de cenários diferentes e que atenda as referências das teorias estudadas (Figura 6).

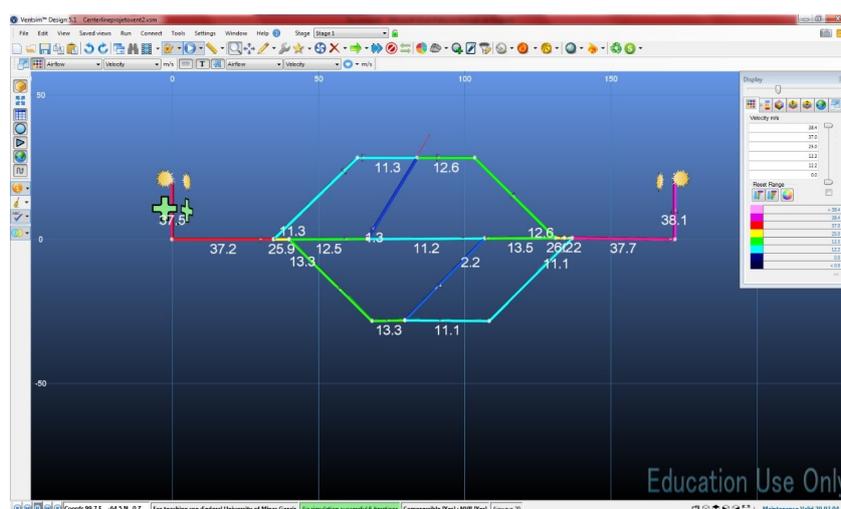


Figura 6 – Circuito no Ventsim

Para ligação e funcionamento do microcontrolador e sensores foram utilizados: matriz de contatos (*protoboard*), fios (*jumper*s), placa de circuito que liga os fios no sensor, cabos de ligação dos sensores até *protoboard*, botão liga/desliga, cabo USB para a comunicação do

microcontrolador com o computador e fonte externa de energia para alimentação do circuito (figura 7).

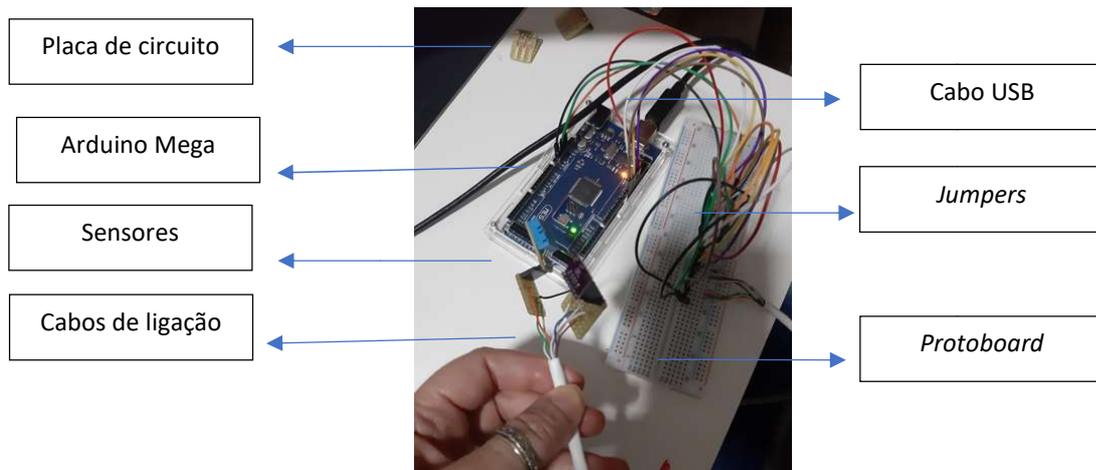


Figura 7 - Comunicação Arduino e Sensores

A figura 8 mostra a montagem deste laboratório modular com os tubos e conexões onde são instalados os sensores e fiação individual correspondente que os ligam ao microcontrolador.



Figura 8 – Ligação dos sensores ao Arduino

Em cada segmento de PVC foram instalados os sensores para leituras de pressão, umidade e temperatura. Neste mesmo segmento fez-se um pequeno furo para posicionar a haste do anemômetro de fio quente. A figura 9a representa o posicionamento dos sensores e anemômetro externamente e a 9b, internamente.

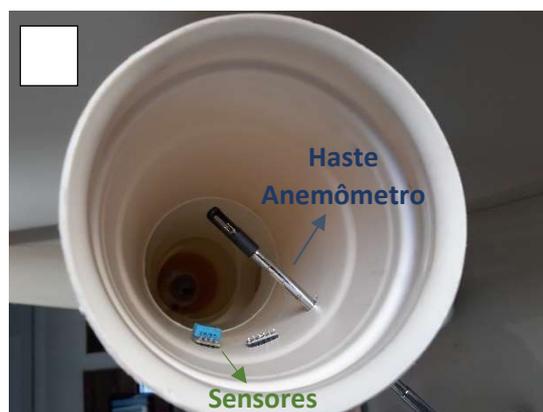


Figura 9 – Equipamentos (a) externo e (b) interno

A haste do anemômetro é posicionada no furo e inicia as leituras contínuas por um minuto em cada furo. O equipamento possui uma função que calcula a média naquele período de leitura. A programação no microcontrolador permite determinar a periodicidade das leituras dos sensores e posteriormente faz o cálculo da média em cada ponto.

O lúdico contribui de forma significativa para o desenvolvimento do ser humano, de qualquer idade, auxiliando na aprendizagem, no desenvolvimento social, pessoal e cultural, facilitando no processo de socialização, comunicação, expressão e construção do pensamento [16].

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na construção do laboratório utilizou-se o ventilador modelo Nova 90 L com as seguintes características: Tensão 220 V, potência de 3400 W e 60 Hz de frequência. Este ventilador tem a sua saída reduzida para 100 mm (figura 10). Foi instalado um inversor de frequência modelo WEG CFW08 que ligado ao ventilador permite o controle da velocidade no circuito. Ambos os equipamentos foram cedidos durante os testes pela Universidade Federal de Catalão (UFCAT) através do curso de Engenharia Civil.

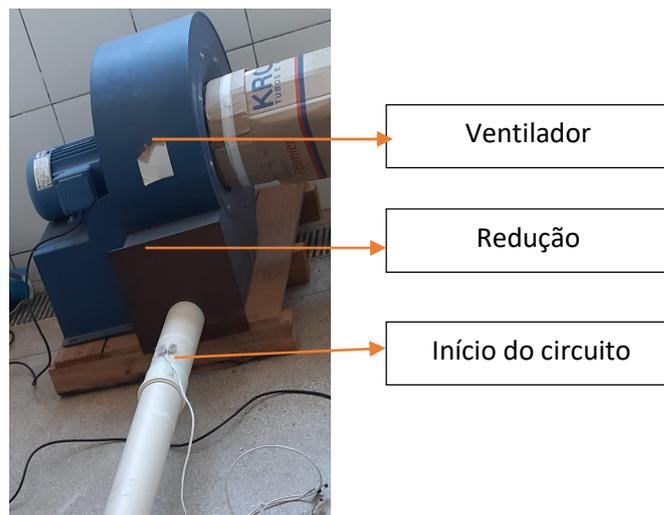


Figura 10 – Redução da entrada do ventilador

Devido a alteração na saída do ventilador construiu-se uma tabela correlacionando a velocidade do fluxo de ar ao alterar a frequência do equipamento. Este índice de correlação permite o estudo da influência da velocidade nos parâmetros a serem medidos no circuito. Para leitura da velocidade foi utilizado um anemômetro rotativo na saída do ventilador. A figura 11 representa a relação encontrada.

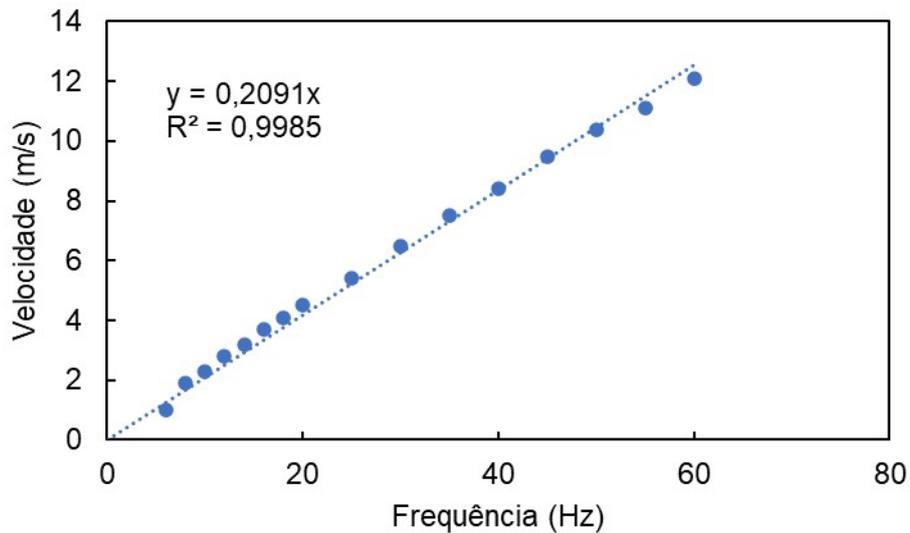


Figura 11 – Relação Frequência (Hz) x Velocidade (m/s)

Da análise do Diagrama de Dispersão mostrado na figura 11 pode-se identificar uma possível relação entre a frequência do ventilador e a velocidade no circuito. Os pontos estão se unindo em uma linha crescente, portanto uma correlação positiva.

O monitoramento de um processo é essencial para o bom desempenho. Apresentando como vantagens avaliar a conformidade do seu processo durante toda a operação, identificar áreas que exigem atenção especial, recomendar ações para corrigir ou evitar os desvios, além de garantir a qualidade do processo através do monitoramento.

Pensando nas vantagens do monitoramento, houve o desenvolvimento de uma interface web com um banco de dados visando exibir as leituras on-line e, se desejar, disponibilizar via internet. Primeiramente desenhou-se o circuito na página web representando as galerias do circuito, posições dos conjuntos de sensores e o ventilador (figura 12).



Figura 12 – Interface Web (circuito)

No dia a dia do professor em sala de aula, é preciso buscar novas formas de tornar o ensino estimulante e eficaz. Diante disso, é necessário criar situações de ensino-aprendizagem possibilitando um trabalho com dimensões lúdicas dentro da sala de aula.

O uso das representações tridimensionais, especificamente de modelos físicos ou digitais, faz sentido no ensino. Para [17] fica evidente que os modelos físicos são poderosas ferramentas que ajudam a ver e entender os projetos, já que oferecem a possibilidade de separá-lo e reuni-lo de diferentes maneiras; colaboram para tornar explícito aquilo que está implícito na mente de quem está projetando, diminuindo a carga cognitiva e ao mesmo tempo facilitando a geração de novas ideias.

Silva discute o uso de modelos físicos nos métodos de ensino-aprendizagem por serem representativos possibilitando análises paramétricas [18]. O modelo físico é elaborado, muitas vezes, de maneira muito simples e rápida, além da possibilidade do contato físico com o artefato, que instiga os sentidos e produz novas percepções. Podendo ainda ser uma ferramenta a partir da qual são elaborados modelos computacionais, lembra o autor. Portanto, pode ocorrer o uso em paralelo com o virtual. O uso como recurso didático para compreensão de conteúdos abordados já foi demonstrado no ensino da geografia, da arquitetura e de outros ramos da engenharia. Os modelos tridimensionais físicos colaboram para se ter uma visão geral do projeto, auxiliam na tomada de decisões e na compreensão de como o projeto interage com o seu entorno. As ferramentas se complementam e alguns desenhos com aplicativos podem ter como base fotografias tiradas do modelo físico.

A incorporação da simulação, do lúdico, a “mão na massa” nas práticas pedagógicas pode desenvolver diferentes atividades que contribuem para inúmeras aprendizagens e para a ampliação da rede de significados construtivos, como estratégia de aprendizagem. O lúdico estimula a inteligência porque solta a imaginação, desenvolve a criatividade e, ao mesmo tempo, possibilita o exercício da concentração, da atenção e engajamento. O lúdico é importante para uma melhoria na educação e no andamento das aulas, provocando uma aprendizagem significativa que ocorre gradativamente e inconscientemente de forma natural, tornando-se um grande aliado aos professores na caminhada para bons resultados. Apresentando, portanto, uma questão de discussão quanto as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) que são normas obrigatórias para a Educação Básica que orientam o planejamento curricular das escolas e dos sistemas de ensino.

## **CONCLUSÃO**

A construção de maquetes e a simulação são recursos didáticos que podem trazer a diferença dentro do ensino-aprendizagem e permite visualizar o que, em outras ferramentas, não é possível: a terceira dimensão. Ao facilitar a visão de uma determinada área, trabalha o conceito de escalas de análise. O lúdico é importante para uma melhoria na educação e no andamento das aulas, provocando uma aprendizagem significativa que ocorre gradativamente e inconscientemente de forma natural, tornando-se um grande aliado aos professores na caminhada para bons resultados.

No mundo atual, tão conectado, despertar o interesse por trabalho em equipe em tarefas manuais ainda é um desafio. As potencialidades da maquete se destacam pela capacidade de gerar curiosidade, trabalhar em equipe, analisar cada etapa desenvolvida. O fato de ser construída manualmente torna cada maquete um elemento único a cada vez que se propõe a lançar o desenvolvimento, um trabalho artístico que atrai a atenção do aluno, podendo obter o sucesso no processo ensino-aprendizado. Construir um ambiente técnico de trabalho e permitir a simulação é importante para estimular a criatividade, otimizar os esforços de pesquisa e proporcionar bons resultados.

Todo método de aprendizagem apresenta limitações, sendo essencial o planejamento de cada etapa e organização do tempo de execução. A falta de habilidades manuais pode ser citada como uma desvantagem, mas a atividade em grupo pode minimizar este fator. Para as simulações também é exigido um conhecimento prévio de programação pelo professor. A falta de adequação ao conteúdo pode ocorrer, assim como em todos os recursos didáticos, portanto cabe ao professor avaliar e analisar o recurso didático mais adequado para cada conteúdo.

Os modelos físicos persistem como ferramenta de projeto, pois, com eles, é possível experimentar possibilidades. Espera-se contribuir para o aprimoramento teórico e prático da utilização de simulações e maquetes no ensino da Engenharia de Minas, pois a proposta pode ser transformada e aplicada em outras disciplinas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] SILVA, V.; MUNIZ, A. M. V. (2012), A geografia escolar e os recursos didáticos: o uso das maquetes no ensino-aprendizagem da geografia. *Geosaberes*, Fortaleza, v. 3, n. 5, p. 62-68.
- [2] NACKE, S.M.M.; MARTINS, G. (2007). A maquete cartográfica como recurso pedagógico no ensino Médio. Cascavel, Unioeste, 28 p. Disponível em: [http://www.gestaoescolar.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/producoes\\_pde/artigo\\_sonia\\_mary\\_man](http://www.gestaoescolar.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/producoes_pde/artigo_sonia_mary_man)
- [3] MACEDO, A.J.B; BAZANTE, A.J.; BONATES, E.J.L. (2001). Seleção do método de lavra: arte e ciência. *Rem, Revista Escola de Minas*, Ouro Preto, v. 54, n. 3, p. 221-225. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672001000300010&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672001000300010&lng=en&nrm=iso)>
- [4] SILVEIRA, T.; GIRODO, A. C. (1991). Métodos e equipamentos de mineração com vistas à melhoria da produtividade. IV Congresso Brasileiro de Mineração.
- [5] GERMANI, D. J. (2002). A mineração no Brasil. Relatório final ao PNUD. Rio de Janeiro.
- [6] COSTA, L. V. (2015). Análise das opções de vias de produção e acesso em minas subterrâneas. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral. Departamento de Engenharia de Minas. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. 116 p.
- [7] NEME, M. B.; CURI, A.; SILVA, J. M.; CARNEIRO, A. C. B. (2011). Realização de projeto de lavra de mina subterrânea com utilização de aplicativos específicos. *REM. Revista Escola de Minas*, v. 64, p. 519-524.
- [8] FARIA, R.F., MARTINS, A.P., ZAGÔTO, J.T. (2015). O uso de maquete como instrumento de ensino em Métodos de lavra. XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa Poços de Caldas-MG.
- [9] HARTMAN, H.L., MUTMANSKY, J.M., RAMANI, R.V., WANG, Y.J., (1997), *Mine Ventilation and Air Conditioning*, Third edition, Wiley, New York, 729 pp.
- [10] MCPHERSON, M. J. (1993). Subsurface Ventilation and Environmental Engineering. In *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-1550-6>
- [11] LI, M., & WANG, X., (2009). Performance evaluation methods and instrumentation for mine ventilation fans. *Mining Science and Technology*, 19(6). [https://doi.org/10.1016/S1674-5264\(09\)60149-6](https://doi.org/10.1016/S1674-5264(09)60149-6)
- [12] COSTA, L. V. (2019), Análise via simulação da ventilação em mina subterrânea - estudo de caso mina Córrego do Sítio I. Tese de Doutorado em Engenharia Mineral - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 138 p.
- [13] MAYRINK, A.G.S.; (2019). Avaliação do impacto na demanda de ventilação em mina subterrânea com a adoção de frota elétrica. Monografia Engenharia de Minas – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 58p.
- [14] SANTOS, R.C.P.; (2020). Desenvolvimento de soluções de baixo custo para monitoramento de minas subterrâneas e de laboratório de ventilação utilizando o conceito

de internet das coisas. Tese de Doutorado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas - Universidade Federal de Minas Gerais. 170p.

[15] GODT, L. (2009). Play for Tomorrow Play for tomorrow (toy manufacturing industry). Volume 4, Issue 3, Engineering & Technology, p.18–21.

[16] COSTA, S. (2004). Multimeios. Material apostilado do Curso de Especialização em Educação Especial do Instituto Várzeagrandense de Educação. Produção de Material Ludopedagógicos. Várzea grande-MT.

[17] FLORIO, W.; TAGLIARI, A. (2008). O uso de cortadora a laser na fabricação digital de maquetes físicas. Disponível em <[http://cumincades.scix.net/data/works/att/sigradi2008\\_086.content.pdf](http://cumincades.scix.net/data/works/att/sigradi2008_086.content.pdf) > Acesso em 27.mar.2020.

[18] SILVA, J. M. (2005). Estudo do fluxo de material fragmentado na mineração subterrânea, com uso de modelos físicos, Tese de Doutorado. Engenharia Metalúrgica e de Minas. Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Brasil.