

*Em relação aos impactos sobre a saúde ocupacional, foram identificados dois classificados como positivos, que são a redução da exposição à poeira proveniente do corte e do lixamento da pedra devido ao processo ser todo a úmido, e a redução do risco de acidentes, visto que todas as máquinas possuem proteção e pelos artesãos usarem equipamento de proteção individual (EPI). Esses impactos foram avaliados como muito significantes por estarem relacionados à saúde e segurança dos trabalhadores.*

**Zuleica Carmen Castilhos  
Edison Dausacker Bidone  
Lillian Maria Borges Domingos  
Patricia Correia de Araújo  
Renatah Correia da Fonseca Correia**

# Avaliação do ciclo de vida da Unidade Protótipo para produção de artesanato em pedra-sabão

## *Life cycle assessme to handcrafted production in soapstone*

LÍLLIAN MARIA BORGES DOMINGOS\*  
ZULEICA CARMEN CASTILHOS\*\*  
EDISON DAUSACKER BIDONE\*\*\*  
PATRICIA CORREIA DE ARAÚJO\*\*\*\*  
RENATAH CORREIA DA FONSECA CORREIA\*\*\*\*\*

### Resumo

Este trabalho avaliou o ciclo de vida de uma unidade protótipo para produção de peças artesanais em pedra-sabão, instalada na comunidade de Mata dos Palmitos, em Minas Gerais, através de uma metodologia de balanço de massa entre as entradas e saídas de matéria-prima, água e energia do sistema, baseando-se nas orientações da ABNT NBR ISO 14040:2009 Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. O empreendimento mostrou-se sustentável quanto ao seu principal objetivo, que é a melhoria da qualidade de vida dos artesãos locais pela supressão da poeira mineral através da implementação de tecnologias limpas, além de melhorar a qualidade ambiental e reduzir a demanda de água bruta através do reuso.

**Palavras-chave:** Ciclo de vida. Pedra-sabão. Tecnologias limpas.

### Summary

This study evaluated the life cycle of a prototype unit for production of

---

\* Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais na área de Corrosão; Consultora no Centro de Tecnologia Mineral no Laboratório de Especiação de Mercúrio Ambiental - LEMA pertencente à Coordenação de Processos Mineraiis – COPM; Email: [ldomingos@cetem.gov.br](mailto:ldomingos@cetem.gov.br)

\*\* Doutora em Geociências pela Universidade Federal Fluminense; Pesquisadora do Centro de Tecnologia Mineral e líder de grupo de pesquisa NARAH – Núcleo de Avaliação de Risco Ambiental e Humano; Email: [zcastilhos@cetrem.gov.br](mailto:zcastilhos@cetrem.gov.br)

\*\*\* Doutor pelo Institut National Polytechnique de Lorraine - Nancy – France; Professor do curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal Fluminense, do Programa da Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas da Universidade Federal do Maranhão e orientador credenciado do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Email: [ebidone@yahoo.com.br](mailto:ebidone@yahoo.com.br)

\*\*\*\* Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Práticas em desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; Servidora pública do Laboratório de Especiação de Mercúrio Ambiental do Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCTI; Email: [paraujo@cetem.gov.br](mailto:paraujo@cetem.gov.br)

\*\*\*\*\* Engenheira Ambiental pela Universidade Federal Fluminense; Email: [renatah.correia@gmail.com](mailto:renatah.correia@gmail.com)

handcrafts in soapstone, located in Mata dos Palmitos community in Minas Gerais, through a mass balance methodology between the inputs and outputs of raw material, water and system energy, based on ABNT NBR ISO 14040:2009 Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. The project proved to be sustainable as its main goal, which is to improve the quality of life of local artisans by suppressing mineral dust through the implementation of clean technologies, and improve environmental quality and reduce raw water demand through reuse.

**Keywords:** Life cycle. Soapstone. Clean technologies.

## Introdução

A comunidade de Mata dos Palmitos, localizada a 40 km do centro de Ouro Preto, possui cerca de 200 habitantes, e a sua maioria se dedica ao artesanato em pedra-sabão, produzido em suas próprias residências de maneira manual e rudimentar. Os artesãos que são na maioria mulheres ficam expostos a uma grande quantidade de poeira mineral que pode ocasionar problemas dermatológicos e doenças pulmonares graves, pois a pedra-sabão ou esteatita possui, em sua composição, vários minerais, dos quais destacam-se o talco, os anfibólios e o quartzo e, em média, é gerado 88% de resíduo. (SANTOS, 2009) Os anfibólios, formados de actinolita e tremolita, formam fibras, potencialmente cancerígenas, quando inaladas. (CASTILHOS et al., 2014)

O Centro de Tecnologia Mineral – CETEM desenvolveu uma série de ações multidisciplinares e interinstitucionais que, interligadas, tiveram por objetivo a supressão dos impactos danosos oriundos da atividade artesanal, sem que, contudo, descaracterizassem a marca cultural que a atividade imprime à comunidade local. A primeira e principal meta realizada foi a aquisição e adaptação de cinco máquinas confeccionadas especialmente para atender a marcha produtiva do artesanato em pedra-sabão, modificando todo o processo antes realizado a seco para via úmida, impedindo assim a dispersão ambiental da poeira mineral e a sua inalação pelos artesãos. A segunda etapa foi a construção de uma Unidade de Referência em Artesanato Mineral com Tecnologias Sociais Limpas (URAM), na localidade, inaugurada em julho de 2010 e financiada com recursos da Prefeitura Municipal de Ouro Preto. O projeto arquitetônico, com acessibilidade às pessoas com necessidades especiais, bem como com tratamento e recirculação da água do processo, possui, além de uma área específica para os equipamentos, duas salas: uma para as mulheres desenvolverem o artesanato manual, com exaustão adequada, e outra para treinamentos, cursos, encontros, reuniões dos artesãos, etc. (CASTILHOS et al., 2014)

Sobre o conceito de Produção Limpa, o Centro Nacional de Programas de Produção mais limpa (CNTL) define que

*[...] uma produção mais limpa significa a aplicação de uma estratégia econômica, ambiental e técnica, integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, da minimização ou da reciclagem dos resíduos gerados, com benefícios ambientais e econômicos para os processos produtivos. (SENAI, 2003, p. 42)*

Segundo a UNEP, a implementação de um programa de produção mais limpa caracteriza-se por cinco fases: sensibilização e capacitação; elaboração de balanços de energia e material; análise dos balanços; estudo da viabilidade implantação e monitoramento; relatório econômico ambiental e tecnológico.

A Unidade Piloto em Tecnologias Sociais Limpas para a Arte em Pedra-Sabão em Mata dos Palmitos foi implantada por metodologia própria (ARAÚJO et al., 2015), seguindo alguns dos requisitos acima listados pela UNEP, e os balanços de energia e hídricos foram realizados pela avaliação do ciclo de vida (ACV).

Avaliação do Ciclo de Vida é definida pela ABNT NBR ISO 14040:2009 como a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida.

## **Objetivo**

Este trabalho teve por objetivo a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) sobre o processo produtivo de peças artesanais em pedra sabão, realizados na Unidade Protótipo de Mata dos Palmitos (MG).

## **Metodologia**

A metodologia foi baseada na ABNT NBR ISO 14040:2009 e construída através dos estudos do balanço de massa de água e energia elétrica no sistema e da sua produtividade.

Para tanto, primeiramente foi calculado o quanto de energia é consumido pelas 05 máquinas da Unidade Protótipo em um dia de trabalho com 8 horas de jornada de trabalho através dos dados contidos nos equipamentos.

Em relação à água, primeiramente verificou-se a tubulação de captação de água bruta, vinda de uma nascente na localidade para a caixa d'água da unidade e também a verificação do volume destas caixas. Em seguida foram medidas as canaletas que conduzem a polpa residual do processo para os tanques de decantação e os próprios tanques para posteriormente calcular seus volumes. A última etapa, antes de por a unidade em funcionamento foi a verificação do volume da caixa d'água, que serve como poço de sucção para a bomba de recalque da água para reuso.

Mediu-se o bloco de pedra-sabão (matéria-prima utilizada no experimento) a fim de se obter o seu volume inicial. Depois de ligado o primeiro equipamento, foi iniciado o trabalho com a pedra, coletando-se, na

saída da cada máquina, com um recipiente graduado, a polpa resultante do corte. O tempo foi controlado por cronômetro. As polpas foram armazenadas em bombonas de cinco litros, o que possibilitou o cálculo da vazão das máquinas, utilizando o volume e o tempo medidos. Esse procedimento foi repetido duas vezes para cada equipamento (serra 600 mm, serra 350 mm, esmeril e lixadeira) e todas as amostras foram levadas para o laboratório para serem filtradas. Com os dados coletados, realizou-se o balanço de massa do circuito.

Dados sobre produtividade, comercialização e associativismo foram obtidos através de entrevistas com as lideranças da unidade e alguns artesãos. E, por último foi pesquisado na feira de pedra-sabão no centro da cidade de Ouro Preto, o preço de venda de unidades de artesanato similares àquelas produzidas na Unidade Protótipo.

## Resultados e discussão

A avaliação do ciclo de vida da unidade de tecnologias limpas para artesanato em pedra-sabão englobou as quatro fases da ACV determinadas pela ABNT NBR ISO 14040:2009, como segue abaixo.

### Objetivo e escopo

O objetivo da ACV foi a avaliação do processo produtivo de artesanato em pedra-sabão implantado em uma Unidade Protótipo, localizada no interior do estado de Minas Gerais, na comunidade de Mata dos Palmitos, subdistrito de Ouro Preto. Essa avaliação foi construída através do estudo do balanço de massa de água e energia elétrica no sistema, e estudo da sua produtividade. Foi motivada pela necessidade de se conhecer mais detalhadamente esse processo, que ainda é muito recente, resultando no levantamento *in situ* de informações capazes de permitir o mapeamento dos impactos ambientais potenciais da unidade, além de facilitar a multiplicação desse projeto para outras localidades, com condições semelhantes.

O sistema de produto estudado foi a Unidade de Referência em Artesanato Mineral com Tecnologias Sociais Limpas (URAM). A unidade funcional estabelecida foi o quilo de pedra-sabão bruta, devido à grande variedade de tamanhos e peso das peças finais. Além disso, não houve necessidade de se estabelecer um procedimento de alocação visto que o processo estudado é voltado para a produção de um único produto final, não havendo subprodutos.

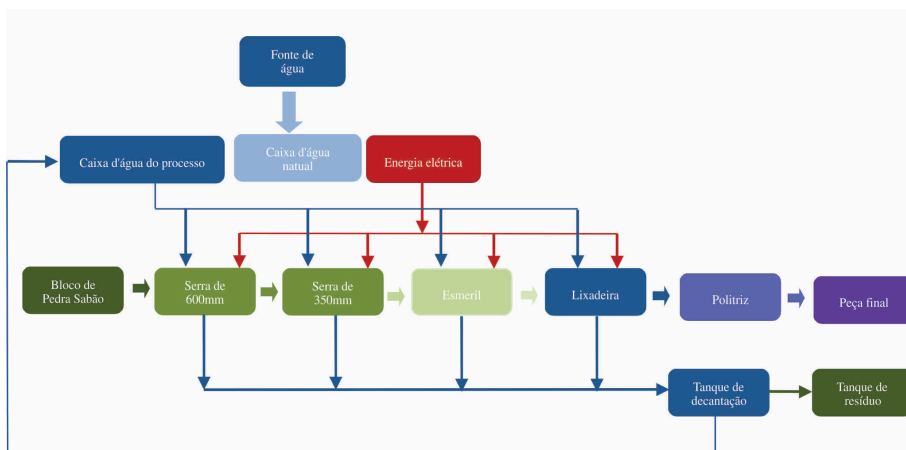
Em relação aos impactos, as categorias avaliadas foram: impactos sobre a saúde ocupacional, impacto social, o impacto físico sobre solos e corpos hídricos e impacto relacionado à energia elétrica. E a metodologia escolhida para sua avaliação foi o balanço entre as entradas e saídas de água e energia gasta no processo por metro cúbico de pedra trabalhada, relação da produtividade antes de depois da unidade piloto e avaliação da situação da saúde ocupacional.

A interpretação foi feita através dos resultados dos cálculos realizados dos balanços materiais e energético e informações sobre produtividade e rendimento, e funcionamento do associativismo.

Em relação aos pressupostos, o primeiro adotado foi que a fábrica estaria funcionando regularmente, em todos os aspectos (processo produtivo, mercado para os produtos fabricados, associação em funcionamento).

A fronteira do sistema foi delimitada como sendo todas as etapas do balanço de massa e energia desde a obtenção da matéria-prima, a pedra-sabão, passando por todo o processo de transformação na unidade piloto chegando à peça final. Esse esquema está representado na figura 1.

**Figura 1: Fronteira do Sistema**



Fonte: os autores.

Para o corte que determina as fronteiras do sistema, foram considerados os processos e fluxos recomendados pela norma anteriormente explicados, e que foram considerados compatíveis com este estudo. Estes são: aquisição de matéria-prima: a obtenção da pedra-sabão; entradas e saídas na cadeia principal do sistema (a entrada de matéria-prima, água e energia elétrica utilizadas pelas máquinas); disposição dos resíduos gerados; recuperação de produtos (reuso da água de processo).

## Análise de inventário

Os dados coletados se enquadram em: entrada de energia para os equipamentos; entrada de matéria-prima; entrada de água; resíduos; descargas para água e solo; produtividade; comercialização e saúde.

A matéria-prima é comprada de uma empresa licenciada que possui sua frente de lavra a poucos quilômetros de Mata dos Palmitos, seu preço gira em torno de R\$ 200,00 por tonelada. Para este trabalho, a fim de obterem

dados, foi utilizado um bloco de pedra de dimensões iguais a 30 x 20 x 18 cm e 29,16 kg (densidade de 2,7 g/cm<sup>3</sup>).

Quanto à produtividade, houve um aumento de cerca de três vezes da produção após a implantação da unidade, dado este levantado junto aos artesãos. No processo convencional, eram produzidas cerca de 30 peças por dia, enquanto no processo na unidade chegam a ser produzidas 100 peças. Porém, esse valor pode variar muito em função do tipo e tamanho de peça, por isso, para este estudo, foi considerado uma produção de 100 peças, sendo cada uma resultante de um bloco pedra de 1 kg.

Para a avaliação do consumo de energia elétrica, foram coletadas as informações contidas nos motores dos equipamentos, como mostra a tabela 1: as cinco máquinas apresentam as mesmas condições.

Tabela 1: Informações de um dos motores utilizados no maquinário da unidade.

|                        |          |                      |
|------------------------|----------|----------------------|
| Informações do Motor   |          | Feito no Brasil/2009 |
| NBR 7094               |          |                      |
| ~1 100L                |          |                      |
| Motor indução          | 60 Hz    | Cos 0,94             |
| KW (HP – CV) 2.2 (3.0) | RPM 3480 |                      |
| FS 1.15                |          |                      |
| 220 V                  | 13,6 A   |                      |
| 40°C maxamb            | 37 Kg    |                      |

Fonte: os autores.

Adotando um rendimento de 80% para o motor, através da Equação 1, é possível calcular o consumo médio de cada motor para 1 hora, considerando um funcionamento de 8 horas por dia e 6 dias por semana.

$$C = \frac{P \times 0,736}{R} \times 100\% \quad (1)$$

Onde:

C = consumo médio do motor para 1 hora (kw/h);

P = potência do motor (cv);

R = rendimento do motor.

Assim, obteve-se o valor de C = 2,76 kW/h. Portanto, para se obter o consumo para um dia, multiplicou-se esse resultado por 8 horas resultando num consumo de 22,08 kW/dia/motor. Como se tratam de cinco motores iguais, esse resultado foi multiplicado por 5, totalizando 110,4 kW/dia.

Relacionando o valor obtido com a unidade funcional, foi dividido o

total de pedra trabalhado em um dia pelo total de energia diária consumida totalizando 1,104 kW por quilo de pedra trabalhada.

Em relação à água, foi verificada inicialmente a bitola de 1" da tubulação que leva a água bruta da nascente Pedra dos Moinhos até a unidade. Visto que a água é levada por gravidade em conduto livre, e considerando-se seção plena no tubo a uma velocidade de 4,5 m/s, valor este recomendado pela literatura como máximo para tubulações de PVC, que foi verificada no local, pôde-se calcular a vazão de água primária que chega à unidade, através da Equação 2, em uma caixa d'água de 5000 L (NETTO, 1998).

$$Q = v \times A \quad (2)$$

Onde:

Q = vazão, em m<sup>3</sup>/s;

v = velocidade de escoamento, 4,5 m/s, como já citado;

A = área da seção, em m<sup>2</sup>.

Por sua vez, a Equação 3 apresenta a fórmula utilizada para o cálculo da área.

$$A = \frac{D^2}{4} \quad (3)$$

Onde,

D = diâmetro, em m.

Sendo assim, D = 1" = 0,0254 m, portanto, A = 0,000506 m<sup>2</sup> e consequentemente, Q = 0,00228 m<sup>3</sup>/s = 2,28 L/s.

O caminho percorrido pela água da nascente dentro da unidade é direcionado para três banheiros (feminino, masculino e especial para deficientes) cada um com um vaso sanitário, uma pia e um chuveiro, para a pia da cozinha e para a sala das máquinas, tendo uma ligação para cada máquina que utiliza água.

A água residual dos banheiros e da cozinha é direcionada a um sistema fossa-filtro-sumidouro. Já água que sai dos equipamentos possui um tratamento diferenciado, pois, em contato com o pó da pedra-sabão, se transforma em uma polpa. Sendo assim, a água sai das máquinas, percorre um caminho através de canaletas e é direcionada aos tanques de decantação, de medidas iguais a 205 cm de largura, 110 cm de profundidade e altura variável entre 100 e 150 cm, onde há a separação física por gravidade da água e do pó, e, em seguida, para uma caixa d'água que funciona como um poço de sucção. Esta última recebe a água decantada e uma bomba a recalca para outra caixa d'água, que também alimentará o processo. A utilização nas máquinas é preferencialmente de água de reuso.

Com o auxílio de uma proveta e um cronômetro, foram medidas as seguintes vazões nos equipamentos: serra 600 mm: 0,125 L/s; serra 350 mm: 0,022 L/s; lixadeira: 0,037 L/s; esmeril: 0,009 L/s.

Essa vazão que chega aos equipamentos é a mesma que sai deles como



polpa, pois todos são fechados, de forma que não há fuga de água. E do mesmo modo, não há fuga de material particulado, tanto pelo isolamento do equipamento, quanto pelo fato de o processo ser todo a úmido. Sendo assim, quase todo o pó mineral que era emitido para a atmosfera, fica retido em forma de polpa. A única fase que expõe o artesão à poeira é o trabalho final de desenho em algumas peças específicas, porque esse trabalho ainda é manual.

Os resíduos se resumem basicamente ao material sedimentado da polpa, isto é, o pó de pedra sabão com o restante da água que não decantou. O CETEM ainda faz pesquisas buscando uma destinação para esse resíduo.

Quanto à comercialização, a pesquisa entre os artesãos e feirantes mostrou que as peças compradas da comunidade são vendidas na cidade por preços 10 a 20 vezes maiores do preço de compra. Por exemplo, um castiçal comprado dos artesãos a R\$ 1,00 é vendido a um preço que varia de R\$ 10,00 a R\$ 12,00 na feira; uma escultura pequena de animal é comprada a R\$ 0,35 e é vendida a R\$6,00.

## **Avaliação de impacto**

A partir dos dados coletados na fase do inventário do ciclo de vida, foi avaliada a significância dos potenciais impactos, cujas categorias são: impactos sobre a saúde ocupacional, impacto social, impacto físico sobre solos e corpos hídricos e impacto relacionado à energia elétrica. Estes impactos foram divididos em três classes: muito significativa, significativa e pouco significativa, e se é um impacto positivo ou negativo. Estas classes foram definidas a partir da abrangência espacial e temporal de suas consequências e se afetam a saúde e/ou segurança da população.

Em relação aos impactos sobre a saúde ocupacional, foram identificados dois classificados como positivos, que são a redução da exposição à poeira proveniente do corte e do lixamento da pedra devido ao processo ser todo a úmido, e a redução do risco de acidentes, visto que todas as máquinas possuem proteção e pelos artesãos usarem equipamento de proteção individual (EPI). Esses impactos foram avaliados como muito significantes por estarem relacionados à saúde e segurança dos trabalhadores.

O impacto social foi identificado um impacto potencial, pois aumenta a produtividade/rentabilidade do artesanato local, devido, principalmente, à organização dos artesãos em uma associação capaz de divulgar, promover, negociar melhores preços e de exportar, buscando sustentabilidade e a ampliação do negócio.

Quanto aos impactos físicos sobre ar, solo e corpos hídricos, foram identificados três impactos relacionados ao aspecto redução da quantidade de poeira: 1) melhoria da qualidade do ar, com a redução da quantidade de material em suspensão. Este é um impacto positivo e muito significativo, sendo uma das principais motivações do projeto; 2) redução da quantidade de pó nas margens dos rios causando assoreamento e aumento da turbidez

da água; 3) possibilidade de alteração das propriedades do solo no local.

Foi identificado também, o impacto relacionado ao consumo de matéria-prima, pois, com o aumento da produtividade, conseqüentemente, há o consumo de pedra-sabão, que não é renovável.

A última categoria avaliada foi a de impacto relacionado à energia elétrica, com maior demanda de recurso energético no processo mecanizado. Esse é um impacto negativo significativo implicando em um maior gasto com a fabricação de peças na unidade. Esta avaliação está apresentada resumidamente na Tabela 2.

Tabela 2: Tabela com a relação entre as categorias de impacto, os potenciais impactos e sua avaliação.

| Categoria de Impacto                             | Impactos potenciais                                 | Avaliação                      |
|--|---|--------------------------------|
| Impacto sobre a saúde ocupacional                | Redução da exposição à poeira                       | Positivo e muito significativo |
|  | Redução dos riscos de acidentes                     | Positivo e muito significativo |
| Impacto social                                   | Aumento da produtividade e rentabilidade            | Positivo e muito significativo |
| Impacto físico sobre ar, solos e corpos hídricos | Melhoria da qualidade do ar                         | Positivo e muito significativo |
|  | Redução da deposição de poeira nas margens dos rios | Positivo e significativo       |
|  | Maior consumo de pedra-sabão                        | Negativo e significativo       |
| Impacto relacionado à energia elétrica           | Maior demanda de energia elétrica                   | Negativo e significativo       |

Fonte: os autores.

## Interpretação

A partir do inventário do ciclo de vida e da avaliação dos potenciais impactos da unidade, é possível visualizar o incremento na qualidade de vida dos artesãos de Mata dos Palmitos que a unidade piloto pode trazer para a comunidade. Pôde-se observar que alguns pontos ainda necessitam de estudos, como: a polpa sedimentada no tanque e os gastos com energia elétrica.

## Conclusões

De uma forma geral, o empreendimento cumpre bem o seu papel como unidade de tecnologias limpas para artesanato em pedra-sabão. Isto é exemplificado pela eliminação da poeira do ar e retenção na polpa, pelo reuso de água do processo, reduzindo assim a demanda de água bruta, pelo incremento de segurança ocupacional proporcionada aos artesãos e ambiental na comunidade de Mata dos Palmitos. Algumas questões relativas ao funcionamento e manutenção da Unidade Protótipo demandam por mais estudo, como, por exemplo, a possibilidade de utilização de formas de geração de energia de menor impacto e destinação final dos resíduos.

## Referências

---

ABNT NBR ISO 14040. **Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura**. Rio de Janeiro, 2009, p. 21.

ARAUJO, P. C.; CASTILHOS, Z.C. **Tecnologias limpas para a arte em pedra-sabão: o caso de Mata dos Palmitos, Ouro Preto, Minas Gerais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2015, p. 47.

CASTILHOS, Z. C.; ARAUJO, P. C. **Tecnologias limpas para a arte em pedra-sabão: o caso de Mata dos Palmitos, Ouro Preto, Minas Gerais**. In: BRANQUINHO, C. L. S. (Ed.). **CETEM 35 anos: Criatividade e Inovação**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2014, p. 320.

NETTO, A.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. **Manual de Hidráulica**. 8 ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1998.

SANTOS, R. C. P. **Análise dos entraves para a criação de um Arranjo Produtivo Local (APL) de base mineral da pedra-sabão na região de Ouro Preto, Minas Gerais**. (Dissertação de Mestrado) - Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

SENAI. **Implementação de Programas de Produção Mais Limpa**. Porto Alegre, 2003.

\_\_\_\_\_. **Questões ambientais e produção mais limpa**. Porto Alegre, 2003, p. 126.