

PRODUÇÃO DE NANOMATERIAIS BIDIMENSIONAIS DE TALCO A PARTIR DE REJEITOS DA INDÚSTRIA DE PEDRA-SABÃO

C. C. NASCIMENTO¹; S. M. SOUSA ²; H. L. O. MORAIS³; R. R. U. QUEIROZ⁴; A. C. S. ALMEIDA⁵; M. C. PRADO⁶; E. S. PINTO⁷

1 Cláudio Cristovão Nascimento, Bolsista (IFMG), Licenciatura em Física, IFMG Campus Ouro Preto, Ouro Preto - MG; ncristovo250@gmail.com

2 Samuel Marques de Sousa, Estudante; Engenharia Civil, IFMG Campus Santa Luzia - MG

3 Helene Lúcia Oliveira de Moraes, Técnica em Química, IFMG Campus Santa Luzia – MG

4 Rhelman Rossano Urzedo Queiroz, Pesquisador do IFMG, Campus Ouro Preto, Ouro Preto - MG

5 Ariana Cristina Santos Almeida, Pesquisadora do IFMG, Campus Ouro Preto, Ouro Preto - MG

6 Mariana de Castro Prado: Pesquisadora da UFOP, Ouro Preto - MG

7 Elisângela Silva Pinto: Pesquisadora do IFMG, Campus Ouro Preto; elisangela.pinto@ifmg.edu.br

RESUMO

Nos últimos anos, houve uma crescente preocupação e mobilização mundial no que se refere à preservação ambiental. Preocupação esta agravada devido ao rompimento das barragens de rejeitos da mineradora Samarco e Vale ocorrido no distrito de Barra Longa (Mariana) e na cidade de Brumadinho, no estado de Minas Gerais. Ademais, há também preocupações contra o desmatamento ilegal, a preservação de espécies e o descarte de rejeitos em afluentes e em locais inapropriados. Diante de tal cenário encontra-se a necessidade de despertar a consciência ecológica mundo a fora das grandes potências e dos países emergentes, de modo a buscar formas alternativas de desenvolvimento aliado à preservação dos recursos naturais. Problemas como o descarte de rejeitos é observado na extração e confecção artesanal da rocha esteatito, popularmente conhecida como pedra-sabão. No município de Ouro Preto, Minas Gerais, a extração da rocha esteatito, e a indústria que a utiliza como matéria prima, representam importantes seguimentos da economia local, principalmente em alguns distritos como Cachoeira do Campo e Santa Rita. A indústria gera rejeitos oriundos da confecção artesanal em serras e em tornos elétricos das peças de esteatito, existe um grande acúmulo de pó gerado durante a fabricação de peças, em serras e tornos elétricos. O pó gerado, muitas vezes, é descartado de forma inconsciente no meio ambiente, além de causar malefícios à saúde das pessoas que trabalham diretamente no artesanato ou que vivem nas proximidades dos locais onde são descartados. Pesquisas recentes mostram que a esfoliação do talco, principal componente do esteatito, pode produzir monocamadas estáveis de talco com propriedades mecânicas de grande interesse em nanotecnologia. Este projeto de pesquisa buscou a esfoliação em meio líquido dos rejeitos da indústria do artesanato da pedra-sabão, buscando a produção de nanoestruturas bidimensionais de talco. Os rejeitos da pedra-sabão coletados foram caracterizados por difração de raios X e Microscopia Eletrônica de Varredura. Após a esfoliação dos rejeitos em meio líquido, nanoestruturas bidimensionais de talco foram caracterizadas por Microscopia de Força Atômica. Foram obtidas nanoestruturas bidimensionais com espessura média de 10 nm. A produção das estruturas bidimensionais de talco a partir do rejeito da indústria da pedra-sabão propõe uma forma para o seu reaproveitamento, produzindo nanoestruturas com propriedades mecânicas modificadas que podem ser utilizadas em nanotecnologia, como por exemplo, em reforço de filmes poliméricos.

Palavras Chave: esteatito, reaproveitamento, pedra-sabão, estruturas bidimensionais, nanomateriais.

INTRODUÇÃO:

No município de Ouro Preto, Minas Gerais, a extração da rocha esteatito, popularmente conhecida como pedra-sabão, e a indústria que a utiliza como matéria prima, representam importantes seguimentos da economia local, principalmente em alguns distritos como Cachoeira do Campo e Santa Rita. A indústria gera rejeitos oriundos da confecção artesanal em serras e em tornos elétricos das peças de esteatito.

O talco, principal componente do esteatito, possui estrutura cristalina, textura macia, alta resistência ao choque térmico, alta capacidade de absorção de óleo e graxa, baixa condutibilidade térmica e elétrica, alto poder de lubrificação e deslizamento, alta área de superfície e boa retenção como carga. Além disso, ele tem um grande apanhado de propriedades tecnológicas, que permite sua aplicação na elaboração de cosméticos, indústria de cerâmica, fabricação de tintas, borracha, inseticidas e fertilizantes (GARCIA *et al.*, 2014).

O descarte de resíduos sólidos e rejeitos é um dos grandes problemas que atinge o meio ambiente. No distrito de Ouro Preto, ocorre situação semelhante em relação ao descarte de rejeitos na fabricação artesanal do esteatito. Existe um grande acúmulo de pó gerado durante a fabricação de peças, em serras e tornos elétricos. O pó gerado, muitas vezes, é descartado de forma inconsciente no meio ambiente, além de causar malefícios à saúde das pessoas que trabalham diretamente no artesanato ou que vivem nas proximidades dos locais onde são descartados.

Por outro lado, pesquisas recentes mostram que alguns minerais quando processados até a escala nanométrica (1 bilionésimo do metro) podem possuir propriedades diferentes de grande interesse em nanociência e nanotecnologia (NOVOSELOV *et al.*, 2004; ENGLER *et al.*, 2007; MAK *et al.*, 2010; ALENCAR *et al.*, 2015; BALAN *et al.*, 2018). Entre a grande variedade de nanomateriais estudados atualmente, pode-se citar os materiais a base de carbono: o fulereno (KROTO, 1985), os nanotubos de carbono (IIJIMA, 1991) e o grafeno (NOVOSELOV *et al.*, 2004).

Entre esses materiais destaca-se o grafeno, cujas propriedades térmicas e mecânicas e de alta condutividade oferecem à indústria de nanomateriais uma alternativa potencial ao silício e ao diamante em aplicações tais como, condutores transparentes, eletrodos flexíveis e transparentes para células de energia solar ou de cristal líquido, transistores de efeito de campo, sensores de pressão e ressonadores (FRAZIER *et al.*, 2009 e SOLDANO *et al.*, 2010).

Após as pesquisas relacionadas ao grafeno uma variedade de monocamadas de materiais tem sido pesquisada. Esses materiais ficaram conhecidos como materiais bidimensionais, ou materiais 2D, pois possuem dimensões no plano muito maiores que na altura (na maioria das vezes a altura é constituída por poucos átomos) (BARCELOS, 2015). Entre esses novos materiais pode-se citar h-BN (ENGLER *et al.*, 2007), MoS₂ (MAK *et al.*, 2010) e o talco (ALENCAR *et al.*, 2015). Trabalho recente mostra que o mineral talco pode ser esfoliado mecanicamente até a espessura de poucos nanômetros, formando estruturas 2D e essas estruturas apresentam importantes propriedades mecânicas, como grande resistência à ruptura, rigidez moderada e baixa energia de interação entre camadas (ALENCAR *et al.*, 2015).

Dessa forma, buscou-se neste projeto de pesquisa produzir nanoestruturas bidimensionais (2D) de talco a partir do rejeito da indústria de pedra-sabão do distrito de Santa Rita de Ouro Preto, município de Ouro Preto, Minas Gerais, mostrando um caminho na busca por soluções viáveis para o seu reaproveitamento e produzindo materiais com potencial aplicação em nanociência e nanotecnologia.

METODOLOGIA:

Inicialmente realizou-se uma visita à indústria de pedra-sabão no distrito de Santa Rita de Ouro Preto, município de Ouro Preto, Minas Gerais. Foi coletado os rejeitos de uma indústria de artesanato. Os rejeitos foram coletados próximos ao torno elétrico e à serra, sendo aproximadamente 500 g de material.

Os rejeitos foram caracterizados por difração de raios X e Microscopia Eletrônica de Varredura.

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) é uma técnica de microscopia na qual um feixe de elétrons interage com a superfície da amostra. O princípio de funcionamento, portanto, é a interação elétron-matéria. Após a interação do feixe de elétrons com a amostra, vários sinais podem ser detectados. Dependendo da interação é possível obter, além de informações topográficas, informações químicas quantitativas e qualitativas (microanálise). Utilizou-se o MEV para a caracterização prévia do rejeito da pedra-sabão, com o

objetivo de se conhecer os constituintes do rejeito através de análise por EDS. Foi utilizado um equipamento modelo VEGA 3 SBH marca TESCAN, do Centro de Microscopia do IFMG - Campus Ouro Preto.

A determinação da estrutura de um cristal ou estrutura cristalina envolve a descrição da disposição no espaço de todas as entidades químicas existentes na amostra. A metodologia que explora o efeito da interação radiação-matéria, em um contexto de interação elástica entre elementos com dimensões espaciais semelhantes, com a produção de inúmeros elementos de interferência em determinadas posições do espaço, é chamada de difração de raios X (MASSA, 2004). O método em que a direção e a intensidade dessas reflexões são medidas e a disposição dos átomos dentro do cristal é chamado de análise de estrutura por raios X. A técnica de difração de raios X foi utilizada para identificar os minerais presentes na amostra do rejeito da pedra-sabão.

Após a caracterização, os rejeitos foram esfoliados em meio líquido para a obtenção de nanoestruturas.

Para esfoliar em torno de 10 ml de rejeito de pedra-sabão em solução com colato de sódio (SC), utilizou-se o seguinte procedimento: preparou-se 30 mL de uma solução de 6,0 mg/ml de SC em água DI (180 mg para os 30 mL); colocou-se 10 mL da solução em um vial de 20 ml; colocou-se 60 mg de pó de rejeito de talco purificado no frasco; colocou-se no ultrassom por 15 horas; após as 15 horas, a solução foi transferida novamente para os tubos falcon pequenos; centrifugou-se as amostras por 1 hora a 1000 g.

Para a análise das estruturas esfoliadas no equipamento de Microscopia de Força Atômica (AFM), 5 μ l da solução foi depositada sobre um substrato de silício com camada nanométrica de dióxido de silício (SiO_2). A deposição foi realizada com o substrato em uma placa aquecedora a 100 °C, deixando a amostra na placa por 80 s até secar por completo.

Posteriormente a análise de AFM, a amostra foi colocada em água DI por 12 h e novamente analisada por AFM.

AFM é uma das técnicas de Microscopia de Varredura por Sonda (SPM). O termo SPM engloba uma família de técnicas de microscopia, tais como: Microscopia de Força Atômica (AFM), Microscopia de Varredura por Tunelamento (STM), Microscopia de Força Magnética (MFM) e Microscopia de Força Elétrica (EFM), todas elas com o mesmo princípio de funcionamento que é a interação de uma ponta com a superfície da amostra.

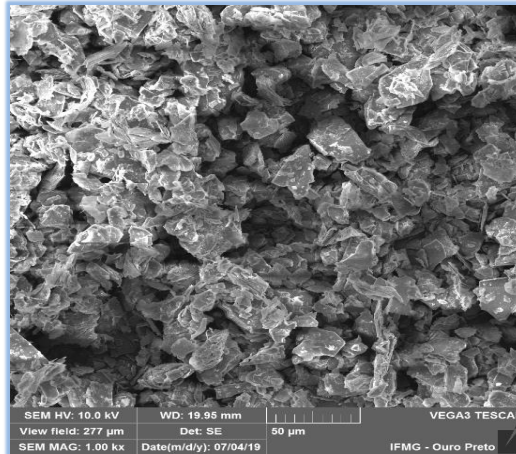
No AFM, que foi a técnica usada neste trabalho, a interação entre a ponta e a superfície da amostra é de forças de contato. Através dessa técnica obtêm-se a topografia da superfície. Quando a ponta do AFM se aproxima da amostra, os átomos da ponta interagem com os átomos que compõem a superfície da amostra. Ao longo da varredura, a haste sofre deflexões ou altera sua amplitude de oscilação por causa da interação atômica, desviando o laser que incide sobre ela, conforme ilustra o esquema de funcionamento do AFM. O laser é detectado por um fotodiodo que envia essas informações de desvio da haste para o controle de realimentação que ajusta a posição da amostra (e/ou da ponteira) e para o computador onde é construída a topografia digitalizada da superfície da amostra (PINTO, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Após a coleta do rejeito da pedra-sabão realizou-se a análise do mesmo por MEV (Figura 1) com caracterização química por EDS (Figura 2).

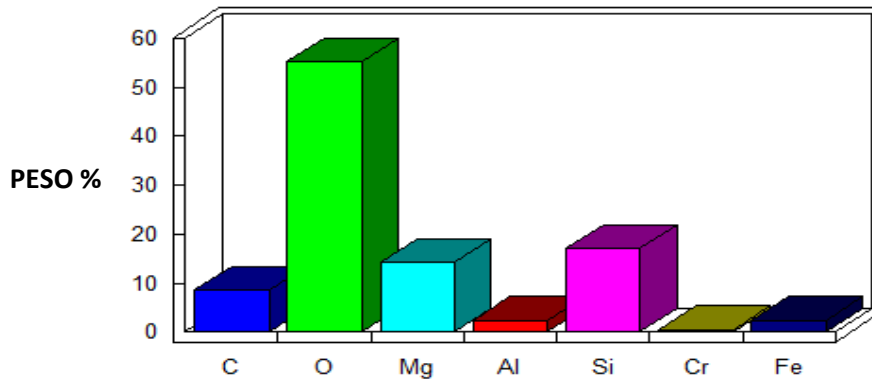
De acordo com a análise realizada, foi detectada a presença de alguns elementos químicos e suas respectivas porcentagens em peso, como carbono (C) 8%, oxigênio (O) 55%, magnésio (Mg) 15%, alumínio (Al) 2%, silício (Si) 18%, cromo (Cr) 0,3% e ferro (Fe) 1,5% (Figura 2). É possível constatar a presença de alguns elementos que compõem os principais minerais do esteatito, tais como, talco, tremolita, dolomita, calcopirita, magnesita e quartzo. Numa análise preliminar das imagens do pó nota-se a presença de minerais de clivagem basal, como alguns citados acima.

Figura 1 - Imagens de MEV do rejeito da pedra-sabão.



Fonte: autores.

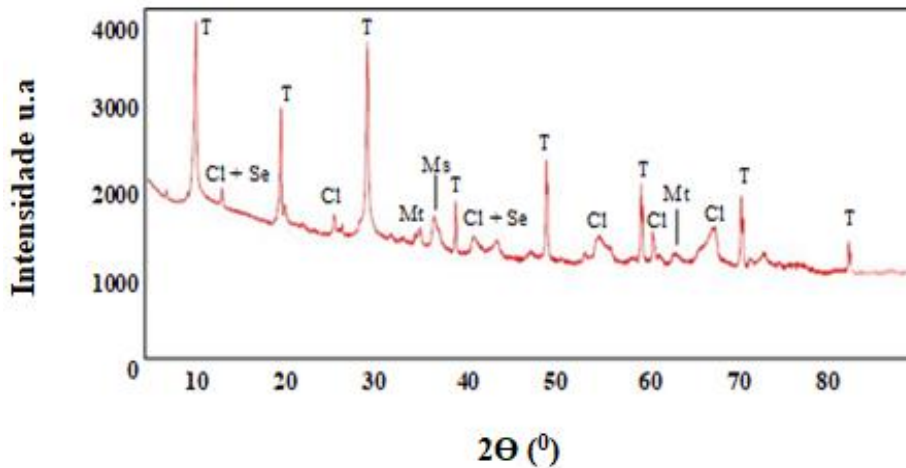
Figura 2 - representação gráfica dos resultados obtidos da análise de EDS.



Fonte: autores.

Os resultados da análise mineralógica por difração de raios X da fração pó total (Figura 3), confirmam a presença predominante de talco, definido pelos picos 9,3, 19, 28,6 e 48,6 Å. A clorita foi identificada também como uma fase importante, definida pelos picos 6,2, 12,4, 18,6, 24,9, 54,6, 59,6 Å. Adicionalmente, minerais como magnetita, magnetita e serpentina foram identificadas como minerais traços.

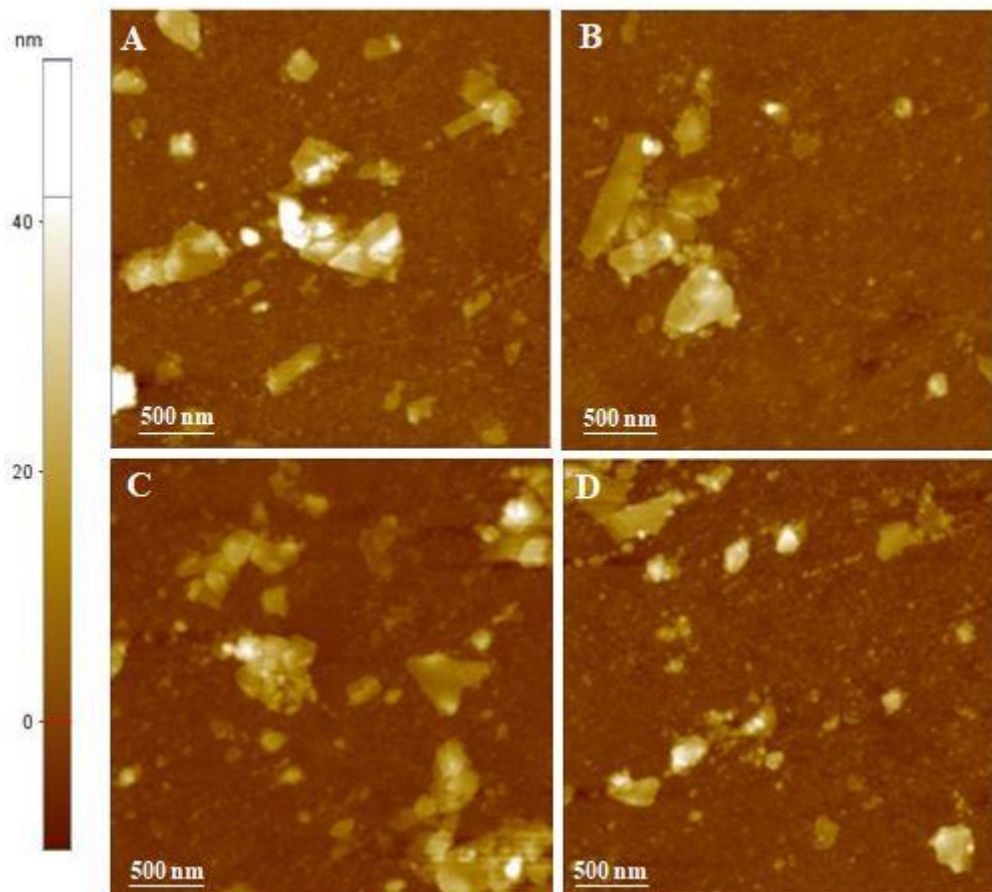
Figura 3 - Difratograma de raios X da fração pó total de amostras de rejeito da pedra-sabão. T = talco; Cl= clorita; Cl+Se = interestratificado clorita-serpentina; Mg = magnetita; Ms= magnetita.



Fonte: autores.

Na Figura 4 encontram-se imagens de AFM da superfície da amostra preparada com a solução esfoliada do rejeito da pedra-sabão. É possível observar a presença de estruturas nanométricas com seções retas, típicas de estruturas bidimensionais obtidas por esfoliação, indicando que a esfoliação do rejeito ocorreu com sucesso pelo método realizado. Estruturas semelhantes foram obtidas por Alencar e colaboradores (2015) ao esfoliarem o mineral talco por esfoliação mecânica por fita.

Figura 4 - imagens de AFM dos rejeitos da pedra-sabão após a esfoliação em meio líquido e molho em água DI.



Fonte: autores.

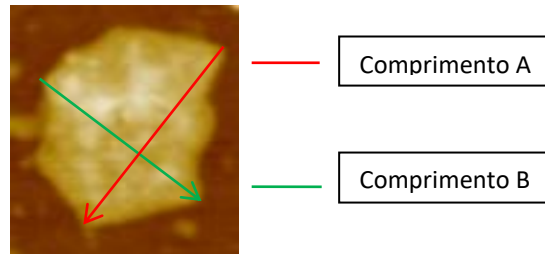
Ao se comparar as estruturas de clivagem basal evidenciadas de imagem de MEV do rejeito (Figura 1) e as estruturas encontradas nas imagens de AFM (Figura 4), observa-se a diminuição significativa dos tamanhos das estruturas, reforçando que os minerais presentes no rejeito foram esfoliados.

Como o talco é o mineral predominante na composição da pedra-sabão utilizada, como mostrado na análise de difração de raios X (Figura 3), acredita-se que a maior parte dessas nanoestruturas seja de talco. Mas, existem outros minerais presentes no rejeito que também poderiam ser esfoliados formando estruturas bidimensionais, como por exemplo, a clorita. Nenhuma análise foi realizada para confirmar a composição química e/ou mineralógica das estruturas bidimensionais formadas, o que poderia ser uma perspectiva para a continuação deste trabalho.

Foram selecionadas algumas imagens, a fim de obter informações consideráveis sobre dimensões dos flocos nanométricos encontrados na amostra analisada. Essa análise foi realizada por meio de utilização do programa de tratamento de imagens XEI. Pegou-se cada floco nanométrico, identificou-se o maior comprimento que o mesmo possuía e traçou-se uma reta para a medida. Esse comprimento foi identificado como comprimento A (Figura 5). Foi traçada uma nova reta perpendicular ao floco no segundo maior

comprimento, comprimento este chamado de B (Figura 5). Também foi medida a altura de cada floco. Foram analisados 64 flocos.

Figura 5 - Dimensões dos flocos nanométricos.



Fonte: autores.

A altura (espessura) média encontrada para os flocos foi de 10 nm, sendo a altura de 6 nm com maior predominância. O comprimento A teve maior predominância no intervalo de 201 a 250 nm, com 15 flocos, e a média encontrada para este comprimento foi de 341 nm. O comprimento B teve maior predominância no intervalo de 151 a 200 nm, com 18 flocos, com média de 194 nm para este comprimento.

CONCLUSÕES:

Foi possível produzir e caracterizar nanoestruturas bidimensionais a partir de rejeitos de indústrias de pedra sabão pelo método de esfoliação em meio líquido. Acredita-se que a maior parte das estruturas 2D formadas são do mineral talco, por serem o mineral principal na constituição da pedra-sabão, conforme estudo da composição mineralógica realizada neste rejeito.

Por meio de análises de AFM da superfície foi possível constatar que o processo de esfoliação em meio líquido produziu nanoestruturas bidimensionais e as estruturas formadas têm espessura média de 10 nm e dimensões médias de 341 nm e 194 nm, comprimentos A e B, respectivamente.

Este trabalho apresenta, portanto, uma alternativa para desenvolver tecnologias apropriadas para o reaproveitamento dos rejeitos da indústria da pedra-sabão, obtendo nanoestruturas 2D. Essas estruturas, por apresentarem interessantes propriedades mecânicas, podem ser utilizadas como reforço para filmes poliméricos. Demonstra-se assim uma das formas de minimizar os impactos causados pelos rejeitos da indústria da pedra-sabão. O crescente avanço e o desenvolvimento de novas tecnologias propiciam ao homem a grande oportunidade de se beneficiar de forma consciente, do meio que vive, e a preservação dos recursos necessários à sobrevivência das espécies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ALENCAR, A. B. *et al.* Experimental and theoretical investigations of monolayer and few-layer talc. **2d Materials**, v. 2, n. 1, p. 8, Mar 2015.

BARCELOS, I. D. **Estudo de propriedades estruturais e óticas de heteroestruturas formadas por materiais bidimensionais**. Agosto 2015. Tese (Doutorado em Ciências) Programa de Pós-Graduação em Física. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Agosto 2015.

ENGLER, M. *et al.* Hexagonal boron nitride (hBN) - Applications from metallurgy to cosmetics. **Cfi-Ceramic Forum International**, v. 84, n. 12, p. E49-E53, Dec 2007.

FRAZIER, R. M; DALY D.T.; SWATLOSKI, R. P.; HATHCOCK, K.W. Recent Progress in Graphene-Related Nanotechnologies. **Recent Patents on Nanotechnology**. 3: 164-176, 2009.

GARCIA N. H.; RODRIGUES M. M. L.; LIMA M. M. F. e LIMA R. M. F. Caracterização de talco purificado de resíduos de pedra sabão. **Holos**, 2014.

NOVOSELOV , K. S. *et al.* Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. **Science** 22, v. 306, Issue 5696, pp. 666-669, 2004.

PINTO, E. S. **Injeção de carga em materiais dielétricos e produção de nanopartículas metálicas por técnicas de SPM**. 2009, 99f. Tese (Doutorado em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Física do Departamento de Física da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

BALAN, A. P. *et al.* Exfoliation of a non-van der Waals material from iron ore hematite. **Nature Nanotechnology**. DOI: 10.1038/s41565-018-0134-y., 2018.

KROTO, H. W.; HEATH, J. R.; O'BRIEN, S. C.; CURL, R. F.; SMALLEY, R. E. **Nature**, 318(14), 162-163, 1985.

IJIMA, S. Synthesis of Carbon Nanotubes. **Nature**, 354, 56-58, 1991.

SOLDANO, C.; MAHMOOD, A.; DUJARDIN, E. Produção, propriedades e potencial do grafeno. **Carbon**. 48: 2127- 2150, 2010.

MARLON, B.; HASAN, N. Grafeno: Inovações, Aplicações E Sua Comercialização. **Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas**, v. 2, n. 1, p. 29-40, 2016.

AGRADECIMENTOS:

Ao IFMG - Campus Ouro Preto pelo apoio financeiro; ao professor Bernardo R. Almeida Neves e ao Laboratório de Cristalografia do Departamento de Física da UFMG pelas análises de difração de raios X.