

ESTRUTURAS BIDIMENSIONAIS DE VIVIANITA: PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

Alexia Cristina Oliveira Maia¹; Atália J. Benedito²; Bernardo R. A. Neves³; Mariana de C. Prado⁴; Ana Paula M. Barboza⁵; Elisângela S. Pinto⁶.

1 Alexia Cristina Oliveira Maia, Bolsista (IFMG), Licenciatura em Física, IFMG Campus Ouro Preto, Ouro Preto - MG; alexiamaiagr@gmail.com

2 Atália J. Benedito, Departamento de Física, UFOP, Ouro Preto – MG

3 Bernardo R. A. Neves, Departamento de Física, UFMG, Belo Horizonte – MG

4 Mariana de C. Prado, Departamento de Física, UFOP, Ouro Preto – MG

5 Ana Paula M. Barboza, Departamento de Física, UFOP, Ouro Preto – MG

4 Elisângela S. Pinto: Pesquisador do IFMG, Campus Ouro Preto; elisangela.pinto@ifmg.edu.br

RESUMO

O estudo de nanomateriais é uma área interdisciplinar da ciência que se concentra no estudo e desenvolvimento de materiais com tamanhos de partículas entre 1 e 100 nanômetros. Esses materiais têm propriedades únicas devido à sua escala de tamanho, diferentes das de suas contrapartes macroscópicas. Nanomateriais bidimensionais, como grafeno, h-BN, MoS₂ e o talco, têm despertado muito o interesse de pesquisadores devido às novas propriedades mecânicas, elétricas, magnéticas e óticas que podem apresentar. A produção em grande escala e o conhecimento das propriedades desses novos materiais são de grande interesse para aplicações em novos dispositivos. No entanto, o estudo das propriedades desses novos materiais está no limite do conhecimento, uma vez que possuem estruturas de dimensões nanométricas. Nesta pesquisa, estudou-se a Vivianita, mineral natural de ferro e fosfato (Fe₃(PO₄)₂·8H₂O). A estrutura cristalina da Vivianita é monoclinica e apresenta um aspecto azul-turquesa, sendo facilmente identificável pelo seu característico tom azulado. Ela pode ser encontrada em ambientes geológicos específicos, como rochas sedimentares e solos. O objetivo foi a produção e caracterização de Vivianita na forma bidimensional. O mineral Vivianita foi esfoliado de forma mecânica por fita até a obtenção de estruturas bidimensionais em nanoescala. A esfoliação mecânica por fita consiste na utilização de uma fita adesiva e na sucessiva clivagem do mineral com a fita. O material esfoliado é depositado posteriormente em um substrato de silício para ser caracterizado. Utilizando a técnica de Microscopia de Força Atômica, foi possível realizar a caracterização das amostras de Vivianita produzidas. O processo de esfoliação mecânica por fita mostrou-se eficiente para produzir estruturas bidimensionais de Vivianita. Com a caracterização das amostras por AFM, foi possível observar estruturas com menos de 10 nm de espessura. Novas análises ópticas e mecânicas ainda serão realizadas com o objetivo de verificar as propriedades das estruturas bidimensionais obtidas e suas potenciais aplicações em Nanotecnologia.

INTRODUÇÃO:

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

Dentre esses materiais, destaca-se o grafeno por suas propriedades de condução e resistência (NOVOSELOV et al., 2004). Desde o surgimento do grafeno, muitos análogos inorgânicos têm sido sintetizados e explorados para novas aplicações. Esses novos materiais são conhecidos atualmente como materiais bidimensionais (2D), por possuírem espessura atômica, largura e profundidade da ordem de comprimento de micrômetros. Novos materiais 2D têm despertado muito o interesse de pesquisadores devido às novas propriedades mecânicas, elétricas, magnéticas e óticas que podem apresentar. Entre esses novos materiais, podem-se citar h-BN (ENGLER et al., 2007), MoS₂ (MAK et al., 2010), o talco (ALENCAR et al., 2015) e, mais recentemente, o hemateno, obtido a partir da hematita, que é um mineral constituinte do minério de ferro (BALAN et al., 2018).

O estudo desses novos materiais 2D vai desde a forma de produção até o conhecimento de suas propriedades, pois, na maioria das vezes, as propriedades físicas e químicas em nanoescala são inovadoras e diferentes das propriedades dos mesmos materiais em escala macroscópica.

Várias abordagens têm sido usadas para obter materiais 2D de alta qualidade. Entre essas abordagens, podem-se citar a esfoliação mecânica com uso de fita adesiva e a esfoliação mecânica em fase líquida. A esfoliação mecânica com uso de fita adesiva produz amostras com flocos de alta qualidade, mas não permite a obtenção de grandes quantidades de material. A esfoliação mecânica em fase líquida utiliza energia mecânica proveniente, por exemplo, de um banho ultrassônico, para esfoliar o material a partir do bulk e obter soluções coloidais. A vantagem desse método é que ele permite a obtenção de grandes quantidades de camadas e permite que seja feita a seleção por tamanho desejado, através da centrifugação da solução.

Nesta pesquisa, estudou-se a esfoliação mecânica por fita da Vivianita ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$). A estrutura cristalina da Vivianita é monoclinica e apresenta um aspecto azul-turquesa, sendo facilmente identificável pelo seu característico tom azulado. Ela pode ser encontrada em ambientes geológicos específicos, como rochas sedimentares e solos. Como o objetivo foi produzir pela primeira vez estruturas 2D de Vivianita, a esfoliação mecânica por fita foi escolhida para possibilitar a caracterização individual das estruturas formadas. As amostras produzidas foram caracterizadas pela técnica de Microscopia de Força Atômica (AFM – Atomic Force Microscopy).

METODOLOGIA:

A pesquisa se desenvolveu a partir das seguintes etapas realizadas: caracterização e seleção das amostras de Vivianita, esfoliação mecânica por fita das amostras e análise por meio da técnica de AFM. Os materiais utilizados foram principalmente óxido de silício (SiO_2), mineral Vivianita, Microscópio de Varredura por Sonda (utilizando a técnica de caracterização AFM) e fita adesiva para o processo de esfoliação mecânica. O método de esfoliação por fita consiste em colocar uma pequena quantidade do material desejado, já macerado, sobre uma fita adesiva e, após sucessivas dobras da fita, depositar o material esfoliado sobre um substrato, que na maioria das vezes é o dióxido de silício (SiO_2), utilizado para esta pesquisa. Antes de receber o material, o SiO_2 é devidamente preparado por meio de etapas de limpeza, que consistem em 5 minutos em um béquer com acetona no ultrassom, 5 minutos em um béquer com álcool isopropílico no ultrassom e 5 minutos em um béquer com água destilada no ultrassom.

Depois do processo de limpeza, o material de Vivianita esfoliado foi depositado sobre o substrato de SiO_2 e analisado por AFM.

A técnica de AFM pertence a um amplo conjunto de técnicas de Microscopia de Varredura por Sonda (SPM - *Scanning Probe Microscopy*). SPM é uma família de técnicas de microscopia com um mesmo princípio de funcionamento: a interação de uma ponta extremamente fina com a superfície de uma amostra. Na técnica de AFM, controla-se a força de interação sonda-amostra, principalmente a força de *Van der Waals*, e obtêm-se propriedades da morfologia da amostra em inspeção (HERRMANN et al., 1997). A AFM é uma técnica não destrutiva e não invasiva, o que a torna uma excelente ferramenta para caracterizar a morfologia, rugosidade, dureza, elasticidade, eletricidade e outras propriedades de uma ampla variedade de materiais.

Para a caracterização do material em análise, foram preparadas amostras utilizando a técnica de esfoliação por fita de maneiras diferentes, das quais, obteve-se o resultado final da seguinte amostra:

Amostra 1:

Mineral: Vivianita

Substrato utilizado: SiO_2

Método: esfoliação mecânica com fita branca, realizada 5 vezes.

Amostra 2:

Mineral: Vivianita

Substrato utilizado: SiO₂

Método: esfoliação mecânica com fita azul, realizada 4 vezes com tempo de retirada da fita sobre o substrato de 4 min e 8 s.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Ao longo da pesquisa, houve dificuldades em produzir amostras com a fita branca (Amostra 1). A mesma transfere muita cola para o substrato, como pode ser observado na Figura 1, impossibilitando a análise detalhada no AFM.

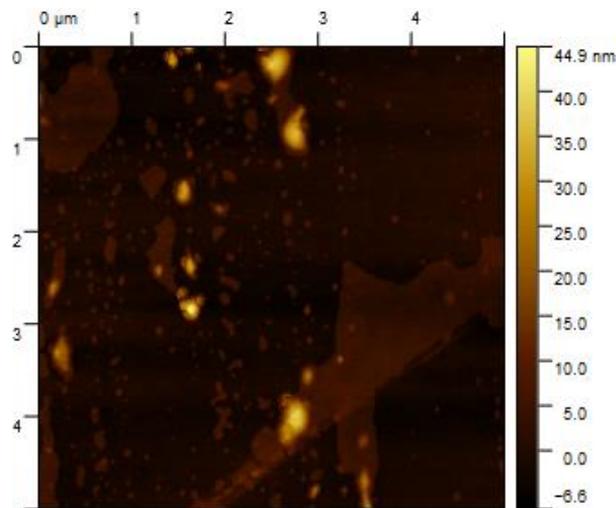


FIGURA 1 - Imagem de AFM de Vivianita esfoliada com fita branca.

Fonte: Produzida pela autora, 2022.

Dessa forma, optou-se por utilizar a fita azul para a esfoliação mecânica. Após o processo de preparação, através do AFM foi possível analisar a Amostra 2, onde obteve-se as imagens apresentadas nas Figuras 2 e 3 que representam dois flocos encontrados na mesma amostra:

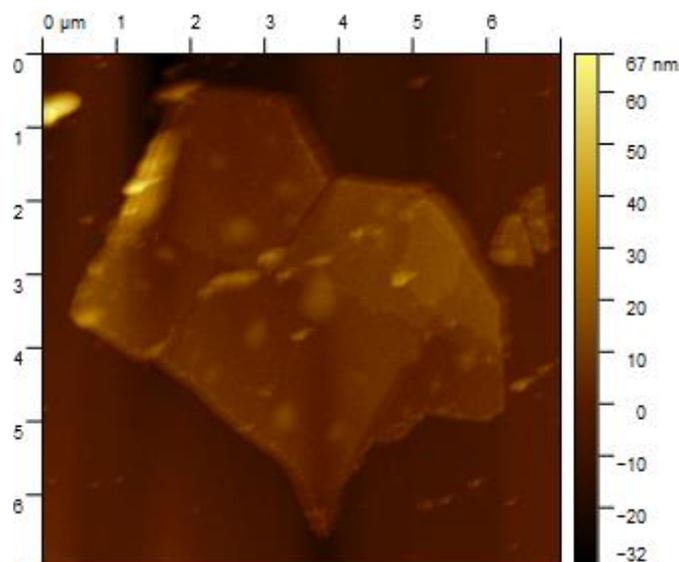


FIGURA 2 - Imagem de AFM de Vivianita esfoliada com fita azul (flocos 1).

Fonte: Produzido pela autora, 2022.

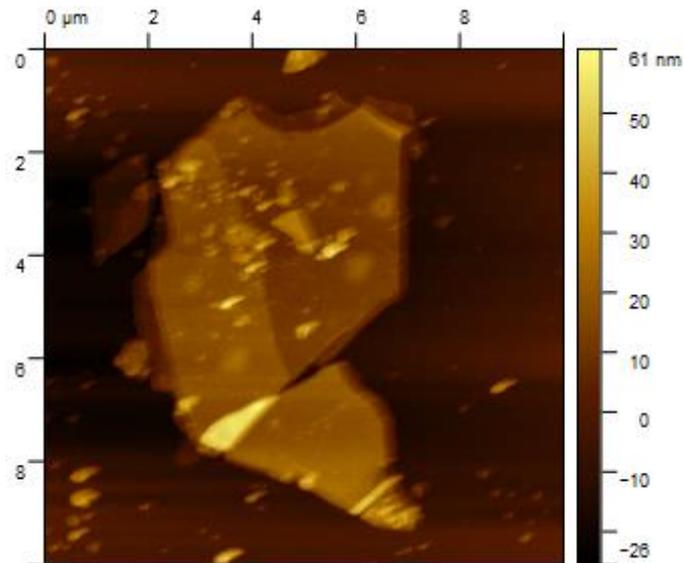
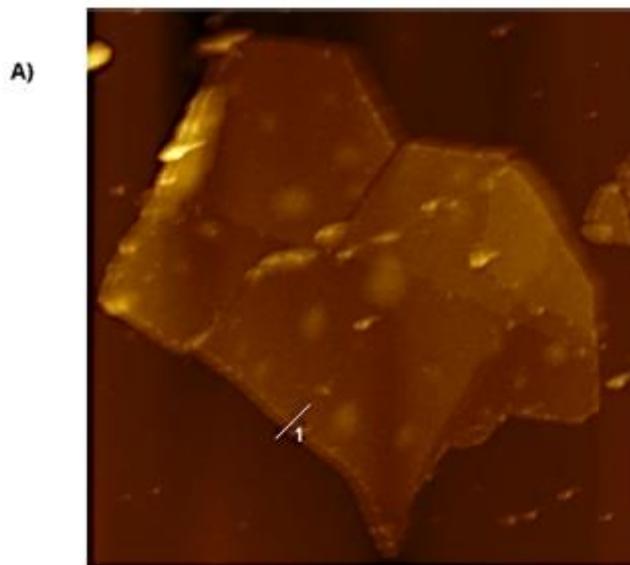


FIGURA 3 - Imagem de AFM de Vivianita esfoliada com fita azul (flocos 2).

Fonte: Produzido pela autora, 2022.

As imagens de AFM, Figuras 4 e 5, apresentam o perfil traçado, para verificar a topografia dos flocos, bem como suas respectivas alturas. Na Figura 4 observa-se em B), a altura de 12,8 nm. Já na Figura 5, temos em B), a altura de 20,3 nm e em C), altura de 5,8 nm.



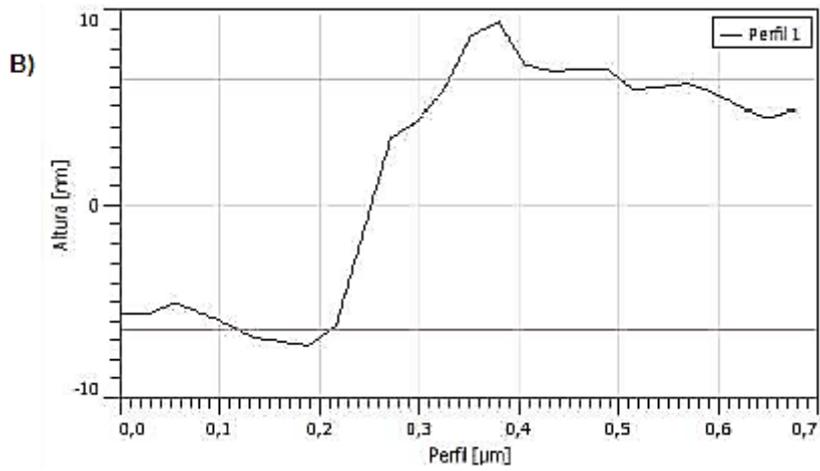
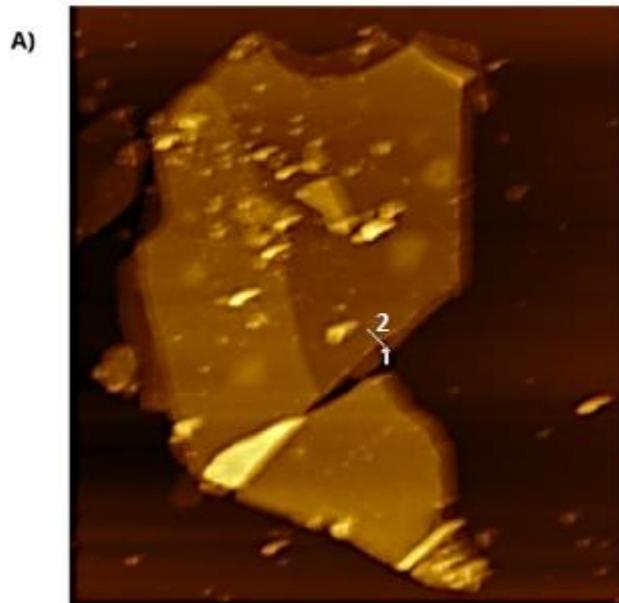


FIGURA 4 - A) Medida 1 da imagem de AFM de Vivianita esfoliada com fita azul (flocos 1); B) perfil da imagem.

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.



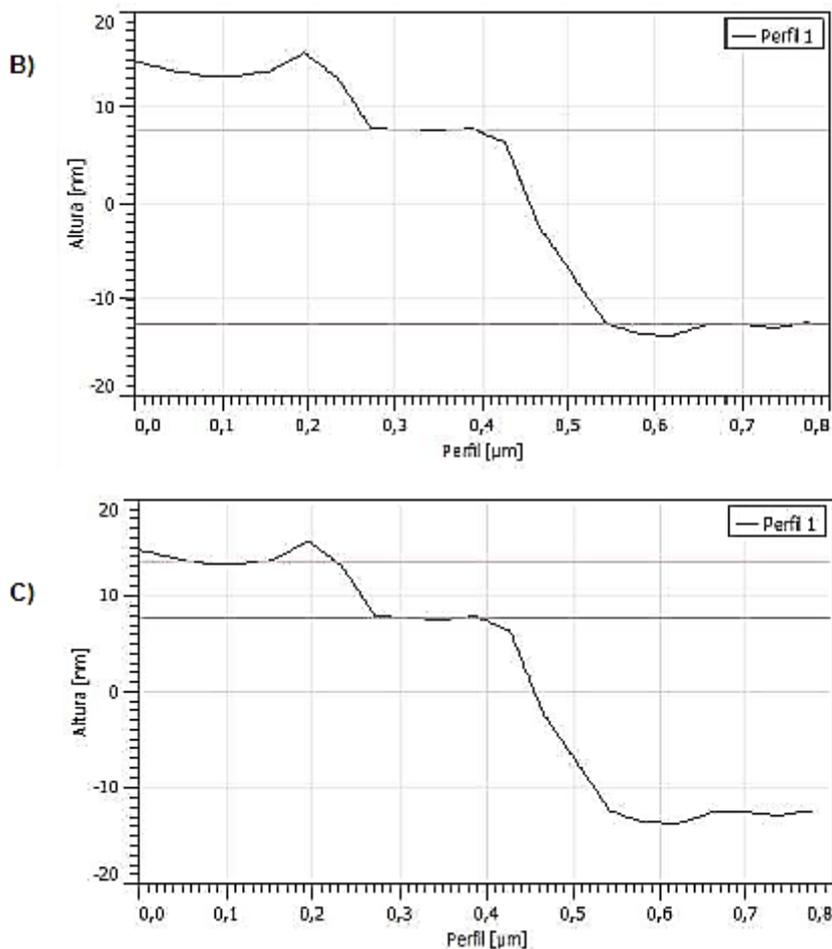


FIGURA 5 - A) Medida 1 da imagem de AFM de Vivianita esfoliada com fita azul (floco 2); B) perfil da imagem mostrando a altura 1; C) perfil da imagem mostrando a altura 2.

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Através dos resultados obtidos, é possível comprovar que o mineral Vivianita pode ser esfoliado com sucesso pelo método de esfoliação mecânica por fita, resultando em estruturas bidimensionais com espessura na escala de nanômetros. Com base nos resultados preliminares, a pesquisa pode ser continuada para a obtenção de estruturas bidimensionais de menor espessura, com o objetivo de alcançar monocamadas e explorar as novas propriedades e aplicações do material.

CONCLUSÕES:

A análise realizada na amostra de Vivianita alcançou os primeiros objetivos propostos, e os resultados foram positivos e conforme o esperado. O mineral Vivianita, composto por fosfato de ferro hidratado, pode ser esfoliado de maneira bem-sucedida por meio do método de esfoliação mecânica com fita, resultando em estruturas bidimensionais. Como parte das perspectivas para o trabalho futuro, há a intenção de aprimorar os processos de esfoliação, visando obter monocamadas bidimensionais de Vivianita, bem como realizar a caracterização detalhada das estruturas obtidas.

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.

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.

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.

HERRMANN, Paulo S. P; SILVA, Marcelo A. P. da; Fº, Rubens Bernardes; JOB, Aldo e; A COLNAGO, Luiz; FROMMER, Jane e; MATTOSO, Luiz H.C. **Microscopia de varredura por força: uma ferramenta poderosa no estudo de polímeros.** 1997.

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

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

MAK, K. F. et al. Atomically Thin MoS₂: A New Direct-Gap Semiconductor. Physical Review Letters, v. 105, n. 13, Sep 2010.

NOVOSELOV, K. S. et al. A roadmap for graphene. Nature, v. 490, n. 7419, p. 192-200, Oct 2012. ISSN 0028-0836.