

**Óxidos a base de sílica para remoção de corantes****Silica based oxides for dye removal**

DOI:10.34117/bjdv6n11-330

Recebimento dos originais:08/10/2020

Aceitação para publicação:16/11/2020

**Evellin Loane Pereira Araújo**

Estudante do Curso Técnico em Química

Instituição: Instituto Federal de Goiás – Campus Aparecida de Goiânia

Endereço: Av. Universitária Vereador Wagner da Silva Ferreira, Quadra 1, Lote 1-A S/N - Parque Itatiaia, Aparecida de Goiânia - GO, 74968-755

E-mail: evellin\_loane\_sma@hotmail.com

**Sara Linhares Musgo**

Estudante do Curso Técnico em Química

Instituição: Instituto Federal de Goiás – Campus Aparecida de Goiânia

Endereço: Av. Universitária Vereador Wagner da Silva Ferreira, Quadra 1, Lote 1-A S/N - Parque Itatiaia, Aparecida de Goiânia - GO, 74968-755

E-mail: saramusgo@gmail.com

**Lauro June Queiroz Maia**

Doutor em Ciências - Física Aplicada

Endereço: Universidade Federal de Goiás

Endereço: Avenida Esperança, 1533 - IF / UFG - Campus Samambaia  
CEP 74690-900

Goiânia/GO - Brasil

E-mail: lauro@ifg.edu.br

**Michelly Patrícia Santana de Almeida Fógia**

Doutora em Química

Instituição: Instituto Federal de Goiás – Campus Aparecida de Goiânia

Endereço: Av. Universitária Vereador Wagner da Silva Ferreira, Quadra 1, Lote 1-A S/N - Parque Itatiaia, Aparecida de Goiânia - GO, 74968-755

E-mail: michelly.fogia@ifg.edu.br

**Elaine Avles de Faria Braga**

Doutora em Química

Instituição: Instituto Federal de Goiás – Campus Inhumas

Endereço: Av. Universitária, Vale das Goiabeiras, Inhumas - GO, 75402-556

E-mail: elaine.faria@ifg.edu.br

**RESUMO**

Neste projeto foram produzidas amostras de sílica a partir da queima da casca de arroz (SiAr), que é um subproduto de baixo custo da agricultura. Após a síntese e caracterização, a superfície da SiAr foi modificada com a incorporação de etilenodiamina e um metal semiconductor, o nióbio, produzindo SiArEt e SiArNb, respectivamente. A amostra de SiArEt foi avaliada na adsorção e a amostra SiArNb

na fotodegradação do corante amarelo de tartrazina. Os pós foram caracterizados por DRX, FTIR e a quantidade de corante degradado e adsorvido foi determinada por espectroscopia de UV/Visível. Os resultados obtidos para ambas amostras mostraram uma boa degradação da solução do corante, indicando potencial aplicação, principalmente pelo custo do material obtido e por ser derivado de biomassa.

**Palavras-chave:** Nióbio, etilenodiamina, amarelo de tartrazina, fotodegradação, adsorção.

## **ABSTRACT**

In this project samples of silica were produced from the burning of rice husk (SiAr), which is a low-cost by-product of agriculture. After the synthesis and characterization, the surface of SiAr was modified with the incorporation of ethylenediamine and a semiconductor metal, niobium, producing SiArEt and SiArNb, respectively. The sample of SiArEt was evaluated in the adsorption and the sample of SiArNb in the photodegradation of the yellow dye of tartrazine. The powders were characterized by DRX, FTIR and the amount of degraded and adsorbed dye was determined by UV/Visible spectroscopy. The results obtained for both samples showed a good degradation of the dye solution, indicating potential application, mainly because of the cost of the material obtained and because it is derived from biomass.

**Keywords:** Niobium, ethylenediamine, tartrazine yellow, photodegradation, adsorption.

## **1 INTRODUÇÃO**

Desde meados do século XIX, a atividade industrial promove grandes alterações no meio ambiente, de modo que os resíduos descartados de forma irregular nos corpos hídricos simbolizam graves impactos ambientais. Logo, contaminantes químicos em grandes quantidades, tais como metais, corantes e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, são alguns dos principais meios de contaminação dos sistemas naturais na era da industrialização massiva, dos países em desenvolvimento (PANDOLI et al, 2015). Dentro desse contexto, o setor alimentício apresenta um especial destaque devido à geração de um volume maior de efluentes que se caracterizam por serem altamente coloridos (BONÂNCEA, 2005). Esses corantes são amplamente utilizados pela indústria de alimentos, visando principalmente conferir, restaurar ou intensificar a cor dos alimentos, de tal modo que, após o processamento, tenham uma aparência adequada, garantindo a padronização e possibilitando aumentar o número e a variedade de produtos industrializados. Esta adição é justificável, já que a cor é uma das primeiras qualidades sensoriais pelas quais os alimentos são julgados pelos consumidores, sendo associada com a qualidade, o sabor e até mesmo com o estado de conservação do alimento (KIMURA et al, 1999).

Os corantes apresentam grande diversidade estrutural que provém de diferentes grupos cromóforos e diferentes tecnologias de aplicação. Sendo constituídos por compostos do tipo aromáticos e heterocíclicos, na maioria das vezes compostos de difícil degradabilidade (BARCELOS et al, 2009). Nas indústrias alimentícias, farmacêuticas e de cosméticos, os corantes mais utilizados são o amarelo, seja o de tartrazina ou o crepúsculo. A remoção destes corantes de efluentes é muito

importante para o meio ambiente, pois, são considerados altamente tóxicos para a vida aquática, reduzindo a capacidade de oxigenação da água, dificultando a passagem de luz solar e, conseqüentemente, reduzindo a atividade fotossintética (DOTTO et al, 2011).

Diante disso, o desenvolvimento de técnicas como alternativas para a remediação ambiental de efluentes contaminados com substâncias químicas, sobretudo corantes, são a porta de entrada para mudanças nos paradigmas sociais, econômicos e ambientais (ARAÚJO, RODRIGUES, 2019). Estes meios inovadores baseiam-se na produção de ciência e tecnologia utilizando métodos biológicos, físicos ou químicos, com menor custo e ecologicamente viáveis para a remoção de corantes dos corpos hídricos. Um exemplo do método físico, consiste no uso de carvão mineral ativado como vantajoso adsorvente, pois apesar de ser usado no tratamento das águas também pode ser fonte de energia após o processo. A biomassa seca de plantas aquáticas também servem como adsorventes naturais para o controle da poluição da água (BARCELOS et al, 2009). Um outro exemplo de aplicação de biomassa, é a casca de arroz, utilizada como material adsorvente, mostrou-se uma alternativa promissora para o tratamento dos efluentes industriais na adsorção do corante azul de metileno (SILVA, SANTOS, 2019).

Os processos oxidativos avançados (POA), são um método químico que se baseia na geração de radicais livres, como a hidroxila ( $\text{OH}^\bullet$ ), agente altamente oxidante. Estes radicais gerados durante o processo são espécies altamente reativas, de pequena seletividade, que reagem com a maior parte das moléculas orgânicas e inorgânicas, onde após uma série de reações intermediárias, liberam como produtos finais:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  (MICHAELSEN et al, 2019). Os processos de formação destes radicais podem ser classificados em sistemas homogêneos ou heterogêneos, conforme a ausência ou a presença de catalisadores na forma sólida, além de poderem estar ou não sob irradiação ultravioleta (PANDOLI et al, 2015). Os POA apresentam uma série de vantagens: mineralizam o poluente e não somente o transferem de fase; são muito utilizados para compostos refratários, transformando-os em biodegradáveis; são sustentáveis a longo prazo; podem ser usados com outros processos (pré e pós-tratamento); tem forte poder oxidante, com cinética de reação elevada; geralmente não necessitam um pós-tratamento ou disposição final (SANTANA et al, 2009)

Dentre os sistemas homogêneos e heterogêneos, a fotocatalise heterogênea se destaca por ser uma tecnologia promissora no tratamento de efluentes industriais e na descontaminação ambiental (ZIOLLINI et al, 1998). O princípio da fotocatalise heterogênea, envolve reações redox pela irradiação de um fotocatalisador, que geralmente ocorrem na superfície de semicondutor inorgânicos tais como:  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ou  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  (PANDOLI et al, 2015; COLPINI et al, 2020).

Neste sentido, o desenvolvimento de novos processos de tratamento de efluentes, bem como a busca de novos catalisadores têm ganhado destaque no cenário científico atual. Desse modo, o uso de materiais de baixo custo, que são aqueles que se apresentam em abundância na natureza, subproduto

ou resíduo de alguma atividade industrial, se torna bastante acessível na descontaminação do meio ambiente de forma sustentável. Como exemplo de materiais de baixo custo, temos a casca do arroz, que é um material fibroso, composto basicamente por celulose, lignina e matéria orgânica. A cinza da casca de arroz, dependendo da temperatura de queima, pode conter um alto teor de sílica, cerca de 95% no estado amorfo, tornando-se assim um resíduo valorizado e utilizado em vários ramos como a química, eletrônica, cerâmica e construção civil (LOPES et al, 2015).

A sílica é um polímero inorgânico inerte, resistente, amorfo, com alta porosidade, que possui em sua superfície grupos silanóis que permite sua modificação química, no sentido de produzir novos materiais com outras aplicações tecnológicas diversas. Assim, a sílica desempenha um papel importante na função de suporte para uma ampla gama de substâncias com extensa aplicabilidade prática (PRADO et al, 2005). A modificação da sílica permite a obtenção de compostos de maior versatilidade e com propriedades específicas, relacionadas às espécies ligadas à sua superfície, portanto, a escolha da molécula funcional a ser imobilizada na sílica está diretamente associada ao tipo de utilização definido. Assim, esse trabalho visa estudar e avaliar a capacidade de adsorção e fotodegradação, da sílica obtida da queima da casca de arroz, promovendo sua modificação química por duas vias. Os testes de adsorção e fotodegradação serão realizados em soluções do corante alimentício, amarelo de tartrazina. Para avaliar a capacidade de adsorção da sílica da casca de arroz, primeiramente será realizada a modificação de sua superfície com um ligante orgânico, a etilenodiamina. Já na avaliação do grau de degradação de corante tem-se a incorporação de um semicondutor, o óxido de nióbio. Estas modificações visam, obter dois materiais com propriedades físico-químicas distintas e adequadas para cada método escolhido no tratamento dos resíduos industriais.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 OBTENÇÃO DA SÍLICA PELA CASCA DO ARROZ (SiAr)**

Para a obtenção da sílica, foi realizado um pré-tratamento químico, onde cerca de 30,0 g de casca de arroz foram dispersas em 1 litro de solução básica de hidróxido de sódio (NaOH) a  $2,0 \text{ molL}^{-1}$ . Esta suspensão permaneceu durante uma hora sob agitação magnética constante, para auxiliar na retirada de matéria orgânica presente na estrutura da fibra. Em seguida, a casca de arroz foi lavada e filtrada com água destilada para garantir a limpeza e o ajuste do pH, eliminando o caráter básico. Após secagem da casca de arroz, a mesma foi calcinada em forno tipo mufla à temperatura de  $700 \text{ }^\circ\text{C}$  por 24 horas, esse material inicial foi denominado SiAr.

## 2.2 SÍNTESE DA SÍLICA MODIFICADA COM ETILENODIAMINA (SiArEt)

Cerca de 5,0 g de SiAr foram levadas a estufa, sob temperatura de 150 °C durante 8 h para a remoção das águas de hidratação e ativação dos grupos Si-OH superficiais, visto que a água adsorvida bloqueia os grupos silanóis, impedindo sua reatividade.

Após a ativação, a SiAr foi transferida para um balão, onde foram adicionados 4,0 mL de 3-cloropropiltrimetoxissilano (CPTMS), utilizando-se 90,0 mL de tolueno como solvente. A reação ficou sob refluxo e agitação magnética constante por 8 horas.

Posteriormente, a sílica funcionalizada com CPTMS, foi filtrada e lavada com tolueno e etanol, e seca em estufa a 80 °C por 8 horas. Em seguida, a sílica funcionalizada foi adicionada a uma solução de 50,0 mL de tolueno e 5,0 mL de etilenodiamina. Essa suspensão foi novamente deixada em refluxo durante 24 horas, sob constante agitação. O material obtido foi filtrado e lavado com etanol e água, posteriormente foi seco a 80 °C durante 8 horas, sendo denominado de SiArEt.

## 2.3 INCORPORAÇÃO DE Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> A SÍLICA (SiArNb)

A incorporação do óxido de nióbio (Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) foi realizada com 5,0 g de SiAr, previamente tratada termicamente em estufa a 150 °C durante 8 h, para ativação da superfície. Após sua ativação, a SiAr foi colocada em um balão com uma solução contendo, 2,0 g de oxalato de nióbio (NH<sub>4</sub>[Nb(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>] (H<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>), dissolvidos em 10,0 mL de etanol anidro, e 50,0 mL de xileno como solvente. Esta reação ficou por 8 horas sob refluxo em banho de óleo, com agitação magnética constante. Decorrido este tempo a sílica foi filtrada, lavada com etanol e seca a 400 °C, em mufla por 24 horas, e o material obtido foi denominado SiArNb.

## 2.4 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SiAr E SiArEt

A medida de difração de raios X (DRX) foi realizada em um difratômetro *Bruker D8 Discover*. Utilizou-se radiação monocromática de um tubo com anodo de cobre acoplado a um monocromador *Johansson* para K $\alpha$ <sub>1</sub> operando em 40 kV e 40 mA. A configuração Bragg-Brentano  $\theta$ - $2\theta$ , com detector unidimensional *Lynxeye*®, no intervalo em  $2\theta$  de 2° a 50°, com passo de 0,005°. A amostra de SiAr foi mantida em rotação de 15 rpm durante a medida para minimizar os efeitos de orientação preferencial.

As amostras de SiAr e SiArEt foram caracterizadas por espectroscopia na região do infravermelho (FT-IR) em um espectrofotômetro da Bruker Vertex 70. As amostras foram preparadas em pastilhas, com concentrações de aproximadamente 1% da amostra em KBr e os espectros foram adquiridos no intervalo espectral de 400 – 4000 cm<sup>-1</sup>, com uma resolução de 4 cm<sup>-1</sup>, sendo cada espectro o resultado da média de 64 medidas.

Espectros de refletância difusa foram coletados para as amostras na forma de pó, de SiAr e SiArNb, na faixa espectral de 250 nm a 1800 nm empregando um espectrômetro da marca PerkinElmer modelo Spectrometer Lambda 1050 UV/Vis/NIR usando o acessório Praying Mantis.

Utilizando os espectros de refletância difusa e a equação (1), determinou-se o valor do *band gap* óptico ( $E_g$ ) de cada amostra:

$$F(R) = A(h\nu - E_g)^m / h\nu, \quad (1)$$

onde  $F(R) = (1 - R)^2 / 2R$  é a função de Kubelka-Munk, (KUBELKA e MUNK, 1931; ESCOBEDO MORALES et al., 2007)  $A$  é uma constante,  $R$  é a razão entre a refletância difusa da amostra na forma de pó e do material de referência (pó de BaSO<sub>4</sub>, utilizado como recebido da Sigma-Aldrich),  $h\nu$  é a energia do fóton incidente, e  $m$  é igual a 1/2 ou 2 para transições de *band gap* direto e indireto, respectivamente. O valor do *band gap* direto foi obtido extrapolando a parte linear crescente de  $(F(R)h\nu)^2$  versus  $h\nu$  e o *band gap* direto é o valor para  $(F(R)h\nu)^2$  igual a zero. (PIMENTA et al., 2019).

## 2.5 AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO PARA A SiArEt

O processo de adsorção foi realizado em batelada sob agitação constante, a 25 °C por um período de 16 h. Uma série de amostras com 50,0 mg de SiArEt foram suspensas em 50,0 ml de solução aquosa do corante amarelo de tartrazina, estas com concentração 30,0 ppm em diferentes intervalos de tempo. A quantidade adsorvida do corante foi determinada por espectrofotômetro BEL-Engineering modelo UV-M51, e todas as amostras foram analisadas em triplicata.

## 2.6 AVALIAÇÃO DA FOTODEGRADAÇÃO HETEROGÊNEA DA SiArNb

Para os testes fotocatalíticos foram adicionadas 50,0 mg do sólido SiArNb, em um béquer contendo 100,0 mL da solução do corante a 30,0 mg/kg, a suspensão foi levada ao foto-reator ilustrado na Figura 1. A suspensão ficou sob agitação magnética e irradiação de lâmpada de vapor de mercúrio de 125 W. Alíquotas de 2,0 mL foram coletadas em diversos períodos de tempo, com intervalos de 30 minutos, até as reações completarem 3 h. A quantidade de corante degradado foi determinada utilizando espectrofotômetro e todas as amostras foram analisadas em triplicata.

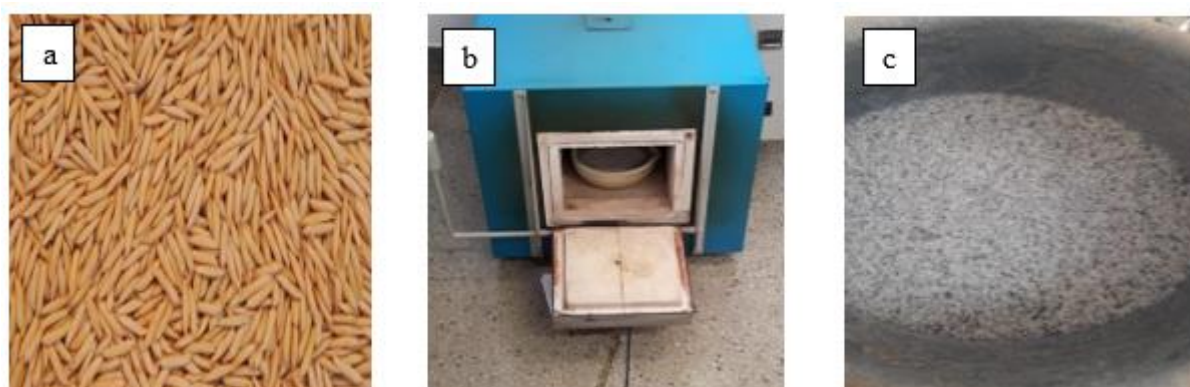
Figura 1. Imagem do foto-reator construído para os testes fotocatalíticos (a) e da lâmpada de vapor de mercúrio utilizada (b).



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

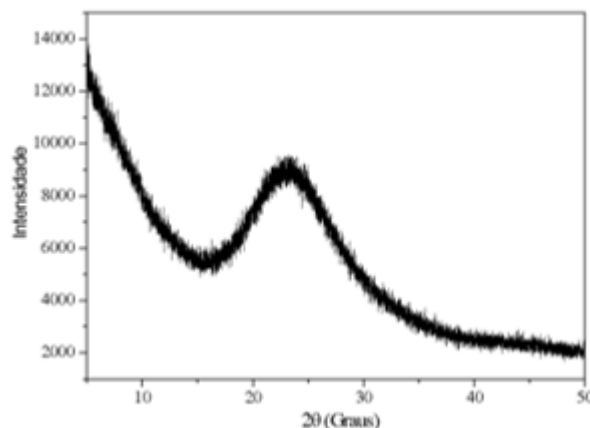
A matéria-prima usada nesse trabalho foi a cinza obtida do processo de calcinação da casca de arroz (Figura 2a). Como descrito nos procedimentos, esta passou etapas de: trituração, pré-tratamento químico com NaOH (remoção da matéria orgânica: lignina, hemicelulose e outras impurezas), lavagem e filtragem (limpeza e ajuste de pH, ficando este próximo a neutro) e calcinação em mufla à temperatura de 700 °C por 24 horas (Figura 2b), até a obtenção do pó, denominado SiAr, precursor para as seguintes funcionalizações (Figura 2c).

Figura 2. Casca de arroz antes da calcinação (a); calcinação em mufla a 700 °C/24 h (b) e cinza de SiAr após a calcinação (c).



A fim de obter informações estruturais da sílica produzida presente na cinza, as técnicas de difratometria de raios X (DRX) e espectroscopia no infravermelho (FT-IR) foram empregadas. A Figura 3 apresenta o difratograma de raios X da sílica obtida da casca de arroz, após calcinação a 700 °C/24h, pode-se observar a presença de um halo (entre 15,0° a 35,0°) característico de material amorfo, com máximo em 22,5° de 2θ, sem a presença de picos de difração de fases cristalinas (LIMA et al., 2011).

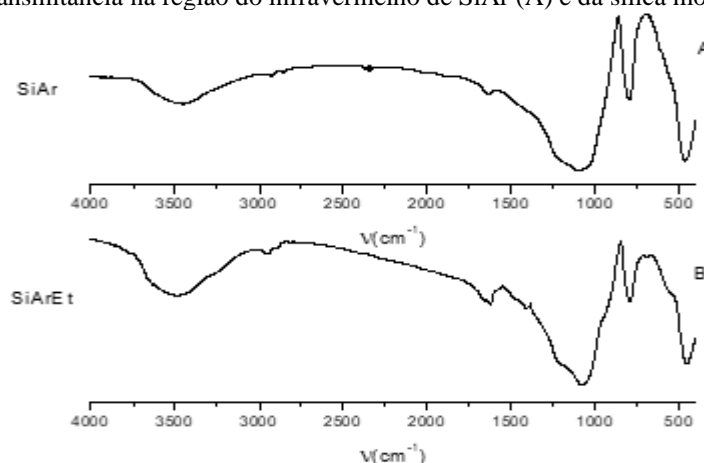
Figura 3. Difratoograma de raios X da cinza de SiAr, após a calcinação a 700 °C/24 h.



Para a obtenção da amostra de SiArEt, a sílica ativada termicamente foi clorada através da reação com a SiAr com o CPTMS. Esta reação possibilita a substituição dos grupos OH por Cl na superfície da sílica. Posteriormente, a molécula de etilenodiamina foi imobilizada na superfície da sílica, para a obtenção do material quelante SiArEt. Os espectros apresentados na Figura 4, indicam o sucesso das reações de funcionalização realizadas durante os experimentos.

Observando os espectros obtidos de SiAr (Figura 4a) e SiArEt (Figura 4b), pode-se notar uma pequena diferença em relação ao número e as intensidade relativas das bandas. Todos os espectros apresentam picos característicos da estrutura da sílica, tais como: i) uma banda larga entre 3750 a 3000  $\text{cm}^{-1}$ , a qual é atribuída ao estiramento O-H dos grupos silanois e, também, à água remanescente adsorvida; ii) dois picos intensos relacionados aos estiramentos assimétricos dos grupos siloxanos ( $\square_{\text{as}}$  Si-O-Si) em 1200 e 1100  $\text{cm}^{-1}$ ; iii) uma banda relacionada ao estiramento silanol Si-OH em 900  $\text{cm}^{-1}$ ; iv) uma banda em 920  $\text{cm}^{-1}$ , atribuída ao estiramento simétrico dos grupos siloxanos ( $\square_{\text{s}}$  Si-O-Si); v) um pico relacionado à vibração ( $\square$  O-Si-O) em 480  $\text{cm}^{-1}$  e vi) uma banda em torno de 1650  $\text{cm}^{-1}$ , atribuída às vibrações angulares das moléculas de água. No entanto, a sílica SiArEt apresenta um pico característico em 2950  $\text{cm}^{-1}$ , relacionado ao estiramento C-H de carbono tetraédrico, o qual confirma o ancoramento da molécula de etilenodiamina na superfície da SiAr (FARIA et al, 2008).

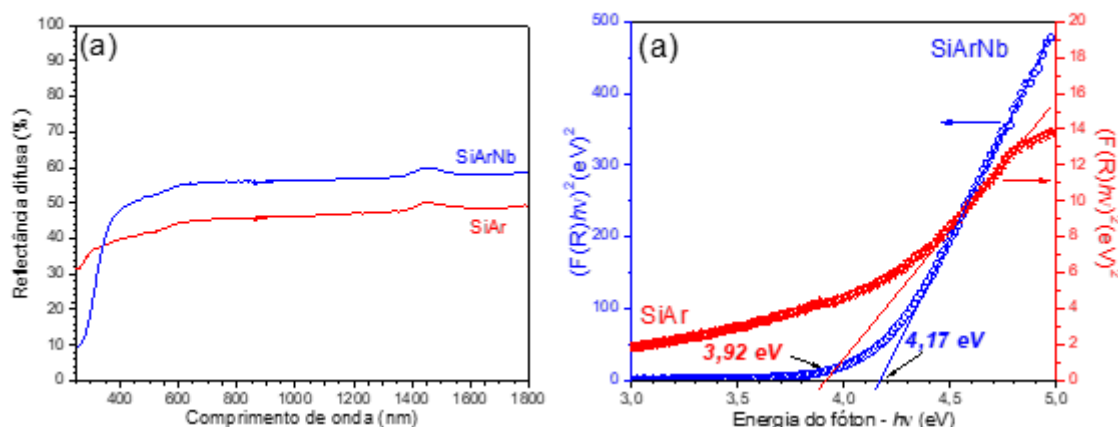
Figura 4. Espectro de transmitância na região do infravermelho de SiAr (A) e da sílica modificada com SiArEt (B).





Os espectros de refletância difusa dos pós tratados termicamente a 400°C/24h, para as amostras de SiAr e SiArNb estão dispostos na Figura 5 (a e b). Pode-se observar reflectância próxima de 45% para a amostra de SiAr em 633 nm, já para a amostra SiArNb, dopada com o íon nióbio a reflectância aumenta para em torno de 55% em 633 nm, indicando uma modificação física com a inserção do íon na matriz. A incorporação do íon de Nb<sup>5+</sup>, altera inclusive o valor do *band gap* das amostras, o pó de SiAr possui *band gap* de 3,92 eV e o pó de SiArNb apresenta o valor de *band gap* ligeiramente maior (sendo de 4,17 eV), mostrando-se também dielétrica. O Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> é considerado um material semiconductor, mas de *band gap* alto. A incorporação do Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> não afeta significativamente o *band gap*, mas torna o composto mais refletor na região de 350 a 1800 nm e permite uma maior absorção de radiação na faixa 250 a 350 nm.

Figura 5. Espectros de refletância difusa das amostras SiAr e SiArNb tratados termicamente a 700°C/24h (a), com seus respectivos *band gap* (b).

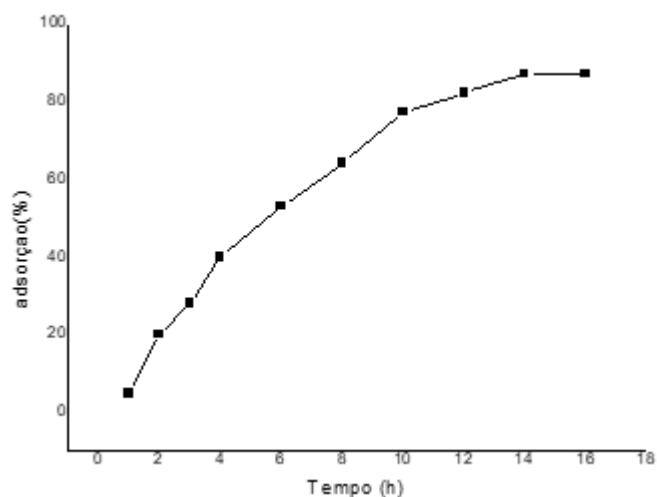


A partir da sílica orgânica (SiArEt), foram realizados estudos de adsorção do corante amarelo de tartrazina em meio aquoso. As adsorções foram feitas em um período de 16 horas sob agitação constante a temperatura ambiente, com soluções do corante com concentrações de 30,0 mg.L<sup>-1</sup>, alíquotas foram retiradas em diferentes intervalos de tempo. A Tabela 1 e a Figura 6, apresentam a porcentagem e o gráfico de adsorção do corante, pode-se observar que a presença de etilenodiamina na superfície da sílica atua com um bom adsorvente para o amarelo de tartrazina, sendo que consegue absorver uma boa quantidade do corante cerca de 21,3 mg/kg, quando a reação atinge o equilíbrio, o que comprova a grande eficiência do material produzido, com 87,0% de adsorção do corante em solução aquosa.

Tabela 1. Dados de adsorção em porcentagem do corante amarelo de tartrazina.

Tempo (h)	Corante [mg.L <sup>-1</sup> ]	Corante adsorvido (%)
1	1,4	5,0
2	5,0	20,0
3	7,0	28,0
4	9,90	40,0
6	13,0	53,0
8	15,8	64,0
10	18,9	77,0
12	20,0	82,0
14	21,3	87,0
16	21,3	87,0

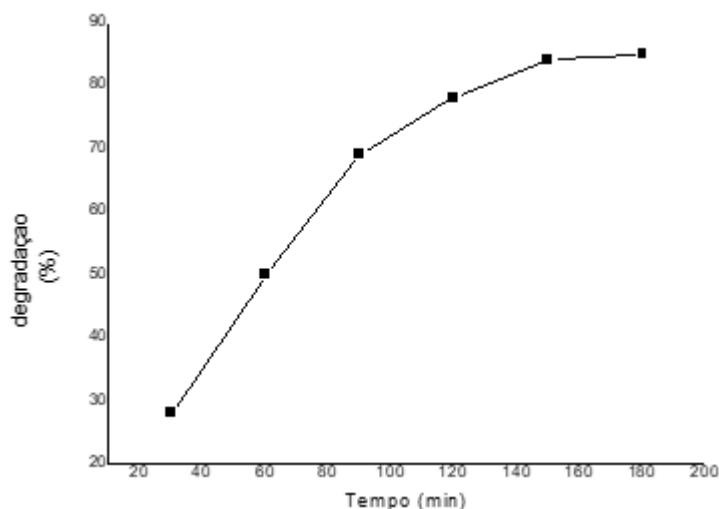
Figura 6: Adsorção do corante amarelo de tartrazina na SiArEt em função do tempo. A linha foi utilizada para guiar os olhos.



Na síntese do catalisador inorgânico SiArNb, a sílica SiAr ficou sob refluxo com uma solução de etanol e oxalato de nióbio em xileno por 8 horas. Após esse tempo a sílica foi filtrada e lavada com água e etanol e seca em mufla por 8 horas a 400 °C.

A atividade fotocatalítica para a amostra de SiArNb em função do tempo é mostrada na Figura 7. Observa-se que a atividade fotocatalítica, atinge o máximo de 82,0% de degradação, após 3 horas de foto-reação para o corante amarelo de tartrazina. A fotodegradação heterogênea deve ocorrer na interface sólido-líquido, no momento que o corante for adsorvido na superfície do Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, o qual apresenta um *band gap* determinado utilizando o espectro de refletância difusa de 4,17 eV. Assim, a velocidade de degradação do corante depende da adsorção e da habilidade fotocatalítica do sólido.

Figura 7. Porcentagem da fotodegradação do amarelo de tartrazina na presença de SiArNb em função do tempo de irradiação com luz ultravioleta da lâmpada de vapor de mercúrio operando com 125 W. A linha foi utilizada para guiar os olhos.



#### 4 CONCLUSÃO

A produção de sílica amorfa obtida a partir da cinza da casca de arroz, foi confirmada pelo difratograma de raios X, que revelou a presença de um halo largo (entre  $15,0^\circ$  a  $35,0^\circ$ ) característico de material desordenado (sem ordem a longo alcance). As obtenções dos sólidos SiArEt e SiArNb mostraram ser totalmente viáveis. As caracterizações confirmaram a presença de sítios básicos e a incorporação de  $Nb_2O_5$  na superfície da sílica, ambos apresentaram uma boa atividade de adsorção e de fotodegradação do corante amarelo de tartrazina, com resultados mais eficientes de 87% e 84%, respectivamente. Os estudos mostram que os materiais obtidos são muito promissores para serem aplicados na remoção de contaminantes em efluentes aquáticos.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio institucional do NUQMMA, IFG e IF-UFG e suporte financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), e as medidas de difração de raios X realizadas no CRTi-UFG.

**REFERÊNCIAS**

- ARAÚJO H. N.; RODRIGUES, E. C. Verificação do perfil espectrofotométrico de soluções aquosas de corantes provenientes da lavagem de tecido jeans utilizando luz ultravioleta e percarbonato de sódio. v. 5, n. 4, 2759-2769, Braz. J. of Develop., 2019.
- BARCELOS, I. O; GIOVANELLA, R. F; CHIARELLO. L. M; BLOSFELD. A, M. Remoção de cor de corantes reativos com cinza de casca de arroz. Dynamis revista técnico-científica, Vol. 28, 1-6, 2009.
- BONÂNCEA, C. E. Estudo dos mecanismos de fotodegradação de corantes sobre dióxido de titânio através de técnicas da espectroscopia Raman intensificadas. Dissertação de mestrado, São Paulo, 2005.
- COLPINI, L. M. S.; REAL, L. R.; MAKUDA, J. L.; NICOLINI, M. V. S.; ABREU, E. Descoloração do corante azul de metileno utilizando sistemas Nb2O5/UV e Nb2O5/solar, v. 6, n. 5, 30859-30880, Braz. J. of Develop., 2020.
- DOTTO, G. L.; VIEIRA, M. L. G.; GONÇALVES, J. O.; PINTO, L. A. A. Remoção dos corantes azul brilhante, amarelo crepúsculo e amarelo tartrazina de soluções aquosas utilizando carvão ativado, terra ativada, terra diatomácea, quitina e quitosana: estudos de equilíbrio e termodinâmica. v. 34, n. 7, 1193-1199, Quim. Nova, 2011.
- ESCOBEDO MORALES, A.; SANCHEZ MORA, E.; PAL, U. Use of diffuse reflectance spectroscopy for optical characterization of un-supported nanstructures., v.S53, 18-22, Revista Mexicana de Física, 2007.
- FARIA, E. A. H. F. RAMALHO, J. S. MARQUES, P. A. Z. SUAREZ, A. G. S. PRADO. Tetramethylguanidine covalently bonded onto silica gel surface as na Efficient and reusable catalyst for transesterification of vegetable oil, v. 338, 72-78, Applied Catal., 2008.
- KIMURA, I. Y.; GONÇALVES JUNIOR, A. C.; STOLBERG, J.; LARANJEIRA, M. C. M.; FÁVERE, V. T. Efeito do pH e do Tempo de Contato na Adsorção de Corantes eativos por Microesferas de Quitosana. v. 9, 51-57, Polímeros: Ciência e Tecnologia 1999.
- KUBELKA, P.; MUNK, F. Ein Beitrag Zur Optik Der Farbanstriche. v. 12, 593-601, Zeitschrift für Technische Physik, 1931.
- LIMA, S. P. B.; VASCONCELOS, R. P.; PARIVA, O. A.; CORDEIRO, G. C.; CHAVES, M. R. M. Production of silica gel from residual rice husk ash. Quim. Nova, v. 34, n. 1, 71-75, 2011.
- LOPES, O. F; MENDONÇA, V. R; SILVA, F. B. F; PARIS, E. C; RIBEIRO, C. Óxidos de nióbio: um visão sobre a síntese do Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e sua aplicação em fotocatalise heterogênea. v.38, n. 1, 106-117, Quím. Nova, 2015.
- MICHAELSEN, A.; LAUX, P.; SOUZA, T. D.; OGRODOWSKI, C. S. Estudo da reação fotocatalítica na degradação de compostos fenólicos em efluente, v. 5, n. 12, p. 31352-31359, Braz. J. of Develop., 2019.
- PANDOLI, O; DEL ROSSO, T; SANTOS, M. V; REZENDE, R. S; MARINKOVIE, B. A. Prototipagem de microrreatores fotocatalíticos e testes de fotodegradação de corantes orgânicos. v. 38, n. 1, 1-5, Quím. Nova, 2015.

PIMENTA, J.O.; FABRIS, Z.V.; MAIA, L.J.Q. Blue photoluminescence behavior in  $Tm_xY_{1-x}Al_3(BO_3)_4$  nanopowders and structural correlations. V.247, 114383, Materials Science & Engineering B, 2019.

PRADO, A. G. S., FARIA, E. A., PADILHA, P. M.; Aplicação e modificação química da sílica gel obtida de areia. Quim. Nova, v. 28, n. 3, 544-547, 2005.

SILVA, M. B.; SANTOS, J. H. P. Estudo experimental do uso da casca de arroz na adsorção do azul de metileno, v. 5, n. 10, 19389-19394, Braz. J. of Develop., 2019.

SANTANA, H.; CERVANTES, T. N. M.; ZAIA, D. A. M. Estudo da fotocatalise heterogênea sobre Ti/TiO<sub>2</sub> na descoloração de corantes sintéticos, v. 32, n. 9, 2423-2428, Quim. Nova, 2009.

ZIOLLI, R. L.; JARDIM, W. F. Mecanismo de Fotodegradação de Compostos Orgânicos Catalisada por TiO<sub>2</sub>. v.21, n. 3, 319-325, Quím. Nova, 1998.