

TRANSFERÊNCIA DE MASSA POR MEIO DE DIFUSÃO EM CORPOS POROSOS: APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

MASS TRANSFER THROUGH DIFFUSION IN POROUS BODIES: INDUSTRIAL APPLICATIONS

AMANDA LUIZA SOARES DE **MORAIS**¹, RAGILA SABRINA FERNANDES **PEREIRA**¹, TIAGO MARCEL **OLIVEIRA**^{2*}

1. Acadêmico do curso de graduação do curso Engenharia Química da Faculdade Única de Ipatinga; 2. Professor Mestre em Engenharia Industrial, Disciplina Transferência de massa do curso de Engenharia Química da Faculdade Única de Ipatinga.

*Rua Efigênia Moreira Quirino, 154, Nossa Senhora da Penha, Coronel Fabriciano, Minas Gerais, Brasil. CEP: 35170-072.
tiagomarc10@yahoo.com.br

Recebido em 23/06/2021 Aceito para publicação em 27/08/2021

RESUMO

O presente trabalho é uma revisão bibliográfica sobre o mecanismo de transferência de massa por meio da difusão em corpos porosos. Por meio deste, foi descrito a importância da porosidade nos materiais, classificando os tipos e diâmetros dos poros. Ainda, foi mencionado o conceito de densidade e o cálculo de porosidade. Além disso, foi citado os mecanismos de difusão, sendo, a difusão por lacunas, intersticial e o mecanismo de anel. O principal objetivo do trabalho foi compreender o mecanismo de difusão em corpos porosos por meio de sua aplicação, descrevendo a obtenção de cerâmicas porosas por meio da argila. Para atingir tais objetivos foram realizadas pesquisas em artigos científicos, em bases de dados, como o Google Acadêmico, Scielo, dissertações e monografias. Foram utilizadas informações publicadas do ano de 2004 até o ano de 2019.

PALAVRA-CHAVE: Difusão, porosidade, mecanismo, transferência de massa, cerâmica.

ABSTRACT

The present work is a literature review on the mass transfer mechanism through diffusion in porous bodies. Through this, the importance of porosity in materials was described, classifying the types and diameters of pores. Also, the concept of density and the calculation of porosity were mentioned. Furthermore, the diffusion mechanisms were mentioned, namely, the gap diffusion, the interstitial and the ring mechanism. The main objective of the work was to understand the diffusion mechanism in porous bodies through its application, describing the obtainment of porous ceramics through clay. To achieve these goals, research was carried out in scientific articles, in databases such as Google Scholar, Scielo, dissertations and monographs. Information published from the year 2004 to the year 2019 was used.

KEYWORD: diffusion, porosity, mechanism, mass transfer, ceramic.

1. INTRODUÇÃO

O fenômeno de transferência de massa é compreendido por meio do transporte de moléculas de

uma região de alta concentração para uma região de baixa concentração, por meio do gradiente de concentração. Esse fenômeno pode ser visto na indústria, laboratório, na cozinha e por meio do corpo humano¹.

A transferência de massa em corpos porosos ocorre em muitos materiais do cotidiano, como por exemplo, em tijolos, tecidos, filtros, carvão, entre outros. Esses materiais possuem poros em sua estrutura e as suas dimensões podem ser vistas somente por meio de microscópios com excelente resolução².

A porosidade dos materiais confere características vantajosas e também desvantagens aos mesmos. Como vantagem, existe um leque de aplicações devido ao diâmetro dos poros, como na aplicação industrial de materiais porosos no tratamento de água, por exemplo. A desvantagem desse tipo de material é o fato de poros com um diâmetro muito grande, de forma descontrolada, causar trincas nos materiais dependendo do tipo de aplicação³.

O mecanismo de difusão é um importante fenômeno e ocorre em escala atômica, por meio da movimentação dos átomos. O mecanismo de transferência de massa em corpos porosos pode ser entendido por meio da difusão molecular (Fick ou ordinária) e também por meio da difusão de Knudsen, que será apresentada ao longo do estudo⁴.

O objetivo do artigo é compreender o mecanismo de transferência de massa por meio da difusão em corpos porosos, descrevendo a difusão de Fick e a difusão de Knudsen. Além disso, por meio do artigo será possível conhecer as aplicações industriais desse mecanismo de transferência, destacando a obtenção de cerâmicas porosas por meio da argila.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Esse artigo é uma revisão bibliográfica que aborda o mecanismo de transferência de massa, evidenciando a difusão em corpos porosos. Foi mencionado como funciona a movimentação dos átomos durante a transferência de massa, abordando os mecanismos de difusão. Para exemplificar o fenômeno de transferência

por meio da difusão, foi abordado aplicações industriais, destacando a obtenção de cerâmicas porosas a partir da argila. Para atingir tais objetivos, foram realizadas pesquisas em artigos científicos, em bases de dados como Google Acadêmico, Scielo, dissertações e monografias. Foram utilizadas informações publicadas do ano de 2004 até o ano de 2019. Foram utilizadas as palavras chaves: difusão, porosidade, mecanismo, transferência de massa, cerâmica.

Os estudos realizados estavam relacionados diretamente com o tema, de acordo com as bases de dados escolhidas. Buscou-se revisões e estudos que proporcionassem melhor conhecimento sobre o tema proposto pelo artigo desenvolvido, sendo essenciais para melhor entendimento das características físico-químicas de um material poroso e suas aplicações industriais.

3. DESENVOLVIMENTO

Porosidade

A porosidade é uma característica de diversos materiais presente no cotidiano. E o que classifica a porosidade de um sólido são os espaços vazios presente no material no qual pode-se passar líquido ou gás. Alguns exemplos de materiais porosos são areia, solo e alguns tipos de pedras, esponjas, cerâmicas, espuma, tijolos, filtros, carvão, dentre outros⁵.

Além disso, os materiais porosos apresentam poros de tamanhos diferentes o que confere a esses, propriedade e aplicações variadas. Materiais com poros menores por exemplo, apresentam baixa porosidade o que pode acarretar em menor permeabilidade. Já os poros maiores possuem alta porosidade, como também apresentam facilidade na passagem de gás ou líquido o que o permite ser mais permeável⁶.

Ademais, as aplicações industriais dos materiais porosos são muito extensas, pode-se citar: tratamento de água, refino de petróleo, fabricação de cerâmicas entre outros. Sendo assim, é de extrema importância o estudo sobre esse material, pois a porosidade apresenta vantagens e desvantagens. Sendo a desvantagem, as trincas, que são causadas por presença desordenada de poros, ocasionado em tensões estruturais⁷.

Não obstante, como vantagem pode-se citar como exemplo o processo endotérmico que ocorre em filtros de barros, a presença de pequenos poros permite que a água atravesse e evapore retirando então o calor da vizinhança, purificando a água, sendo melhor para o consumo⁸.

Tipos e diâmetros de poros

A formação do material e a distribuição do diâmetro dos poros é uma característica importante para o comportamento do sólido, pois exerce influência nas propriedades físicas do material, como a resistência mecânica. Os poros também atuam como concentradores de tensão, o que contribui ainda mais em suas dimensões⁹.

Os sólidos podem possuir três classificações que são microporos que tem influência na retração e fluência do material, mesoporos e macroporos que exerce influência

na resistência e permeabilidade.

De acordo com Maxwell (2018)¹⁰, os microporos são denominados assim por possuírem diâmetro menores que 2 µm, os mesoporos tem diâmetro variando entre 2 a 50 µm e os macroporos, recebem essa classificação por possuírem diâmetro maiores que 50 µm.

A classificação dos materiais com relação ao diâmetro dos poros pode ser vista por meio da tabela abaixo.

Tabela 1. Classificação dos poros

| Classificação | Tamanho do poro |
|---------------|-------------------------|
| Microporos | Diâmetro < 2 Nm |
| Mesoporos | 2 Nm < Diâmetro < 50 Nm |
| Macroporos | Diâmetro > 50 Nm |

Fonte: KERBER *et al.*, 2013¹¹

Densidade e cálculo de porosidade de sólidos porosos

Para a análise de densidade de sólidos porosos deve-se considerar os espaços vazios, e por isso esses materiais costumam apresentar baixa densidade pois possuem baixo peso e grande área superficial, sendo necessário encontrar a densidade real e aparente¹².

Para calcular a densidade real, usa-se uma balança analítica com alta precisão para determinar a massa, já para determinar o seu volume real usa-se um aparelho que se chama picnômetro a gás, que utiliza o gás hélio para adentrar nos espaços vazios do sólido, tornando mais fácil descobrir o volume real¹³.

De acordo com Cesar *et al.* (2004)¹⁴ para encontrar a densidade aparente do material será necessário calcular sua massa e o seu volume, mas nesse caso o volume pode ser calculado de uma forma mais simples, envolvendo o sólido de plástico a fim de considerar o volume ocupado pelos poros e o colocando em um recipiente para obter o volume de água deslocado. Após encontrar a massa e volume em ambos experimentos, só resta fazer o cálculo de densidade real e aparente. Sabendo a densidade se torna possível fazer o cálculo de porosidade do material, para esse cálculo será necessário usar a fórmula descrita abaixo:

$$P = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_r} = 1 - \frac{\rho_{ap}t}{\rho_r t}$$

Por meio dessa equação é possível obter a porosidade através da divisão da densidade aparente pela densidade real, onde a ρ_{ap} é a densidade aparente, ρ_r é a densidade teórica e ρ_r é a densidade real.

Conforme estudos de Plucenio (2016)¹⁵, a porosidade também pode ser calculada de acordo com a equação descrita abaixo. Por meio desta, é possível encontrar a porosidade através da divisão do volume presente nos poros pelo volume total do sólido. A equação relaciona V_p que é o volume total e V_s é o volume real.

$$P = \frac{V_p}{V_p + V_s}$$

Mecanismos de difusão

O processo de difusão é um importante fenômeno de transporte de matéria que ocorre em escala atômica. Da perspectiva atômica, o movimento dos átomos ocorre por meio da migração. Os átomos de gases, líquidos e sólidos estão em constante movimentação. Para ocorrer o movimento dos átomos, é necessário que haja espaço livre entre eles, além disso, é ideal que os átomos possuam energia suficiente para quebrar as ligações químicas existentes que une um átomo ao outro¹⁶.

De acordo com o estudo de Bregolin (2008)¹⁷, há dois tipos básicos de migração dos átomos. O primeiro deles envolve o deslocamento dos átomos em lacunas vazias na rede estrutural do átomo, denominado difusão substitucional ou por lacunas. Neste mecanismo, a movimentação dos átomos se baseia de uma posição a outra dependendo da energia de vibração disponível, sendo está a energia térmica dos átomos.

Outro mecanismo básico de movimentação dos átomos é o mecanismo intersticial que se dá quando os átomos se movem de uma posição intersticial a outra vizinha sem que haja o movimento dos átomos da matriz estrutural. Para que esse movimento aconteça, é necessário que os átomos de difusão sejam de tamanho menores que os átomos da matriz. Esse tipo de mecanismo é comum ocorrer entre os átomos de hidrogênio, oxigênio, carbono e nitrogênio, em sólidos cristalinos¹⁸.

Outro tipo de mecanismo de difusão em sólidos é o mecanismo de anel, sendo este um dos mecanismos mais raros, devido as suas particularidades. Para que aconteça esse mecanismo de difusão, é necessário que haja o movimento dos átomos de forma simultânea, considerando assim, o movimento de rotação de três ou quatro átomos ao mesmo tempo. Além disso, o alto de nível de energia para que ocorra essa movimentação dos átomos, faz com isso seja a maior dificuldade desse mecanismo de difusão¹⁹.

De acordo com o estudo de Arruda, *et al* (2017)²⁰, um ponto importante do mecanismo de difusão é que dificilmente ocorrerá em um material puro, monofásico, já que o movimento dos átomos é ao acaso. Entretanto, caso haja essa movimentação, ela ocorrerá em isótopos radioativos, sendo possível identificar a difusão atômica dentro da própria estrutura do átomo, recebendo o nome de autodifusão. Ainda, ressalta-se que o mecanismo de difusão, a temperatura no qual ocorre a difusão, tipo de estrutura, tipo e quantidade de imperfeições na estrutura do átomo, influenciam de forma direta no coeficiente de difusão, sendo este, a taxa de dissolução do soluto no solvente. Este coeficiente, se dá pela equação de Arrhenius, representada abaixo. Sendo que a equação relaciona o fator de frequência, com a energia de ativação, temperatura e a constante dos gases.

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

Difusão em corpos porosos

A transferência de massa através da difusão se dá por meio de um elemento sólido, através dos poros do material. O processo de difusão se caracteriza pelo transporte de matéria de uma região de maior concentração, para outra região de menor concentração, tendo como resultados o movimento das moléculas de forma aleatória. Esse movimento é gerado por gradientes de concentrações²¹.

Durante a transferência de massa por difusão, há a colisão das partículas em difusão com o fluido em que estão imersas. Além disso, o fluido em que se encontra o material, pode estar em repouso ou fluindo²².

O processo de difusão em materiais porosos relaciona-se com a dimensão dos poros e a concentração em que se encontram, dependendo da sua matriz sólida. Com isso, há a difusão molecular (Fick ou ordinária), difusão de Knudsen e difusão superficial, sendo que o foco de estudo serão os dois primeiros tipos de difusões²³.

A difusão molecular (Fick ou ordinária) ocorre devido ao tamanho dos pores do material, sendo esses muito maiores do que o caminho médio das moléculas. Esse tipo de mecanismo, é o mais dominante entre os materiais macroporos. Para melhor entendimento, a difusão molecular, pode ser entendida pela Lei de Fick, representada pela equação 1²⁴.

Essa lei demonstra o transporte das moléculas por meio da diferença de concentração, onde numa região há uma maior concentração de A e em outra região uma menor concentração de B, nesse caso, o transporte de A será maior para a região de B. Ou seja, haverá colisão das partículas até que em ambas as regiões haja a mesma concentração, de forma uniforme²⁵.

$$J = -D \frac{dC}{dx}$$

A equação relaciona a concentração molar e o coeficiente de difusão, que é tabelado. O sinal negativo da equação representa o decréscimo da concentração da espécie A em sentido do fluxo B.

O mecanismo de difusão de Knudsen caracteriza-se pela colisão das moléculas do gás nas paredes dos poros, o que diferencia da difusão molecular, onde há a colisão entre as moléculas. O motivo das colisões com as paredes dos poros se dá devido as dimensões dos mesmos, sendo mais estreitos. Ainda, a baixa pressão também é um fator que influencia para a ocorrência da difusão de Knudsen, se tratando de gases leves²⁶.

O movimento das moléculas durante a colisão ao longo de um segmento de reta, ligando uma parede a outra, de forma paralela. A difusão de Knudsen é melhor entendida pelo seu coeficiente, de acordo com a equação a baixo, que relaciona a velocidade média molecular e o diâmetro dos poros, sendo possível determinar a difusividade do meio²⁷.

$$Dk = \frac{1}{3} \Omega dp$$

De acordo com Guimarães (2011)²⁸, caso a

tortuosidade seja considerada no mecanismo de difusão, passa a ser considerada a porosidade do sólido, sendo possível determinar a difusividade por meio da equação:

$$D_{kef} = Dk \frac{\epsilon p}{\tau}$$

Exemplos de aplicações: obtenção de cerâmicas porosas por meio de argila

A transferência de massa pode ser vista em diversas atividades do cotidiano, como por exemplo, na preparação de um chá durante a etapa de infusão. Como já foi mencionado no estudo, o processo de difusão está associado ao transporte de massa quando no sistema há um gradiente de concentração, ocorrendo no interior de sólidos, líquidos e gases²⁹.

Como exemplos de difusão em meio sólido pode-se citar o transporte de massa no interior de metais, sendo movimentação molecular, movimento de cátions e ânions em materiais cerâmicos. As aplicações do processo difusivo são diversas, como na fabricação de tijolos, carvão, filtros para purificação de gases; dopagem de semicondutores, sinterização e materiais cerâmicos, principalmente os materiais cerâmicos porosos, que será o principal exemplo do artigo³⁰.

De acordo com Ferreira, *et al.* (2018)³¹, a produção de materiais cerâmicos porosos no Brasil tem tido um crescimento considerável no mercado. Além da representatividade econômica, o processo produtivo de materiais cerâmicos possibilita a utilização de rejeitos, sendo um parâmetro importante com relação a sustentabilidade e reaproveitamento.

Segundo estudo de Gomes (2014)³², as cerâmicas são materiais inorgânicos obtidos a partir do tratamento térmico de temperaturas elevadas, através do processo de moldagem, secagem e cozimento. Uma das principais matérias primas para a fabricação de materiais cerâmicos é a argila, principalmente a argila vermelha, devido a suas características químicas e físicas, como sua elevada resistência. Esse tipo de argila utilizada usualmente para telha colonial cerâmica, tijolos, manilhas, utensílios, entre outros.

Todo material sólido possui em sua estrutura um grau de porosidade, seja ele elevado ou não. A porosidade nos materiais possui grande influência, pois por meio da sua determinação, será possível a determinar as suas propriedades, tais como a condutividade e densidade de um dado material³³.

Na obtenção de cerâmicas porosas, por exemplo, é usado o processo de difusão que é basicamente o processo que controla a concentração de moléculas e células que advém de mistura entre reagentes, sendo necessário o controle da porosidade para a obtenção de um produto de qualidade³⁴.

Segundo Balduino (2016)³⁵, um dos componentes mais importantes na composição da cerâmica porosa é a argila “ball clay” elas possuem algumas características específicas como coloração branca quando ocorre a queima, possuem alta plasticidade e apresentam pequenas partículas.

A argila do tipo “ball clay” são formados a partir da

sedimentação que ocorre em planícies, pântanos, lagos e rios que foram inundados, possuem matéria orgânica em sua composição, podendo alterar a cor da argila, entretanto o percentual encontrado influencia também em sua plasticidade e na resistência a seco. Essa argila pode ser encontrada no Brasil, porém sua maior concentração pode ser encontrada em países como: Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha e Ucrânia³⁶.

De modo geral, o processo de produção de cerâmica ocorre por meio das etapas de tratamento da matéria prima e preparação da massa, formação das peças, tratamento térmico e acabamento, se houver³⁷.

A primeira etapa no processo é a preparação da argila e do pó lapidário, ambos passam pela estufa para que sejam secas e posteriormente são submetidas ao peneiramento afim de que haja uniformização. Logo após, ocorre a moagem para que ocorra a diminuição das partículas e consequentemente aumento de área superficial, ocasionando em aumento da resistência mecânica no produto final³⁸.

Depois do processo de separação ocorre a solubilização que tem como objetivo solubilizar a quitosana para que ela seja adicionada a massa cerâmica e essa etapa é muito importante pois torna a mistura homogênea tornando a plasticidade da massa cerâmica a condição mais ideal para esse processo³⁹.

Logo após ocorrerá a conformação dos corpos de prova, que é a etapa em que acontece a prensagem da massa cerâmica, esse processo tem como objetivo compactar a massa para que haja um aumento de densidade, entretanto a prensagem deve ser feita com cuidado pois se houver compactação errada pode gerar defeitos⁴⁰.

A secagem acontece depois da conformação pois mesmo o processo de prensagem eliminando bastante umidade residual, ainda será necessário que ocorra a secagem, afim de eliminar a umidade restante dos processos antecedentes. Neste processo, o material cerâmico adquire a propriedade de resistência mecânica, pois impede que ocorra tensões internas que podem contribuir para que ocorra quebras nas peças⁴¹.

A última etapa é a sinterização, essa etapa tem como objetivo o aquecimento superficial do produto, através dos mecanismos de transferência de massa, a convecção e condução. Entretanto, a força motriz desse processo visa a redução da energia presente na superfície envolvendo a difusão atômica que podem ocasionar em densificação que é o transporte de matéria para dentro dos poros, podendo ocorrer a diminuição ou até mesmo eliminação dos poros. Ademais através da difusão também pode ocorrer o crescimento dos poros ou grãos, por isso o processo de difusão atômica deve ser feito com cautela, pois nesse processo é mais assertivo que a cerâmica obtenha poros menores⁴².

Sendo assim, esse processo de sinterização pode ocasionar tanto mudanças nos poros como também decomposições de matérias-primas, reações químicas, transformações polimórficas entre outras. Dessa forma, os mecanismos de sinterização no estado sólido que causam a densificação são aqueles que advém do

contorno de grãos como a difusão pelos contornos de grão, difusão pela rede e o fluxo por deformação plástica⁴³.

Na difusão de contorno de grão, temperaturas elevadas e tempo maior geram grãos finos. Já baixa temperatura e menor tempo geram grãos mais grosseiros. Ademais temperatura extremamente baixa e tempo menor ocasionam em grãos tão pequenos que quase não podem ser notados. Outrossim a difusão de rede acontece através dos contornos enquanto o fluxo por deformação plástica ocorre em linhas de discordância e mais especificamente em metais⁴⁴.

4. CONCLUSÃO

Com a revisão bibliográfica realizada, pode-se concluir que o processo de transferência de massa ocorre em atividades do cotidiano, como na preparação de chá durante a etapa de infusão. Além disso, esse mecanismo pode ser visto em materiais porosos como tijolos, tecidos, filtros, carvão, por meio da difusão molecular.

O processo de difusão molecular ocorre por meio da movimentação dos átomos através de migração. Para que haja essa movimentação é necessário que tenha espaços livres entre os átomos, sendo essencial que os átomos tenham energia suficiente para quebrar as ligações químicas. Para compreender o mecanismo de transferência de massa por meio da difusão em corpos porosos, foi necessário entender como a difusão de Fick e a difusão de Knudsen ocorrem, sendo dependentes da porosidade do material.

Os poros estão presentes em diversos materiais, sendo que estes apresentam poros de tamanhos diferentes, sendo microporos, mesoporos e macroporos, conferindo aos materiais propriedades variadas, como por exemplo, a permeabilidade e a resistência mecânica.

As pesquisas realizadas para o presente trabalho foram importantes para entender como o processo de transferência de massa por meio difusão pode ser aplicado no meio industrial. Como exemplo, foi mencionado a obtenção de cerâmicas porosas por meio de argila. O processo produtivo dos materiais cerâmicos porosos ocorre por meio das etapas de tratamento da matéria prima e preparação da massa, formação de peças e acabamento. Durante a etapa de sinterização ocorre a força motriz desse processo, que tem como objetivo a redução da energia presente na superfície envolvendo a difusão atômica, sendo uma das principais etapas para entender o mecanismo de transferência de massa.

REFERÊNCIAS

- [1] Silva Junior IJ, editor. Cinética e Fundamentos de Transferência de Massa em Adsorção. Encontro Brasileiro sobre adsorção; 2018; Gramado- RS [Internet]. [place unknown: publisher unknown]; 2018 [cited 2021 May 5]. 67 p. Available from: http://coral.ufsm.br/eba2018/images/IVANILDO_ESC_OLA.pdf
- [2] Silva LLO, Vasconcelos WL. Síntese e caracterização de suportes de alumina usados em membranas cerâmicas [dissertação on the Internet]. [place unknown]:

- Universidade Federal de Minas Gerais; 2010 [cited 2021 Apr 19]. 144 s. Available from: <https://ppgem.eng.ufmg.br/defesas/1607M.PDF>
- [3] Ferreira RG, Vieira FT, Amaral IBC, *et al.* Sinterização de materiais cerâmicos compostos: mistura com biopolímero e pó de lapidário do Vale do Mucuri-MG. Sinterização de materiais cerâmicos compostos: mistura com biopolímero e pó de lapidário do Vale do Mucuri-MG [Internet]. 2019 Oct 04 [cited 2021 Apr 26];27(1) DOI 10.4025/revtecnol.v27i1.45237. Available from: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol/artic le/view/45237/751375148503>
- [4] Mercali GD. Estudo da transferência de massa na desidratação osmótica da banana [dissertação on the Internet]. [place unknown]: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2009 [cited 2021 May 5]. 163 s. Available from: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/15839/000691729.pdf?sequence=1> Mestrado em Engenharia.
- [5] Viana M, Mohallem NDS. O Incrível Mundo dos Materiais Porosos – Características, Propriedades e Aplicações [Internet]. 38th ed. Química Nova na Escola: [publisher unknown]; 2016 [cited 2021 Apr 19]. 100 p. 1 vol. DOI <http://dx.doi.org/10.5935/0104-8899.20160002>. Available from: https://www.researchgate.net/publication/297723916_O_Incrivel_Mundo_dos_Materiais_Porosos_-_Caracteristicas_Propriedades_e_Aplicacoes
- [6] Milak GB. Cerâmicas porosas obtidas a partir da substituição parcial de matérias-primas por resíduos da indústria de papel e celulose e utilização de fibras poliméricas para aumento de permeabilidade [dissertação on the Internet]. [place unknown]: Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC; 2018 [cited 2021 Apr 16]. 121 s. Available from: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/5969/1/Gabriela%20Bortolin%20Milak.pdf> Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais.
- [7] Storion AG. Corpos cerâmicos porosos obtidos via gelatinização: estudo e caracterização [Trabalho de Conclusão de Curso on the Internet]. [place unknown]: Universidade Federal de Alfenas; 2015 [cited 2021 Jun 8]. Available from: https://www.unifal-mg.edu.br/engenhariaquimica/system/files/imce/TCC_2015_2/TCC-Ana%20Gabriela%20Storion.pdf Graduação em Engenharia Química.
- [8] Schuller D, Bianchi E C, Aguiar P R. Influência de defeitos e diferentes processos de fabricação nas propriedades mecânicas finais de cerâmicas. Cerâmica [Internet]. 2008 [cited 2021 Apr 21];(54):8. Available from: <https://www.scielo.br/pdf/ce/v54n332/08.pdf>
- [9] Pagano E. Obtenção de cerâmicas de alumina com gradiente funcional de porosidade a partir de diferentes técnicas [dissertação on the Internet]. [place unknown]: Universidade Estadual de Ponta Grossa; 2017 [cited 2021 Apr 21]. 110 s. Available from: <https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/2414/1/Eduardo%20Pagano.pdf>
- [10] Rodrigues C S, Ghavami K. Efeito da adição de cinza de casca de arroz no comportamento de compósitos cimentícios reforçados por polpa de bambu [Tese on the Internet]. [place unknown]: PUC-RIO - PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO; 2004 [cited

- 2021 Apr 21]. DOI 9924941/CA. Available from: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/5002/5002_1.PDF.
- [11] Kerber TL, Klein VA, Klein C, *et al.*, editors. XXXIV-Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Porosidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho Distroférico típico sob plantio direto; Florianópolis- SC [Internet]. [place unknown: publisher unknown]; 2013 [cited 2021 Jun 8]. Available from: <https://www.sbcs.org.br/cbcs2013/anais/arquivos/1371.pdf>
- [12] Alvarez HIP, Bortolucci AA. Ensaio não convencionais para determinação da tenacidade á fratura em rochas: análise e comparação [dissertação on the Internet]. [place unknown]: Universidade de São Paulo; 2004 [cited 2021 Apr 19]. Available from: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/td-e-06042006-160509/publico/dissertacao Mestrado em Geotecnica>.
- [13] Sampaio JA, Silva FANG. Determinação das densidades de sólidos e de polpa: Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais [Internet]. CETEM/MCT: [publisher unknown]; 2006 [cited 2021 May 4]. 17 p. Available from: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1019/1/Cap%202%20Densidade%20Final.pdf>
- [14] Cesar J, Paoli MA, Andrade JC. A Determinação da Densidade de Sólidos e Líquidos. A Determinação da Densidade de Sólidos e Líquidos [Internet]. 2004 [cited 2021 May 5];:8. Available from: http://webeduc.mec.gov.br/portaldoprofessor/quimica/cd2/conteudo/aulas/37_aula/recursos/21480/21480.pdf
- [15] Plucenio D M. Caracterização de rochas reservatório de petróleo a partir da modelagem do sistema poroso em rede de poros [dissertação on the Internet]. [place unknown]: Universidade Federal de Santa Catarina; 2016 [cited 2021 May 6]. 144 s. Available from: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/182572/348530.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Mestrado em Engenharia Mecânica.
- [16] Lopes JTB. Estrutura e Propriedades dos Materiais: Difusão Atômica [Internet]. UFPA – ITEC – FEM; 2011 [cited 2021 May 10]. Available from: <https://jorgeteofilo.files.wordpress.com/2011/08/epm-apostila-capitulo081.pdf>
- [17] Bregollin FL. Estudo da difusão de intersticiais em matrizes [dissertação on the Internet]. [place unknown]: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2008 [cited 2021 May 10]. 73 s. Available from: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28651/000772161.pdf?sequence=1>
- [18] Cabral RF. Análise da difusão atômica em sólidos elásticos com geometria cilíndrica [Trabalho de Conclusão de Curso on the Internet]. [place unknown]: Universidade Federal Fluminense; 2017 [cited 2021 May 11]. 37 s. Available from: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/4532/1/Projeto%20Final%20-%20Renato%20Figueiredo%20Cabral%20%28sem%20assinaturas%29.pdf>
- [19] Moura IAB. Análise da difusão do manganês em um par de difusão composto por um aço baixo carbono e um aço com alto teor de manganês (27%p) após processo de conformação a quente [Trabalho de Conclusão de Curso on the Internet]. [place unknown]: Universidade Federal do Ceará; 2018 [cited 2021 May 11]. 89 s. Available from: http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/39009/1/2018_tcc_iabmoura.pdf
- [20] Arruda RL, Queiroz FL, Rodrigues HM, *et al.*, editores. Difusão do cromo metálico e do níquel metálico na superfície do aço carbono baixa liga1. Congresso Nacional de Fundição – CONAF 17. [Internet]. [place unknown: publisher unknown]; 2017 [cited 2021 May 11]. 36 p. Available from: <https://abifa.org.br/wp-content/uploads/2017/10/29.09-08h00-DIFUS%C3%83O-DO-CROMO-MET%C3%81LICO-E-DO-N%C3%8DQUEL-MET%C3%81LICO-NA-SUPERF%C3%8DCIE-DO-A%C3%87O-CARBONO-BAIXA-LIGA.pdf>
- [21] Paula FRA. Determinação do coeficiente de difusão através de um fluxo unidimensional em um solo não saturado [tese on the Internet]. [place unknown]: Universidade Estadual do Norte Fluminense; 2006 [cited 2021 Apr 5]. 69 s. Available from: http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/LECIIV_1693_12_04137595.pdf
- [22] Soares RGF. Otimização do fluxo de óleos parafínicos [Monografia on the Internet]. [place unknown]: Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2009 [cited 2021 Apr 1]. 30 s. Available from: http://www.nupeg.ufm.br/documentos_finais/monografias_de_graduacao/monografias_ranierigabrielferreirasoa_res.pdf
- [23] Formiga AS, Martins GMV. Coeficientes e mecanismos da difusão [Internet]. SlideShare; 2014 Aug 31 [cited 2021 Apr 6]. Available from: <https://pt.slideshare.net/andersonformiga3/difuso-38538273>
- [24] Tavares DJMC, Santos AMS, Silva GV. Métodos para Determinação do Coeficiente de Difusão de COVs em Materiais de Construção [dissertação on the Internet]. [place unknown]: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 2009 [cited 2021 Apr 2]. 83 s. Available from: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60013/1/000134872.pdf>
- [25] Ferreira GG. Análise de estabilidade linear em um meio poroso higroscópico [dissertação on the Internet]. [place unknown]: Universidade Federal Fluminense; 2017 [cited 2021 Apr 1]. 86 s. Available from: <http://www.mec.uff.br/pdfteses/GabrielaGuerreiroFerreira2017.pdf>
- [26] Jesus CMM. Permeação de Gases Puros em Membranas de AM-3 [dissertação on the Internet]. [place unknown]: Universidade de Aveiro 2010 Departamento de Química; 2010 [cited 2021 Apr 9]. 72 s. Available from: <https://core.ac.uk/download/pdf/15563369.pdf>
- [27] Fonseca MS. Soluções numéricas para um problema de difusão de Knudsen [dissertação on the Internet]. [place unknown]: Universidade de Coimbra; 2018 [cited 2021 Apr 6]. 68 s. Available from: https://eg.uc.pt/bitstream/10316/86636/1/Tese_MafaldaSeco.pdf
- [28] Guimaraes AP. Estudos sobre a difusão de hidrocarbonetos em materiais microporosos [tese on the Internet]. [place unknown]: Universidade Federal do Ceará Centro De Ciências; 2011 [cited 2021 Apr 12]. 189 s. Available from: http://www.pgquim.ufc.br/wp-content/uploads/2011/11/Tese-doutorado_Artemis-Pessoa.pdf
- [29] Lima WMPB, Neto SRF. Transferência de calor e massa em sólidos porosos com geometria complexa via análise concentrada: Modelagem e simulação [dissertação on the Internet]. [place unknown]: Universidade Federal de

- Campina Grande Centro de Ciências e Tecnologia; 2017 [cited 2021 Apr 12]. 107 s. Available from: <https://ppgem.ufcg.edu.br/arquivos/2017/WANDERSO%20MAGNO%20PB%20LIMA%202017.pdf>
- [30] Gobbi MF. Introdução à Modelagem da Poluição Ambiental: Apostila- Dispersão Ambiental de Poluentes [Internet]. Universidade Federal do Paraná: [publisher unknown]; 2015 [cited 2021 Apr 14]. 100 p. Available from: <http://www.lemma.ufpr.br/wiki/images/b/b8/Main1.pdf>
- [31] Ferreira RG, Amaral IBC, Vieira FT, *et al.* Análise do Processo Difusivo em Compostos Cerâmicos com Adição De Resíduos. The Journal of Engineering and Exact Sciences [Internet]. 2018 [cited 2021 Apr 12];4(1) Available from: <https://periodicos.ufv.br/jceec/article/view/2459/1031>
- [32] Gomes AC. Produção de cerâmica: uso na construção civil, artesanato e biomateriais [Monografia on the Internet]. [place unknown]: Universidade estadual paulista; 2014 [cited 2021 Apr 23]. 22 s. Available from: <https://pt.slideshare.net/amandacg73/produo-de-cermica-Pos-gradua%C3%A7%C3%A3o-em-Biomateriais>
- [33] Cunha AR, Fernandes CP. Materiais porosos e imagens: uma introdução. Materiais porosos [Internet]. 2019 [cited 2021 Apr 21];41(3):7. DOI <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0241>. Available from: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v41n3/1806-9126-RBEF-41-3-e20180241.pdf>
- [34] Fonseca MH De F, Barbosa MPS, Vilar ZT, *et al.*, editores. Estudo da influência da porosidade em materiais cerâmicos. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais [Internet]. 22º CBECiMat: [publisher unknown]; 2016 [cited 2021 Apr 15]. 12 p. Available from: <http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/105-055.pdf>
- [35] Balduino APZ. Estudo da Caracterização e composição de argilas de uso cosmético [dissertação on the Internet]. [place unknown]: Universidade Federal de Goiás; 2016 [cited 2021 May 6]. 76 s. Available from: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/217/o/Disserta%C3%A7%C3%A3o_-_Ana_Paula_Zen%C3%B3bia_Balduino_-_2016.pdf Mestre em ciências aplicadas a saúde.
- [36] Motta JFM, Luz AB, Baltar CAM, *et al.* Argila plástica para cerâmica branca: Agalmatolito [Internet]. CETEM: [publisher unknown]; 2008 [cited 2021 Jun 6]. 21 p. Available from: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1138/1/34_%20Argila%20Plastica%28Branca%29%20Revisada%20Motta%26Cabral.pdf
- [37] Romano RCO, Pandolfelli VC. Obtenção e propriedades de cerâmicas porosas pela técnica de incorporação de espuma. Cerâmica [Internet]. 2006 [cited 2021 Apr 21];(52) DOI: <https://doi.org/10.1590/S0366-69132006000200015>. Available from: https://www.scielo.br/j/ce/a/fNmS9qqVXnOZBnxvibrN_LjJ/?lang=pt
- [38] Silva LCS, Maia FO, editores. VIII Simprod- Simposio de Engenharia de Produção de Sergipe. Processos de fabricação: uma análise da produção da cerâmica vermelha em uma empresa da cidade de Catalão/GO; São Cristóvão- SE [Internet]. [place unknown: publisher unknown]; 2016 [cited 2021 Jun 8]. Available from: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/7629/2/ProcessosFabricacaoCeramica.pdf>
- [39] Salomao R, Brandi J, editores. Estruturas porosas obtidas a partir de fibras de aluminaquitosana. Congresso Brasileiro de Cerâmica [Internet]. [place unknown: publisher unknown]; 2013 [cited 2021 Apr 26]. 12 p. v. 57. Available from: https://abceram.org.br/wp-content/uploads/area_associado/57/PDF/07-018.pdf
- [40] Freitas CSR, Pereira IAFS, Pereira MLG, *et al.* Influência de Diferentes Processos de Conformação nas Características Finais de Produtos Cerâmicos. Cerâmica Industrial [Internet]. 2009 [cited 2021 Apr 26];:5. Available from: https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Ferreira-53/publication/232274099_Influencia_de_Diferentes_Processos_de_Conformacao_nas_Caracteristicas_Finais_de_Produtos_Ceramicos/links/0912f507fdcf140dc00000/Influencia-de-Diferentes-Processos-de-Conformacao-nas-Caracteristicas-Finais-de-Produtos-Ceramicos.pdf
- [41] Batista VR, Nascimento JJS, Lima AGB. Secagem e queima de tijolos cerâmicos maciços e vazados incluindo variações dimensionais e danos estruturais. Materiais e processos [Internet]. 2008 [cited 2021 May 4];3:46-61. Available from: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/64/89>
- [42] Carginin M, Souza SMAGU, Souza AAU, *et al.* Determinação de parâmetros cinéticos da sinterização de revestimentos cerâmicos de monoqueima do tipo BIIa. Cerâmica [Internet]. 2011 [cited 2021 May 4];(57) DOI <https://doi.org/10.1590/S0366-69132011000400014>. Available from: <https://www.scielo.br/j/ce/a/x8hchxfwTr8wwFy9vjxG6G/?lang=pt>
- [43] Molisani AL, Yoshimura HN, Goldenstein H. Sinterização de Cerâmicas Técnicas no Estado Sólido e Assistida por Fase Líquida. ResearchGate [Internet]. 2006 [cited 2021 Jun 8]; Available from: https://www.researchgate.net/publication/263734197_Sinterizacao_de_Ceramicas_Tecnicas_no_Estado_Solido_e_Assistida_por_Fase_Liquida
- [44] Hwang MK. Desenvolvimento, caracterização microestrutural e mecânica de cerâmicas de sic aditivadas com alumina e óxidos de terras raras [tese on the Internet]. [place unknown]: Instituto Nacional de Pesquisas Nacionais; 2006 [cited 2021 May 6]. 123 s. DOI INPE-14332.