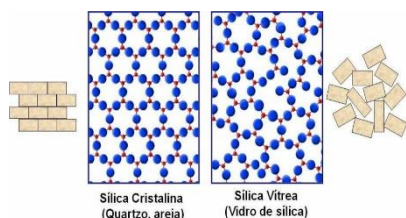


Dentre as maiores invenções da humanidade, podemos destacar uma constantemente presente no nosso cotidiano, o vidro. Apesar de seu aspecto simples e frágil, esse é muito mais complexo do que aparenta, servindo como alicerce para a modernidade científica. Frente aos problemas enfrentados pela sociedade, podemos salientar suas aplicações no ramo da saúde que destacam-se como ferramentas imprescindíveis para promover melhor desenvolvimento de tratamentos médicos até diagnósticos prévios de graves doenças. O incentivo a pesquisas sobre o vidro e sua produção, corrobora para o descobrimento de mais utilidades, e na medicina, podemos tomar como exemplo, os biovidros e os sensores químicos com fibras de calcogenetos. Com o crescimento da população humana e o maior agravamento de problemas de saúde, destacamos os vidros como importantes promovedores de soluções frente a esses obstáculos que a anos buscam uma resolução.

Figura 1- Estrutura de vidros comparados com cristais. Acessado em: https://wikividros.eesc.usp.br/_detail/intro/image48.jpg?id=introducao_ao_vidro_e_sua_producao%3Aelaboracao



Podemos tomar como definição de vidro, uma substância inorgânica, homogênea, sólida não-cristalina (Figura 1), ou seja, possui sua estrutura atômica desordenada, marcada pela ausência de periodicidade e simetria, além de exibir o fenômeno de transição vítrea. Atuando como isolante e sendo marcado pelos seus atributos principais, como transparência e dureza, sua composição é marcada por 72% de sílica (SiO_2), que fornece a função vidrificante ao vidro, 14% de sódio (Na_2SO_4), 9% de cálcio (CaO), 4% de magnésio (MgO) e o restante de alumina (Al_2O_3) e potássio (K_2O). No entanto, a composição do vidro pode variar de acordo com cada tipo, como os calcogenetos, posteriormente discutido.

1,2,3

A produção de vidro pelos humanos ocorreu pela primeira vez de forma acidental, quando, por volta de 7000 a.C., mercadores fenícios tentaram improvisar fogões usando blocos de salitre (KNO_3) sobre a areia (SiO_2). Com o passar do tempo, a fusão desses elementos, promovidas através do fogo, levou a formação de uma substância de caráter líquido e brilhante que se solidificava imediatamente ao escorrer do fogo, o vidro.¹ Com isso, sua reprodução foi cada vez mais desejada impulsionando o desenvolvimento da química básica, promovendo melhor análise de matérias primas e elementos químicos para uma produção mais produtiva e aprimorada de vidro ao longo das pesquisas. Desses estudos surgiu o processo sol-gel.³

O processo sol-gel (Figura 2) se difere dos outros por não se utilizar do processo de fusão, mas sim, de uma série de reações químicas que implicam na formação do produto final. Primeiramente, denominamos “sol” como dispersão coloidal de partículas entre 1 a 200 nm em um fluido solvente, e “gel” como substância rígida composta por uma rede contínua tridimensional, sólida e porosa, sendo preenchida por um meio líquido. Inicia-se com a hidrólise do grupo de alcóxidos, como o tetraetoxissilano ou TEOS ($\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$) que atuam como precursores juntos a um solvente, formando grupos reativos que se condensam, sendo ambas as fases catalisadas por ácidos e bases, competitivamente. Já em seguida, ocorre a gelificação que promove o entrelaçamento de unidades poliméricas que se unem em uma rede contínua, aumentando sua viscosidade. Por consequência, forma-se o gel. Na fase de envelhecimento, ocorre o reforço de polimerizações que contribuem para o aumento de resistência do vidro, para evitar trincas durante a secagem, estágio necessário para se obter o material sólido, onde a fase líquida no gel em sua estrutura é removida por evaporação, transformando a amostra em sólido poroso, havendo encolhimento da rede formando os xerogéis. Na etapa final, ocorre a densificação, em que ocorre a liberação de resíduos orgânicos e de poros do gel seco, além da calcinação (retirada de CO_2 , água e gases ligados fortemente quimicamente). Assim, há o processo de tratamento térmico para melhorar as propriedades físico-químicas, chegando ao produto final, o vidro.⁴

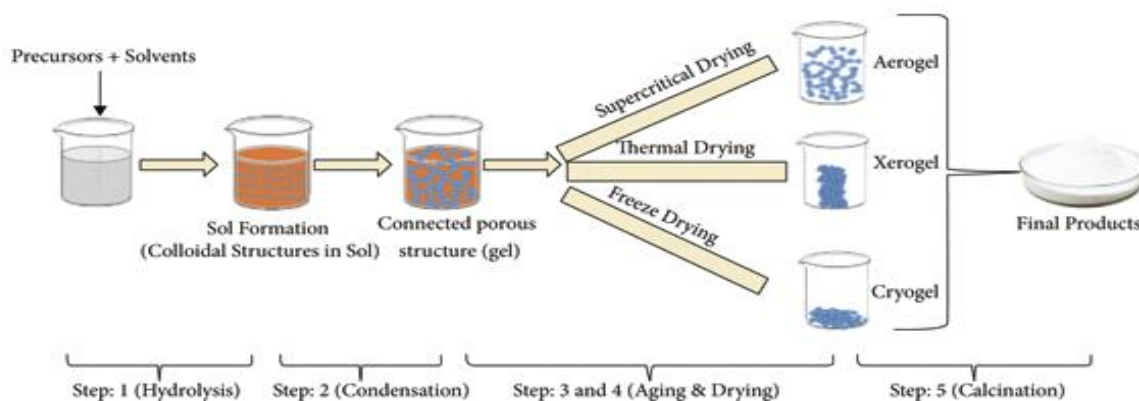


Figura 2- Processo Sol-Gel esquematizado. 1-Hidrolise; 2-Condensação; 3- Envelhecimento e secagem; 4- Calcinação. Acessado em: <https://www.hindawi.com/journals/amse/2021/5102014/>

Uma das utilidades do processo sol-gel é a sua presença na produção de biovidros. Os vidros bioativos derivados de sol-gel têm uma textura porosa na faixa nanométrica. Dependendo da composição do vidro, do pH da reação e dos precursores utilizados, os vidros sol-gel possuem mesoporos que variam de 1 a 30 nm. Como resultado, a dissolução é mais rápida então mais grupos silanol formados na superfície dos vidros sol-gel atuam como locais de nucleação para uma rápida formação da camada de apatita, levando assim a uma alta bioatividade, discutidos posteriormente. Não somente, o processo se torna propício por abordar uma temperatura relativamente baixa e química úmida, formando um vidro de alta pureza.¹⁵

O biovidro, como mencionado, é bioativo, além de ser osteocondutor e osteoindutor, dessa forma, tem capacidade de promover uma rápida e durável ligação química com o tecido ósseo, uma vez que possui o sistema $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$. As reações nas superfícies de vidro bioativo (Figura 3) levam à liberação de concentrações críticas de íons solúveis de Si, Ca, P e Na, que induzem respostas intracelulares e extracelulares favoráveis, levando à rápida formação óssea, estimulando a diferenciação osteogênica, bem como a formação de nódulos ósseos.¹⁵

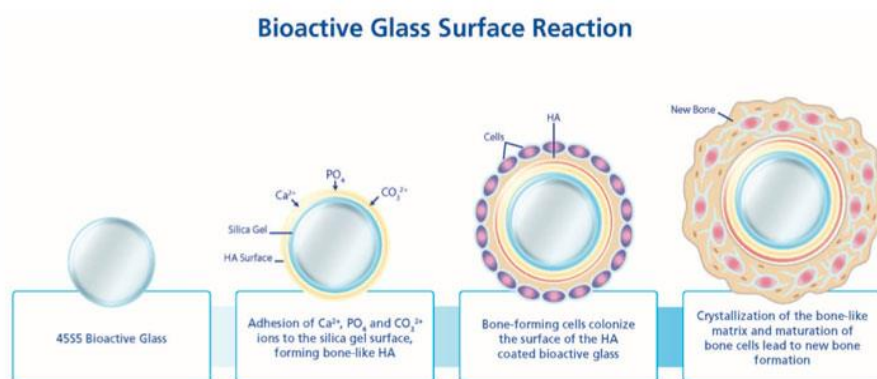


Figura 3- Forma de atuação do biovidro no corpo humano. 1- apresentação do biovidro; 2- Adesão de substâncias e íons na superfície de gel de sílica, formando HA; 3- Estimulação intra e extracelular promovida pela atuação do biovidro, impulsionando na formação de células de produção óssea; 4- Cristalização do osso e maturação das células ósseas formando um novo osso. Acessado em: <https://encyclopedia.pub/entry/32168>

A reação de superfície é um processo complexo de vários estágios, que resulta na formação de uma camada de hidroxicarbonato de apatita (HCA) biologicamente ativa. Esta fase HCA é quimicamente e estruturalmente semelhante à fase mineral no osso e, portanto, fornece uma ligação direta ao unir o tecido hospedeiro com os implantes. Quando expostos a fluidos biológicos, os vidros bioativos formarão uma camada de hidroxiapatita carbonatada deficiente em cálcio na superfície, facilitando a ligação química com o osso vizinho. Este comportamento de ligação óssea é referido como bioatividade. Os vidros bioativos degradam-se por hidrólise da matriz de sílica para formar $\text{Si}(\text{OH})_4$ e silanol. Esses produtos primeiro causam o aumento dos níveis de pH da superfície, levando a uma maior degradação hidrolítica e nucleação da hidroxiapatita carbonatada na superfície do gel de sílica, o que contribui para o desenvolvimento de osso novo.¹⁵

É importante ressaltar também que o material vítreo apresentado é colocado em formato de pó ou grânulos, e com a possível introdução de fármacos. Dessa maneira, podemos utilizar do biovidro para formação e crescimento ósseo, com prevenção antibactericida. Posteriormente, com maior desenvolvimento do biovidro, suas aplicações podem ser incorporadas a remédios acessíveis a população, para melhor tratamento efetivo de ossos fraturados em ambiente doméstico, diminuindo a alta demanda hospitalar. ^{6,7,8,9}

Ainda por cima, as aplicações tecnológicas dos vidros se expandem no ramo da medicina, são chamados eles de vidros calcogenetos. Esses materiais possuem composição química de elementos da família IV da tabela periódica, de estrutura binária com pelo menos um ânion de calcogênio (elementos S, Se e Te) e um elemento eletropositivo adicional, tendo como importante característica sua sensibilidade frente a absorção de radiação eletromagnética, transmitindo longas extensões de onda no infravermelho. Dessa forma, possui propriedades marcadas pela interação com fótons e elétrons, podendo ser aplicado em transmissões e focalizações de ondas eletromagnéticas, atuando assim, em aplicações ópticas e elétricas. Assim, destaca-se o uso de fibras de calcogenetos em sistemas de sensores químicos de fibra óptica. ^{10,11,12}

As fibras se aplicam bem nesses sistemas uma vez que a ampla transparência dos vidros de calcogenetos (ChGs), incluem a maior parte da faixa importante para espectroscopia vibracional no infravermelho médio (MIR). Como a matéria envolvendo os modos de rotação e vibração das moléculas, tornam-se tipicamente sensíveis à energia na faixa óptica do espectro radiomagnético; portanto, as moléculas (uma vez excitadas) tendem a absorver ou emitir fótons de luz com base em vários fatores. Essa absorção/emissão está tipicamente na faixa do infravermelho; assim, a espectroscopia de infravermelho é amplamente usada para identificar certas moléculas. De modo geral, o sensor químico detecta e converte informação química, como concentração, pressão, atividade de partículas, em sinais elétricos para se obter análises espaciais e temporais de componentes químicos específicos. ¹⁴

A partir disso, é possível a geração de uma base de dados biomédicinas para obtenção de diagnósticos médicos como avaliação tecidual e detecção prévia de câncer através de cortes de partes do corpo em seções finas além de sua dissecação, por exemplo. ^{12,13}

Como observado nas imagens (figura 4), é possível ver a atuação dos sensores químicos de forma experimental, a partir da detecção de tumores. Esse processo é dado a partir da captação de substâncias intracelulares altamente sensíveis à atuação do campo infravermelho (atuação dos calcogenetos) a partir da avaliação tecidual, levando à absorção e emissão de fótons ao ficarem excitadas, emitindo sinais elétricos (como mostrado no gráfico da figura 4, à esquerda), posteriormente usados na análise temporal e espaciais dessas. Logo após, agentes de contraste das imagens destacam os sinais elétricos captados, estabelecendo regiões monocromáticas de diferentes contrastes, identificando-se diferentes tumores, pela caracterização possibilitada de diversas moléculas (Figura 4, à direita).

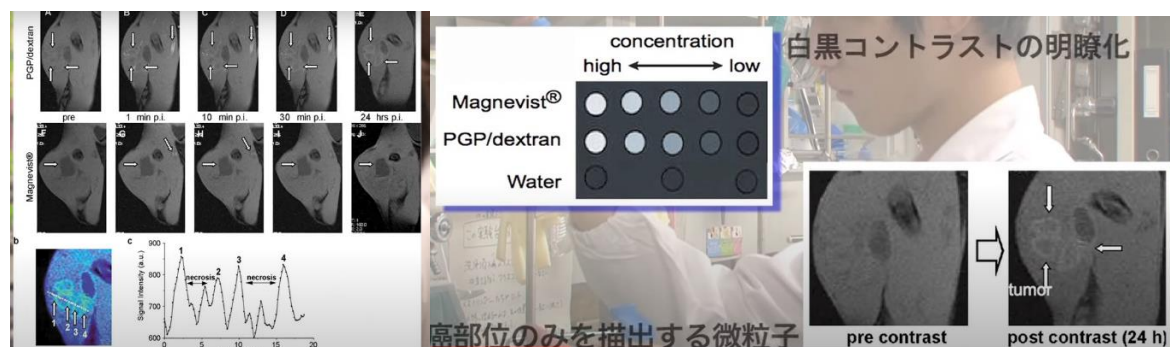


Figura 3 - Resultado da captação dos sensores químicos na detecção de tumores. Vídeo experimental: <https://www.youtube.com/watch?v=SPW2EQQLHUo&t=117s>

Com esse conhecimento, poderíamos promover um maior desenvolvimento desses sensores químicos a base de fibras de calcogenetos e aplicá-los em diversos ambientes, como exemplo no ramo agrícola para detectar a contaminação dos solos que conseqüentemente irão produzir os alimentos que serão consumidos em nossa sociedade, evitando o uso de produtos colocados em plantações que provocam impactos negativos à saúde humana. Não somente, poderia ser utilizado em hospitais, pois com sua

capacidade de detectar bactérias, poderiam ser instalados nesses ambientes de forma que detectem bactérias nocivas liberadas pela saliva e pelo ar exalado pelos pacientes, aumentando a eficácia e a segurança desses âmbitos.

Inevitavelmente, desde sua criação, os vidros se tornaram imprescindíveis para a construção e desenvolvimento da nossa sociedade. A sua expansão possibilitou com que suas aplicações tornassem presentes na medicina, principalmente, implicando na superação mais produtiva de problemas vividos constantemente pela população. Não podemos afirmar as futuras criações provenientes do vidro, mas podemos ter certeza de que as descobertas já realizadas até então irão influenciar diretamente nas produções futuras, uma vez que as principais bases já estão formadas com o conhecimento atual. Tanto os biovidros como os calcogenetos são inovações, portanto há sempre algo do “simples” a ser explorado e aprimorado nesses materiais. O desenvolvimento do vidro na área medicinal não somente contribui à população na área da saúde, mas também expande olhares para suas aplicações em diversos âmbitos, como industriais. O seu estudo promove a reflexão frente a inúmeras soluções aos problemas apresentados em nossa comunidade. Em suma, é fato que o futuro da humanidade criará cada vez mais uma dependência frente aos vidros, uma vez que suas aplicações expandem cada dia mais e aprimoram mais a química.

Referências Bibliográficas

1. https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/91912/saggio_bz_me_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Acessado 24 de fevereiro de 2023)
2. <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1045.pdf> (Acessado 24 de fevereiro de 2023)
3. <http://qnesc.sbg.org.br/online/cadernos/02/vidros.pdf> (Acessado 24 de fevereiro de 2021)
4. http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12204/2/LD_COEMA_2019_2_5.pdf (Acessado 24 de fevereiro de 2023)
5. <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/625/uma-nova-aplicacao-para-o-niobio> (Acessado 24 de fevereiro de 2023)
6. <https://www.ufmg.br/online/arquivos/042100.shtml> (Acessado 24 de fevereiro de 2023)
7. <https://revistapesquisa.fapesp.br/implante-com-biovidro/> (Acessado 24 de fevereiro de 2023)
8. <https://www.youtube.com/watch?v=x9CIPf1Amh0> (Acessado 24 de fevereiro de 2023)
9. <https://www.youtube.com/watch?v=HnBksGYW-Go> (Acessado 24 de fevereiro de 2023)
10. <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/109677/000950897.pdf?sequence=1#:~:text=Os%20materiais%20C3%A0%20base%20de,h%C3%ADbrid%20do%20tipo%20GeS2%20estruturados>. (Acessado 24 de fevereiro de 2023)
11. <http://www.ijapbc.com/files/17-2228.pdf> (Acessado 26 de fevereiro de 2023)
12. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631074802014509#BIB22> (Acessado 26 de fevereiro de 2023)
13. <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/chemical-sensor#:~:text=A%20chemical%20sensor%20is%20a%20device%20that%20converts%20a%20property,into%20an%20analytical%20electrical%20signal> (Acessado 26 de fevereiro de 2023)
14. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/chemical-sensor> (Acessado 28 de fevereiro de 2023)
15. <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/bioglass> (Acessado 28 de fevereiro de 2023)