

Quitosana: da Química Básica à Bioengenharia

Lorena O. Felipe, Lucas A. Rabello, Ênio N. O. Júnior e Igor José B. Santos

A quitosana é um copolímero de origem natural derivado do processo de desacetilação da quitina. As características apresentadas pela quitosana permitem uma ampla versatilidade de aplicação em áreas distintas, do tratamento de efluentes a utilizações mais sofisticadas, como na medicina regenerativa. Dessa forma, este trabalho aborda o conceito de copolímero natural, as principais formas de obtenção da quitosana, as características e propriedades da quitosana, as multifuncionalidades desse biomaterial e seu elevado potencial tecnológico em diferentes áreas, principalmente na engenharia de tecidos. Por fim, a partir da contextualização desta temática, será possível ao aluno vislumbrar a multidisciplinaridade da área de biotecnologia, na qual a engenharia de tecidos está inserida e desenvolver no mesmo a importância do reaproveitamento de resíduos no contexto da sustentabilidade ambiental.

► copolímero natural, quitina, biotecnologia, engenharia de tecidos, reaproveitamento de resíduos ◀

Recebido em 03/06/2016, aceito em 10/03/2017

Na década de 1980, surgiu o conceito de desenvolvimento sustentável. A partir disso, a conscientização das atividades industriais associada à preservação ambiental passou a ser fortemente considerada (Veiga, 2008). Desde então, várias legislações passaram a ser institucionalizadas por diferentes órgãos ambientais para a mitigação e remediação dos impactos ambientais (Elliot, 2012; CONAMA, 1986).

Dessa forma, além do fator ambiental, o aspecto econômico também passou a ser fortemente levado em consideração nas estratégias de aproveitamento de resíduos e, atualmente, inúmeros processos são empregados com o intuito de agregar valor a diferentes rejeitos industriais. Isso é possível, pois alguns desses rejeitos podem ser considerados matérias-primas potenciais de ingredientes tanto na indústria de alimentos quanto na de ração para animais (Mirabella *et al.*, 2014; Jayathilakan *et al.*, 2012).

A atividade pesqueira, a qual engloba tanto a captura quanto aquicultura, está entre as práticas industriais que produzem um grande volume de resíduos de significativo potencial poluidor, sendo amplamente praticadas no Brasil e ao redor do mundo (Olsen *et al.*, 2014; Arvanitoyannis e

Kassaveti, 2008; Sofia, 2014). Para se ter uma ideia, de acordo com estatísticas disponibilizadas pela FAOSTAT, referente ao ano de 2013, a produção da atividade de pesca, tanto ao nível mundial quanto ao nível brasileiro foi cerca de 191 milhões de toneladas e 1,24 milhões de toneladas, respectivamente (FAO *Fisheries and Aquaculture Department*).

Dentre os principais produtos de comercialização da pesca, estão os crustáceos, com expressiva produção a nível mundial e nacional (Tabela 2) (FAO *Fisheries and Aquaculture Department*). Esses últimos, quando industrializados (não comercializado *in natura*) podem gerar um volume de resíduos correspondente a 70% do seu peso fresco, como é o caso do camarão. Nesse caso, entre os componentes residuais estão o cefalotórax (cabeça) e o exoesqueleto (casca) (Holanda, 2004). Assim, se levado em conta a produção de camarão como expresso na Tabela 1, é possível estimar que o volume de resíduos produzidos a partir do beneficiamento do mesmo no ano de 2013, tanto a nível mundial quanto nacional, foi próximo de 5.511.797 e 71.584 toneladas, respectivamente.

Portanto, entre as estratégias empregadas para a agregação de valor e mitigação do impacto ambiental dos resíduos provenientes do beneficiamento desse tipo de produto, está a recuperação de seus elementos principais: proteínas, astaxantina (carotenoide de poder colorante) e quitina (Cahú *et al.* 2012; Vázquez *et al.*, 2013).

A seção "Química e sociedade" apresenta artigos que focalizam diferentes inter-relações entre Ciência e sociedade, procurando analisar o potencial e as limitações da Ciência na tentativa de compreender e solucionar problemas sociais.

Tabela 1: Produção mundial e brasileira de crustáceos referente ao ano de 2013.

Crustáceo Espécie	Produção ¹	
	Mundial (t)	Brasileira (t)
Camarão	7.873.996	102.263
Lagosta	290.267	6.726
Caranguejo	1.896.872	10.916
Outros	3.168.336	6.329
Total	13.229.472	126.234

¹FAO (Fisheries and Aquaculture Department). Dados referentes ao ano de 2013.

Em se tratando especialmente da quitina, a recuperação dos descartes de crustáceos mostra-se bastante favorável, já que a concentração deste biopolímero é de aproximadamente 5-7% em camarões e de 15-20% em caranguejos (Bessa-Júnior e Gonçalves, 2013).

De acordo com a Associação Brasileira de Criadores de Camarão, a produção brasileira de camarões da espécie *Litopenaeus vannamei* cresceu entre os anos 1998 a 2005, passando de 7 mil para 65 mil toneladas por ano. Esta elevada produção de camarões tem gerado grandes quantidades de resíduos sólidos, uma vez que a cabeça e a casca do crustáceo correspondem a aproximadamente 40% do seu peso total e não podem ser usados na fabricação de ração animal, devido à elevada quantidade de fibras, gerando muitos problemas ambientais quando descartados (ABCC, 2014). O impacto ambiental é decorrente do excesso de macronutrientes (e.g. nitrogênio e fósforo) que gera alteração na teia alimentar, eutrofização, baixo nível de oxigênio, redução da biodiversidade etc (Bonini, 2006). Considerando a produção de camarão do ano de 2005, que foi de 65 mil toneladas e que 40% do seu peso total seja convertido em resíduos, gerou-se naquele ano um total de 26 mil toneladas de resíduos da indústria de camarão, que atualmente não é aproveitado e poderia ser utilizado para a produção de quitina e quitosana.

Portanto, além de se mostrar como uma tática de gerenciamento ambiental, tanto a obtenção de quitina quanto do seu precursor quitosana, apresentam como vantagens a sua ampla disponibilidade e a sua viabilidade econômica, sendo uma fonte renovável e de baixo custo (Hudson e Smith, 2013). Dessa maneira, este trabalho visa desenvolver uma visão contextualizada, cidadã e sustentável da obtenção e caracterização da quitosana como um copolímero natural com potencial de aplicação em diferentes áreas, principalmente no setor emergente de engenharia de tecidos, fornecendo ao professor uma metodologia de aplicação deste tema em sala de aula.

Quitina e Quitosana: Copolímeros Naturais

Atualmente, os polímeros sintéticos são notadamente identificados como um dos pilares contemporâneos do estilo de vida moderna, estando cotidianamente presentes em inúmeros produtos de ampla comercialização (automóveis,

vestuários, embalagens etc.). Tal fato foi possibilitado pelos estudos desenvolvidos por Hermann Staudinger – Prêmio Nobel no ano de 1953 - acerca da química dessas moléculas (Ringsdorf, 2013; Shampoo *et al.*, 2013). Mas afinal, o que são polímeros?

Os polímeros são definidos como macromoléculas (de cadeia longa e/ou de alta massa molecular) (IUPAC *Gold Book*). Estruturalmente são constituídos por unidades menores, os chamados monômeros. Assim, a macromolécula é formada, sob condições determinadas, pela reação entre os monômeros a partir de uma reação denominada de polimerização. Dependendo da extensão da reação, o número de unidades repetidas agrupadas pode variar, definindo-se assim, o grau de polimerização (GP) da molécula (Rodríguez *et al.*, 2014). Ainda, de acordo com a composição da cadeia, os polímeros podem ser divididos em dois grandes grupos: os homopolímeros (constituído por um único tipo de monômero) e os copolímeros (constituído por diferentes tipos de monômeros) (IUPAC *Gold Book*).

Contudo, a despeito da contemporaneidade dos polímeros sintéticos, os polímeros naturais (biopolímeros) são considerados a base da vida. Dentre as classes principais dessas macromoléculas naturais, estão: (i) as proteínas (constituídas a partir de monômeros de aminoácidos), (ii) os ácidos nucleicos (formados a partir de monômeros de nucleotídeos) e (iii) os polissacarídeos (estruturados a partir de monômeros de açúcares) (*Biological Macromolecules*). No que diz respeito aos polissacarídeos, os mesmos podem assumir função energética (amido, glicogênio) e estrutural (celulose, quitina) (Dumitriu, 2004).

É inquestionável a importância das moléculas estruturais na manutenção das diferentes formas de vida, sendo abundantes e largamente distribuídas na natureza, com destaque para a celulose (de maior ocorrência natural), seguida da quitina (Dumitriu, 2004).

Dessa maneira, enquanto a celulose é definida como um homopolímero (constituída unicamente por meros de glicose), a quitina é reconhecidamente um copolímero (constituída majoritariamente por meros de *N*-acetil-*D*-glicosamina e resíduos de *D*-glicosamina). No caso da quitina, a mesma é precursora de outro importante copolímero: a quitosana. Essa última, constituída principalmente de meros de *D*-glicosamina e resíduos de *N*-acetil-*D*-glicosamina (Figura 1). Apesar da composição variável, uma característica comum é compartilhada pelos três biopolímeros anteriormente citados: os meros constituintes da cadeia polimérica são unidos por ligações glicosídicas β (1 $\rightarrow$ 4) (Figura 2) (Thomas *et al.*, 2012).

Quitina e Quitosana: Método de Obtenção

A quitina como polissacarídeo apresenta função estrutural e protetora, podendo ser identificada em diferentes organismos (Tabela 2). Dentre as fontes em que pode ser encontrada, destaca-se o exoesqueleto de crustáceos (Rinaudo, 2006).

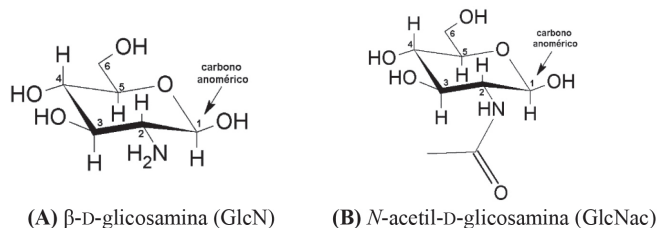


Figura 1: Representação esquemática da estrutura da (A) β -D-glicosamina (GlcN) e (B) *N*-acetil-D-glicosamina (GlcNAc): ambos, monômeros estruturais da quitosana.

No que diz respeito às características, tanto a quitina quanto a quitosana são insolúveis em água. Contudo, enquanto a quitina é insolúvel na maior parte dos solventes (exceto para o sistema-solvente *N,N*-dimetilacetamida/LiCl), a quitosana apresenta solubilidade em soluções diluídas de ácidos orgânicos (acético, fórmico, cítrico) e inorgânicos (ácido clorídrico, por exemplo). A massa molecular média e o grau médio de acetilação (GA) - dado pelo teor de *N*-acetil-D-glicosamina - distingue ambos os biopolímeros (Tabela 3) (Pillai *et al.*, 2009).

Tabela 2: Fontes naturais do copolímero quitina. Adaptado de: Rinaudo (2006).

Seres marinhos	Insetos	Fontes diversas
Anelídeos	Escorpião	Algas verdes
Celenterados	Formigas	Leveduras (tipo β)
Crustáceos	Besouro	Fungos (parede celular)
Moluscos	Aranha	Algas castanhas
	Barata	Micélio de <i>Penicillium</i>

Observa-se, portanto, que a partir da desacetilação da quitina purificada (Figura 3) é obtida a quitosana. A desacetilação pode ser feita por dois mecanismos diferentes: (i) ação enzimática (quitinases) e pela (ii) hidrólise alcalina (Figura 4), sendo este último extensamente utilizado. Para tal, várias metodologias são propostas para a desacetilação alcalina (Muzzarelli, 2013). Todavia, o método consiste basicamente na imersão de quitina pré-purificada em NaOH/KOH concentrado, sob agitação e aquecimento a alta temperatura, intercalados com ciclo de filtração,

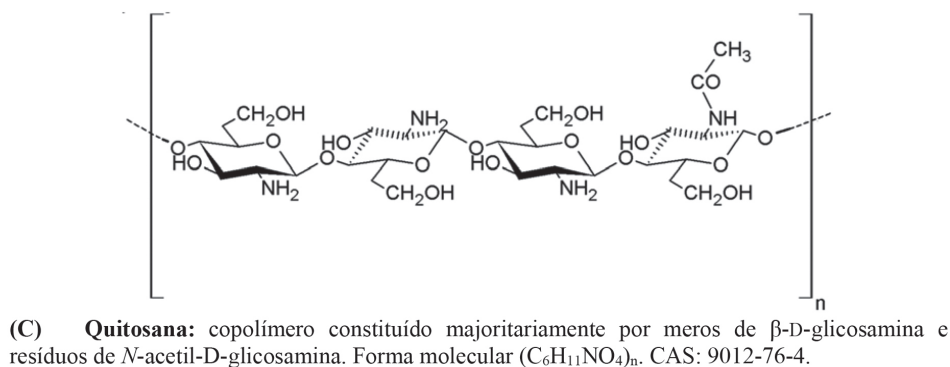
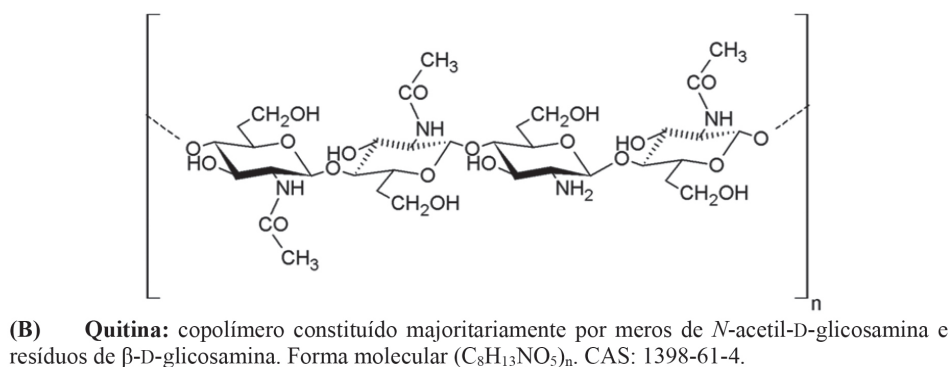
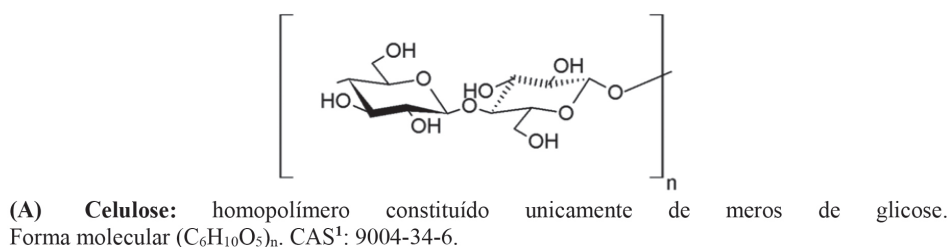


Figura 2: Representação esquemática da estrutura de três biopolímeros: (A) celulose, (B) quitina e (C) quitosana, sendo . ¹ CAS (Chemical Abstracts Service): Número com registro único (CAS Registry Number) atribuído a cada composto químico descrito na literatura. Tais registros são constantemente atualizados e armazenados no banco de dados do CAS Registry e administrado pelo Chemical American Society (CAS REGISTRY: Chemical substances).

Tabela 3: Quitina e quitosana - comparação entre a massa molecular média e o grau médio de acetilação (GA). Adaptado de: Pillai *et al.* (2009)

Copolímero	Massa molecular média (Daltons)	GA
Quitina	> 1.000.000	90% ¹
Quitosana	10.000 - 1.000.000	< 40% ²

¹Conteúdo de nitrogênio: $\approx 7\%$. ²Unidades desacetiladas: $\approx 60\%$

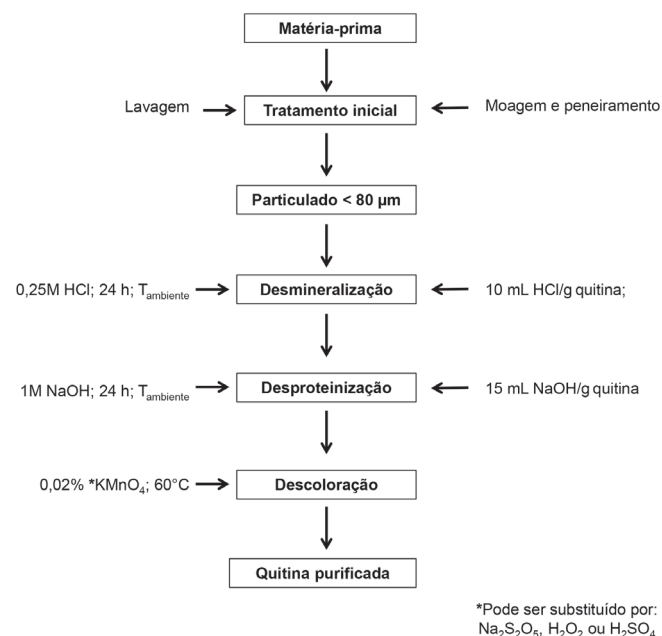


Figura 3: Método de obtenção da quitina purificada. Adaptado de: Muzzarelli (2013) e Percot *et al.* (2003)

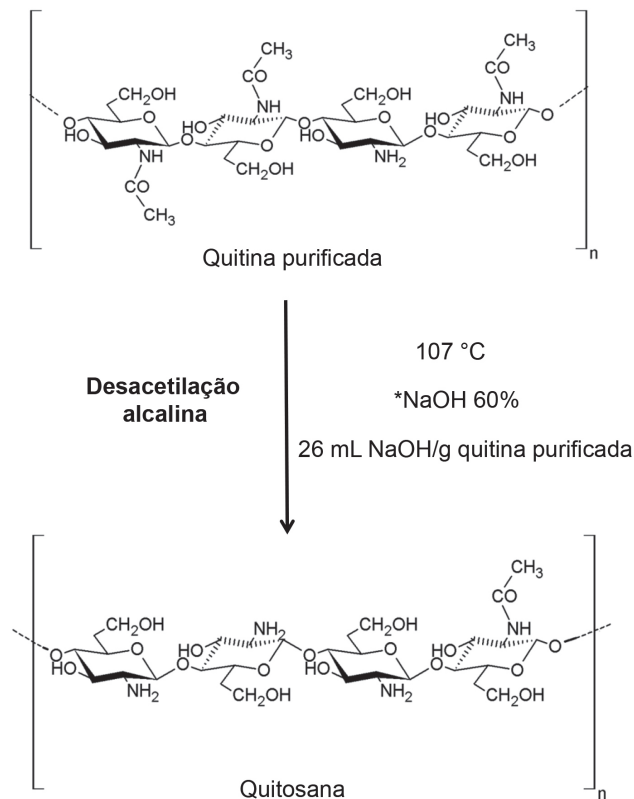
resfriamento e secagem/liofilização (Campana-Filho *et al.*; 2007).

Dessa forma, de acordo com o método empregado pode-se obter quitosanas com diferentes GA e, consequentemente, diferentes propriedades físico-químicas (viscosidade, pKa, massa molecular média, solubilidade, densidade e tamanhos de partículas), ocasionando uma enorme versatilidade no uso da quitosana (Younes e Rinaudo, 2015).

Quitosana: Propriedades e Ampla Versatilidade de Aplicação

A quitosana apresenta um conjunto de propriedades específicas (Tabela 4) que a tornam uma molécula única.

Além disso, esse mesmo polímero também é classificado como um polieletrólito. Por definição, polieletrólitos são macromoléculas que apresentam grupos ionizáveis na extensão de toda a sua cadeia. Tais grupos ionizáveis, dependendo da funcionalidade, podem ser classificados como aniônicos ou catiônicos. Neste caso, os agrupamentos aminos, presentes na cadeia polimérica da quitosana, apresentam reatividade e, em pH menor que 6,5 (meios ácidos) são capazes de se ligar a íons hidrogênicos, apresentando uma carga global positiva (Ng *et al.*, 2016). Dessa forma, a quitosana é tida



*Pode ser substituído por: KOH

Figura 4: Processo de obtenção da quitosana a partir da quitina purificada por desacetilação alcalina. Adaptado de: Chang *et al.* (1997)

Tabela 4: Propriedades específicas da quitosana que a torna uma molécula única. Adaptado de: Pokhrel *et al.* (2015)

Propriedade	Interpretação
Atóxica	Aquilo que não é venenoso, tóxico ou nocivo.
Bioativa	Capacidade de um material em fazer parte de reações biológicas específicas.
Biocompatível	Material que apresenta compatibilidade biológica, <i>i.e.</i> , sem efeitos indesejáveis no local em que foi implantado.

como um polieletrólito catiônico, e, em decorrência desse fato, além das propriedades mostradas (vide Tabela 4), a quitosana também revela outras funcionalidades: capacidade de adsorção e habilidade quelante.

Haja vista essas características, a quitosana revela uma enorme versatilidade de aplicação (Tabela 5) em áreas completamente distintas, que incluem desde o tratamento de efluentes às utilizações mais sofisticadas, como na medicina regenerativa focada na engenharia de tecidos (Khor, 2014).

Quitosana e sua Relevante Aplicabilidade na Engenharia de Tecidos

A técnica conhecida como Engenharia de Tecidos é aquela que busca a recuperação de tecidos e órgãos lesionados,

Tabela 5: Inúmeras aplicabilidades da quitosana em diferentes áreas.

Área	Aplicabilidade	Referência
Agricultura	Recobrimento de sementes (biocida)	Alcântara (2011)
Biorremediação	Adsorção de metais pesados e corantes	Aquino (2015)
Engenharia de Tecidos	<i>Scaffolds</i> (arcabouço, estrutura, matriz tridimensional, suporte).	Fiamingo (2016)
Farmacêutica	Analgesia, aceleração da cicatrização, promotor de regeneração óssea (osteogênese), tratamento da artrite, sistema de liberação de fármacos.	de Souza (2016)
Indústria de alimentos	Aditivo orgânico, embalagens ativas.	de Souza (2015)
Odontologia	Antimicrobiano, anti-inflamatório, inibição de biofilmes.	Tavaria <i>et al.</i> (2013)
Tratamento de efluentes	Agente floculante	Nakano (2016)

que, por algum motivo, não podem se regenerar naturalmente (Barbanti *et al.*, 2005). Os produtos artificiais obtidos por tal processo são denominados TEPs (*Tissue-Engineered Products*) e são utilizados para recuperar totalmente (reconstrução) ou parcialmente (terapia) diferentes estruturas anatômicas do corpo humano (Assis *et al.*, 2007). Dessa forma, podem tornar tangível o tratamento de queimaduras, doenças cardíacas, lesões na medula espinhal, diabetes, câncer no fígado, cirrose, entre outras diferentes aplicabilidades (Berthiaume *et al.*, 2011).

A metodologia empregada para a produção dos TEPs basicamente faz uso de células do próprio paciente - extraídas do tecido doador - cultivadas e tratadas em laboratório (*in vitro*), com posterior reimplantação no local da lesão (Figura 5) (Barbanti *et al.*, 2005).

Contudo, na maioria dos casos, durante o cultivo das células a nível laboratorial, as mesmas devem ser associadas a matrizes tridimensionais denominadas *scaffolds*. Tais matrizes são estruturas físicas, de diferentes composições, que possuem a função de mimetizar o ambiente extracelular no qual as células se encontram no organismo (Ravi *et al.*, 2014). Ainda, com o intuito de possibilitar o cultivo dos mais diferentes tipos celulares, diversos métodos e materiais são propostos para a construção desses *scaffolds*.

Os materiais empregados nos *scaffolds* devem satisfazer uma série de exigências. Além de serem atóxicos, biocompatíveis e biofuncionais, ainda devem possuir propriedades mecânicas adequadas, facilidade no processo de esterilização e garantir que, ao longo do tempo, não irão provocar qualquer distúrbio no organismo do paciente (Jozala *et al.*, 2011).

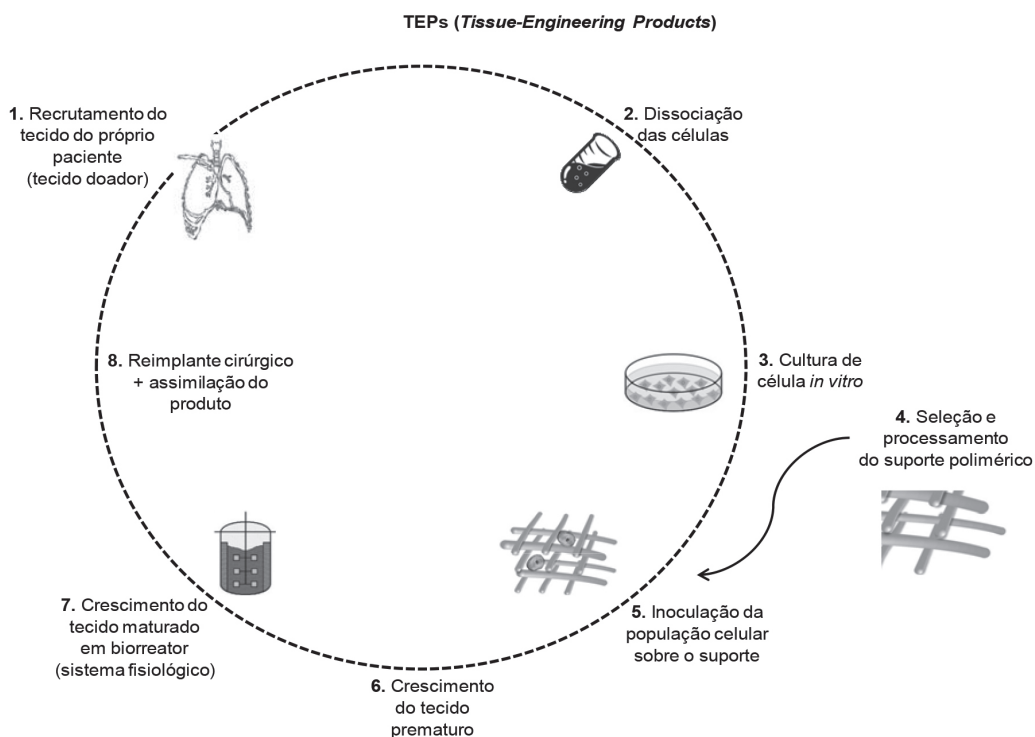


Figura 5: Esquema exemplificando a técnica básica da Engenharia de Tecidos. Adaptado de: Barbanti *et al.*, (2005). FONTE DAS IMAGENS: Wikimedia Commons e Clip-art.

Portanto, considerado estas exigências, o leque de materiais adequados à regeneração tecidual se torna bastante limitado. Dentre os materiais disponíveis, a quitosana toma posição de destaque (Laranjera e Fávere, 2009). Isso porque, além das propriedades já citadas, algumas outras particularidades tornam esse polissacarídeo extremamente atraente para a produção artificial de tecidos (Tabela 6) (Hélio *et al.*, 2006).

No que diz respeito às particularidades relacionadas na Tabela 6, grande parte delas está atrelada ao fato da quitosana ser considerada um polieletrólito catiônico (NG *et al.*, 2016). Como exemplo, em pH 7 (valor de pH na maioria dos fluidos teciduais) a quitosana adquire carga global positiva, o que acarreta na aglomeração de alguns elementos figurados do sangue que apresentam-se negativamente carregados através da atração eletrostática entre eles. Tal fenômeno ocasiona o acúmulo destes componentes ao longo da extensão de toda a cadeia polimérica (Okamoto *et al.*, 2003). A importância desse fato está no maior estímulo dado ao processo de coagulação sanguínea no local de aplicação do polímero, aumentando, assim, a taxa de sucesso do implante no organismo do paciente.

Por outro lado, apesar da ampla versatilidade apresentada pela quitosana à engenharia de tecidos, em alguns casos, *scaffolds* estruturados unicamente com esse polímero não se apresentam satisfatórios. Considerado esse motivo, inúmeros estudos na literatura científica relatam a associação da quitosana com outros biopolímeros. Entre os relatos mais comuns, são citados a combinação da quitosana com o ácido hialurônico, celulose, colágeno, gelatina e os poli(α-hidróxi ácidos) (Kakkar *et al.*, 2014; Han *et al.*, 2014; Barbanti *et al.*, 2005). Nesse caso, a estruturação de *scaffolds* estáveis é novamente reforçada pela reatividade dos grupos aminos na cadeia da quitosana, os quais permitem o

estabelecimento de ligações de hidrogênio com os demais biomateriais (Ramasamy e Shanmugam, 2014).

A demanda por essas novas combinações está alinhada com a constante necessidade de se obter novas propriedades físicas (elasticidade, resistência, morfologia) e químicas (composição, grupos funcionais, ligações químicas) ideais para diferentes *scaffolds*. Por fim, levando-se em conta essas novas possibilidades, é possível inferir a vasta e importante abrangência de aplicação da quitosana na engenharia de tecidos.

Aplicação do Tema no Ensino de Química

De acordo com as Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica (2013), o conhecimento escolar deve apresentar significado através da contextualização. Adicionalmente, a interdisciplinaridade também deve ser levada em conta, evitando a compartimentalização do ensino. Para tal, métodos de aprendizados ativos e interativos devem ser adotados, principalmente no que diz respeito ao ensino das Ciências da Natureza.

Portanto, considerado esses aspectos, uma sugestão é que o professor de Química poderá utilizar do conteúdo aqui abordado como temática geradora de conhecimento contextualizado na área da Química Orgânica, focada nos polímeros naturais. Ainda será possível ao docente explorar outras propriedades da quitosana, como a capacidade de formar filmes transparentes biodegradáveis, que podem ser utilizados como adesivos dérmicos, pele artificial e como revestimentos de frutos. Os filmes de quitosana podem ser obtidos adicionando uma solução de quitosana 1%(m/v) em solução de ácido acético 1%(v/v) em placas de Petri de poliestireno. Essas placas ficariam abertas até secagem total

Tabela 6: Particularidades atribuídas a quitosana que a tornam atraente na produção artificial de tecidos.

Característica	Descrição	Referência
Acelera o processo de cicatrização	Promove o estímulo de células fundamentais para a regeneração de tecidos lesionados, como macrófagos e fibroblastos.	Hélio <i>et al.</i> , 2006
Atividade antimicrobiana	Inibe a proliferação de determinados micro-organismos.	de Oliveira Júnior (2016)
Biodegradável	Capacidade apresentada por um polímero de sofrer dispersão <i>in vivo</i> em função da degradação macromolecular.	Barbanti <i>et al.</i> , (2005)
Bioreabsorvível	Sua cadeia macromolecular é passível de clivagem ¹ e os oligômeros produzidos são reabsorvidos <i>in vivo</i> .	Barbanti <i>et al.</i> , (2005)
Efeito coagulante	Estimula a agregação de plaquetas/eritrócitos, os quais são tidos como componentes sanguíneos essenciais no processo de coagulação.	Okamoto <i>et al.</i> , 2003
Versatilidade no modo de veiculação	Pode ser manipulada em diferentes formas: filmes, géis, membrana e microesferas, permitindo assim ser aplicada em diversas situações.	Laranjera, Fávere, 2009

¹ Pela ação das enzimas N-acetilglicosaminidase.

da solução e formação do filme que pode ser removido facilmente da superfície da placa. O revestimento de quitosana em frutos, também seria uma outra opção de experimento para avaliar a capacidade da quitosana em aumentar o tempo de prateleira de frutos comparados a frutos não tratados.

Além disso, esse artigo permite ao aluno entrar em contato com uma das áreas em grande desenvolvimento, a biotecnologia, na qual a engenharia de tecidos está inserida. Tal área, considerada como multidisciplinar, é definida pela IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) como “A integração das ciências naturais e das ciências da engenharia, a fim de conseguir a aplicação de organismos, células, suas partes e análogos moleculares para produtos e serviços” (IUPAC *Gold Book*). A Figura 6 mostra com maior clareza a integração das ciências citadas na definição acima.

Finalmente, a temática aqui trabalhada também permite desenvolver no aluno a importância do reaproveitamento de resíduos no contexto da sustentabilidade ambiental.

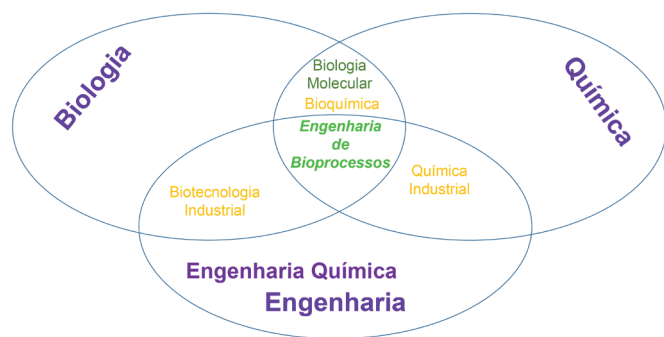


Figura 6: Multidisciplinaridade da biotecnologia. Adaptado de: Schmidell *et al.*, (2001).

Considerações Finais

Considerada a temática abordada nesse artigo foi possível demonstrar a importância de um dos biopolímeros estruturais de abundante ocorrência natural (quitina) como precursor para a produção de outro biopolímero, a quitosana. Essa última, uma macromolécula de propriedades únicas, as quais por sua vez, permitem uma extensa versatilidade de aplicação em diferentes áreas de estudo. Dentre essas áreas, está a engenharia de tecidos, de fundamental importância para a medicina regenerativa, a qual engloba metodologias para a reconstrução de novos tecidos e órgãos. Portanto, foi possível vislumbrar o potencial de exploração da quitosana e sua importância no desenvolvimento da pesquisa científica e na contextualização de um ensino interdisciplinar, capacitando o aluno a compreender e aplicar o conhecimento científico na presunção de melhoria da vida humana.

Glossário

Bioengenharia: aplicação do conhecimento da engenharia aos sistemas biológicos a fim de desenvolver novas tecnologias que proporcionem melhorias a esses sistemas.

Biomaterial: é uma substância ou uma mistura de

substâncias, natural ou artificial, que atua nos sistemas biológicos (tecidos, órgãos) parcial ou totalmente, com o objetivo de substituir, aumentar ou tratar. A quitosana pode ser classificada como um biomaterial, tendo em vista que existem na literatura inúmeras sugestões de aplicações de quitosana como pele artificial, lentes de contato e adesivos para liberação de drogas.

Copolímeros: são polímeros formados por mais de um tipo de monômero. A quitina e quitosana são exemplos de copolímeros, pois ambos são formados por dois tipos de monômeros, que são β -D-glicosamina (GlcN) e *N*-acetil-D-glicosamina (GlcNAc).

Engenharia de tecidos: é um ramo da Engenharia Biomédica que utiliza conhecimentos de biologia, química e física para desenvolver tecidos artificiais. Pode ser aplicada à produção de pele artificial, cartilagens e tecidos ósseos. Existem inúmeros artigos na literatura que sugerem o uso de quitosana para produção de pele artificial.

Medicina regenerativa: é o processo de substituir ou regenerar células, tecidos ou órgãos humanos para restaurar as funções normais.

Monômeros: sob condições adequadas, são capazes de se ligarem como unidades repetitivas ou meros, originando as cadeias poliméricas (moléculas maiores).

Polieletrólito: são polímeros com grupos ionizáveis ao longo da cadeia, classificados em aniônicos e catiônicos de acordo com seu grupo funcional. Os grupos amino na quitosana permitem que a mesma atue como um polieletrólito catiônico em pH menor que 6,5.

Polimerização: reação química que provoca a combinação de um grande número de moléculas do(s) monômero(s) para formar uma macromolécula.

Polímeros: são macromoléculas formadas a partir de unidades estruturais menores (monômeros).

Polissacarídeos: ou glicanos, são carboidratos que, por hidrólise, originam uma grande quantidade de monossacarídeos. A quitina e quitosana são exemplos de polissacarídeos que apresentam o grupo amina ou acetil amina ligados a unidades monoméricas de glicose.

Quitina: polissacarídeo encontrado no exoesqueleto (casca) de insetos, crustáceos e na parede celular de fungos.

Quitosana: polissacarídeo derivado de quitina. O que diferencia a quitina da quitosana é o grau médio de acetilação (GA). O polímero que apresentar grau de acetilação até 40% é considerado quitosana, que é totalmente solúvel em solução de ácido acético 1% (v/v). O polímero com grau de acetilação superior a 40% é considerado quitina, que é insolúvel em solução de ácido acético 1% (v/v).

Scaffolds ou arcabouços: estruturas tridimensionais biocompatíveis que estimulam a diferenciação celular, a adesão, a proliferação e a formação tecidual.

Igor José Boggione Santos (igorboggione@ufsj.edu.br), professor adjunto no Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos na Universidade Federal de São João del-Rei. Bacharel e licenciado em Química pela

Universidade Federal de Viçosa, Doutor na área de concentração físico-química no Grupo Química Verde Coloidal e Macromolecular (QUIVECOM) pela Universidade Federal de Viçosa, e pós-doutorado júnior no Laboratório de Operações e Processos (LOP) do DTA na Universidade Federal de Viçosa. Ouro Branco, MG – BR. **Ênio Nazaré de Oliveira Júnior** (eniobio@ufsj.edu.br), é professor adjunto do curso de Engenharia de Bioprocessos da Universidade Federal de São João del-Rei. Graduado em Engenharia Química com Habilitação em Engenharia de Alimentos pela Universidade do Estado de Minas Gerais, mestre em Ciências com

área de concentração em Agrobiotecnologia pela UFLA, especialista em Engenharia Ambiental e doutor em Engenharia Química com ênfase em Bioengenharia pela UNICAMP. Ouro Branco, MG – BR. **Lorena de Oliveira Felipe** (lorenaob@gmail.com), bacharel em Engenharia de Bioprocessos e mestre em Ciências, com área de concentração em Tecnologias para o Desenvolvimento Sustentável, pela Universidade Federal de São João del-Rei. Ouro Branco, MG – BR. **Lucas Andrade Rabello** (lucas12rabello@gmail.com) graduando do curso de Engenharia de Bioprocessos da Universidade Federal de São João del-Rei. Ouro Branco, MG – BR.

Referências

ABCC (Associação Brasileira de Criadores de Camarão) – Natal, 2014, <http://abccam.com.br/site>.

ALCÂNTARA, S. R. C. Utilização de quitosana como biocida na agricultura em substituição aos agrotóxicos. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2011.

AQUINO, L. F. Biorremediação de sedimentos de manguezal contaminados com n-hexadecano por consórcio de actinobactérias imobilizado em esferas de quitosana. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2015.

ARVANITOYANNIS, I. S.; KASSAVETI, A. Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses. *International Journal of Food Science & Technology*. v. 43, n° 4, p. 726–745, 2008.

BARBANTI, S. H.; ZAVAGLIA, C. A. C.; DUEK, E. A. R. Polímeros Bioreabsorvíveis na Engenharia de Tecidos. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. v. 15, n° 1, p. 13-21, 2005.

BERTHIAUME, F.; MAGUIRE, T. J.; YARMUSH, M.L. Tissue engineering and regenerative medicine: history, progress, and challenges. *Annu Rev Chem Biomol Eng*. v. 2, p. 403-430, 2011.

BESSA-JUNIOR, A. P.; GONÇALVES, A. A. Análises econômica e produtiva da quitosana extraída do exoesqueleto de camarão. *Actapesca*. v. 1, n° 1, p. 13-28, 2013. Disponível em: <<http://seer.ufs.br/index.php/actapesca/article/view/1589>>. Acessado em: 28. Jan. 2016.

BIOLOGICAL MACROMOLECULES. Disponível em: <<https://www.boundless.com/biology/textbooks/boundless-biology-textbook/biological-macromolecules-3/>>. Acessado em: 28. Jan. 2016.

BONINI, Roberta Santos. Carcinicultura: problemas de saneamento que podem desestabilizar a atividade: estudo de caso no Rio Grande do Norte. 2006. 121f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

BRASIL (2013). Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=13448-diretrizes-curriculares-nacionais-2013-pdf&Itemid=30192 Acessado em: 14. Nov. 2016.

CAHÚ, T. B.; SANTOS, S. D.; MENDES, A.; CÓRDULA, C. R.; CHAVANTE, S. F.; CARVALHO Jr., L. B.; NADERB, H. B.; BEZERRA, R. S. Recovery of protein, chitin, carotenoids and glycosaminoglycans from Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) processing waste. *Process Biochemistry*. v. 47, n° 4, p. 570–577, 2012.

CAMPANA-FILHO, S. P.; BRITTO, D.; CURTI, E.; ABREU, F. R.; CARDOSO, M. B.; BATTISTI, M. V.; SIM, P. C.; GOY, R. C.; SIGNINI, R.; LAVALL, R. L. Extração, estruturas e proprieda-

des de α e α quitina. *Química Nova*. vol. 30, n°. 3, 644-650, 2007.

CAS REGISTRY: *Chemical substances*. Disponível em: <<https://www.cas.org/content/chemical-substances>>. Acessado em: 28. Jan. 2016.

CHANG, K. L.; TSAI, G.; LEE, J.; FU, W-R. Heterogeneous N-deacetylation of chitin in alkaline solution. *Carbohydrate Research*. v. 303, p. 327-332, 1997.

DE OLIVEIRA JÚNIOR, E. Fungal Growth Control by Chitosan and Derivatives. *Agricultural and Biological Sciences*. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/fungal-pathogenicity/fungal-growth-control-by-chitosan-and-derivatives>>. Acesso em: 26 Mai. 2016.

DE SOUZA, M. M. Desenvolvimento e caracterização de filme ativo a base de metil celulose incorporado com nanopartículas de quitosana e nisina. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2015.

DE SOUZA, T. A. Hidrogel de quitosana em diferentes graus de desacetilação na cicatrização de feridas cutâneas de ratas diabéticas. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2016.

DUMITRIU, S. *Polysaccharides: Structural Diversity and Functional Versatility*. 2° Ed. Nova York: CRC Press, 2004. 1224 p.

ELLIOT, J. *An Introduction to Sustainable Development*. 4° Ed. Taylor and Francis Group, 2012. 384 p.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Fisheries and Aquaculture Department. Fishery Statistical Collections Global Production. Disponível em: <<http://www.fao.org/fishery/statistics/global-production/query/en>>. Acessado em: 28. Jan. 2016.

FIAMINGO, A. Propriedades físico-químicas e mecânicas de membranas porosas de carboximetilquitosana e hidrogéis de quitosana para aplicação em engenharia de tecidos. Tese (Doutorado em Ciências do Instituto de Química de São Carlos) – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2016.

HOLANDA, H. D. Hidrólise enzimática do resíduo do camarão sete-barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*) e caracterização dos subprodutos. 2004. 162 f. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

HUDSON, S. M.; SMITH, C. Polysaccharides: Chitin and Chitosan: Chemistry and Technology of Their Use As Structural Materials. In: KAPLAN, D. L. (ed.). Springer Science & Business Media, 2013. *Biopolymers from Renewable Resources*. Ch. 4, p. 96-118.

IUPAC. *Compendium of Chemical Terminology*. 2 Ed. (“Gold Book”). In: McNaught, A. D.; Wilkinson, A. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1997. Disponível em: <<http://goldbook.iupac.org/PDF/goldbook.pdf>>. Acessado em: 14. Nov. 2016.

JAYATHILAKAN, K.; SULTANA, K., RADHAKRISHNA, K.,

- BAWA, A. S. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review. *Journal of Food Science and Technology*. v. 49, n° 3, p. 278-293, 2012.
- JOZALA, A., F., NOVAES, L., C., L., LOPES, A., M., Produção De Celulose Bacteriana: Uma Nova Tendência. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/51999189_Produto_de_celulose_bacteriana_uma_nova_tendencia>. Acesso em: 13 set. 2015.
- KAKKAR, P.; VERMA, S.; MANJUBALA, I.; MADHAN, B. Development of Keratin-Chitosan-Gelatin Composite Scaffold for Soft Tissue Engineering. *Materials Science & Engineering*. v. 45, p. 343-347, 2014.
- KHOR, E. Chitin and Chitosan Tissue Engineering and Stem Cell Research. 2° Ed In: *Chitin: Fulfilling a Biomaterials Promise*. Oxford: Elsevier, 2014. Ch. 4, p. 51-66.
- LARANJEIRA, M. C. M.; FÁVERE, V. T. Quitosana: biopolímero funcional com potencial industrial biomédico. *Química nova*. Florianópolis. v. 32, n. 3, p. 672-678, abr. 2009.
- MIRABELLA, N.; CASTELLANI, V.; SALA, S. Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. *Journal of Cleaner Production*. v. 65, p. 28-41, 2014.
- MUZZARELLI, R. A. A. Deacetylation of chitin. *Chitin*. Elsevier: 2013. Ch. 3, p. 96.
- Nakano, F. P. Obtenção de microesferas quitosana/taninos extraídos da casca de *Eucalyptus urograndis* para utilização piloto na tratabilidade físico-química de água bruta com turbidez entre 100-110 NTU. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade de São Paulo. Lorena, 2016.
- NG, W. L.; YEONG, W. Y.; NAING, M. W. Polyelectrolyte gelatin-chitosan hydrogel optimized for 3D bioprinting in skin tissue engineering. *International Journal of Bioprinting*. v. 2, n° 1, 10 p., 2016.
- OKAMOTO, Y.; YANO, R.; MIYATAKE, K.; TOMOHIRO, I.; SHIGEMASA, Y.; MINAMI, S. Effects of Chitin and Chitosan on Blood Coagulation. *Carbohydrate Polymers*. v. 53, p. 337-342, 2003.
- OLSEN, R. L.; TOPPE, J.; KARUNASAGAR, I. Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish. *Trends in Food Science & Technology*. v. 36, n° 2, p. 144-151, 2014.
- PERCOT, A.; VITON, C.; DOMARD, A. Optimization of Chitin Extraction from Shrimp Shells. *Biomacromolecules*. v. 4, p. 12-18, 2003.
- PILLAI, C. K. S.; PAUL, W.; SHARMA, C. P. Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation. *Progress in Polymer Science*. v. 34, n° 7, p. 641-678, 2009.
- POKHREL, S.; YADAV, P. N.; ADHIKARI, R. Applications of Chitin and Chitosan in Industry and Medical Science: A Review. *Nepal Journal of Science and Technology*. v. 16, n° 1, p. 99-104, 2015.
- RAMASAMY, P., SHANMUGAM, A., Characterization and wound healing property of collagen-chitosan film from *Sepia kobsiensis*. *International Journal of Biological Macromolecules*. Tamil Nadu. v. 74, p. 93-102, mar. 2014.
- RAVI, M.; PARAMESH, V.; KAVIYA, SR.; ANURADHA, E.; SOLOMON, F. D. 3D Cell Culture Systems - Advantages and Applications. *Journal of cellular Physiology*. Chennai. v. 230, n. 1, p. 16-26, jan. 2015.
- RESOLUÇÃO CONAMA N° 001, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23> Acessado em: 14. Nov. 2016.
- RINAUDO, M. Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science*. v. 31, n° 7, p. 603-632, 2006.
- RINGSDORF, H. A Moment of Reflection: Sixty Years After the Nobel Prize for Hermann Staudinger. In: PERCEC, V. (ed.). *Hierarchical Macromolecular Structures: 60 Years after the Staudinger Nobel Prize I*. Springer, 2013. Série: *Advances in Polymer Science*. v. 261, Ch. 1, p. 1-19.
- RODRÍGUEZ, F.; COHEN, C.; OBER, C. K.; ARCHER, L. 6° Ed. Polymer Formation. CRC Press, 2014. *Principles of Polymer Systems*. Ch. 4, p. 107-186.
- SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W. (2001). *Biotecnologia Industrial: Fundamentos*. São Paulo, Edgar Blucher.
- SHAMPOO, M. A.; KYLE, R. A.; STEENSMA, D. P. Hermann Staudinger—Founder of Polymer Chemistry. *Mayo Clinic Proceedings*. v. 88, n° 3, p. e23, 2013.
- SILVA, H., S., R., C.; SANTOS, K., S., C., R.; FERREIRA, E., I. Quitosana: Derivados hidrossolúveis, aplicações farmacêuticas e avanços. *Química Nova*. v. 29, n° 4, p. 776-785, 2006.
- SOFIA: The State of World Fisheries and Aquaculture. *Opportunities and Challenges*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/d1eaa9a1-5a71-4e42-86c0-f2111f07de16/i3720e.pdf>>. Acessado em: 28. Jan. 2016.
- TAVARIA, F. K.; COSTA, E. M.; PINA-VAZ, I.; CARVALHO, M. F.; PINTADO, M. M. A quitosana como biomaterial odontológico: estado da arte. *Rev. Bras. Eng. Biom.*, v. 29, n. 1, p. 110-120, 2013.
- THOMAS, S.; VISAKH, P. M.; MATHEW, A. P. Natural polymers: Their Blends, Composites, and Nanocomposites. State of Art, New Challenges and Opportunities. In: THOMAS, S.; VISAKH, P. M.; MATHEW, A. P. (ed.). Springer Science & Business Media, 2012. *Advances in Natural Polymers: Composites and Nanocomposites*. Ch. 1, p. 1-20.
- VÁZQUEZ, J. A.; RODRIGUEZ-AMADO, I.; MONTEMAYOR, M. I.; FRAGUAS, J.; GONZÁLEZ, M. P.; MURADO, M. A. Chondroitin Sulfate, Hyaluronic Acid and Chitin/Chitosan Production Using Marine Waste Sources: Characteristics, Applications and Eco-Friendly Processes: A Review. *Marine Drugs*. v. 11, n° 3, p. 747-774, 2013.
- VEIGA, J. E. *Desenvolvimento Sustentável: o desafio do século XXI*. Rio de Janeiro: Garamond, 2008. 220 p.
- YOUNES, I.; RINAUDO, M. Chitin and Chitosan Preparation from Marine Sources. Structure, Properties and Applications. *Marine Drugs*. v. 13, n° 3, p. 1133-1174, 2015.

Abstract: Chitosan: from basic chemistry to bioengineering. Chitosan is a polymer of natural origin derived from chitin deacetylation process. The characteristics presented by the chitosan allows a wide versatility of application in different areas. These areas range from effluent treatment to more sophisticated uses, such as in regenerative medicine. Therefore, this paper discusses the concept of natural copolymer, showing the main ways of obtaining chitosan, the characteristics and properties of chitosan, as well as highlight the multi-functionality of this biomaterial with high technological potential in different areas, especially in tissue engineering. Finally, based on the contextualization of this theme, it will be possible for the student to envisage the multidisciplinary of the biotechnology area, in which tissue engineering is inserted and to develop the importance of the reuse of waste in the context of environmental sustainability.

Keywords: natural copolymer, chitin, biotechnology, tissue engineering, reuse of waste.