
Development of nanotechnological hydrogel alginate/sage enriched with sunflower and melaleuca for potential application in burns due to sun exposure

Desenvolvimento de hidrogel nanotecnológico de alginato/sálvia enriquecido com óleos de girassol e melaleuca para potencial aplicação em queimaduras por exposição solar

Received: 21-04-2024 | Accepted: 25-05-2024 | Published: 31-05-2024

Beatriz da Silva Esteves dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8138-1666>

Instituto de Macromoléculas Eloisa Mano, IMA - UFRJ, Brasil

E-mail: beatrizesteves.silva@ima.ufrj.br

Karoline da Silva Santana

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2212-9971>

Instituto de Macromoléculas Eloisa Mano, IMA - UFRJ, Brasil

E-mail: santanaKaroline18@ima.ufrj.br

Andressa Carvalho Camara Januário

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7120-5968>

Instituto de Macromoléculas Eloisa Mano, IMA-UFRJ, Brasil

E-mail: andressa@ima.ufrj.br

Luana Dias de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6517-8421>

Instituto de Ciências Biomédicas, Laboratório de Farmacologia, Bioquímica e Molecular - UFRJ, Brasil

E-mail: luanadias@ufrj.br

Luis Eduardo M. Quintas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0767-1240>

Laboratório de Farmacologia e Bioquímica Molecular - UFRJ, Brasil

Email: lquintas@icb.ufrj.br

Gisele Cristina Iullianelli Valle

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2511-4875>

Instituto de Macromoléculas Eloisa Mano, IMA - UFRJ, Brasil

E-mail: gisele@ima.ufrj.br

ABSTRACT

Sunburn is an inflammatory reaction causing physical and emotional impacts. In this context, the development of nanotechnological formulations has been driven by promoting a more efficient permeation of active ingredients. Thus, in this work, sunflower fixed oil, *Helianthus annuus L* and melaleuca essential oil, *Melaleuca alternifolia*, which have important properties, were nanoencapsulated and incorporated into the alginate/sage hydrogel formulation in different proportions, reaching a concentration of 2.5% Sodium alginate and 0.5% Calcium lactate. The synthesized nanocapsules were submitted to DLS and after 90 days displayed a size around 185 nm which is consisted with the purpose of this project. Moreover, the cytotoxicity test confirmed that the nanocapsules obtained are safe. The hydrogel was submitted to some tests such as organoleptic aspects, pH, spreadability, stability, and rheological analysis showing that nanoencapsulation made the final formulation safe, viable and potential for topical application with optimized response for the treatment of skin damaged by sunburn.

Keywords: Hydrogel; Alginate; nanotechnology; sunburn.

RESUMO

A queimadura por exposição solar é uma reação inflamatória acarretando impactos físicos e emocionais. Neste contexto, o desenvolvimento de formulações nanotecnológicas tem sido impulsionado por promoverem uma permeação mais eficiente dos ativos. Assim, neste trabalho, o óleo fixo de girassol, *Helianthus annuus L*, e o óleo essencial de melaleuca, *Melaleuca alternifolia* por apresentarem propriedades importantes foram nanoencapsulados e incorporado à formulação de hidrogel de alginato/sálvia em diferentes proporções, chegando a concentração de 2,5% Alginato de sódio e 0,5% Lactato de cálcio. As nanocápsulas sintetizadas foram submetidas a análise de DLS a após 90 dias exibiram tamanho em torno de 185 nm o qual é condizente com o propósito desse projeto. O ensaio de citotoxicidade confirmou que as nanocápsulas obtidas são seguras. O hidrogel foi avaliado quanto aos aspectos organolépticos, pH, espalhabilidade, estabilidade e análise reológica apresentando que o nanoencapsulamento tornou a formulação final segura, viáveis e potenciais para aplicação tópica com resposta otimizada para o tratamento de pele lesionada por queimaduras por exposição solar.

Palavras-chave: Hidrogel, Alginato, Nanotecnologia, Queimaduras solares.

INTRODUÇÃO

A pele, o maior órgão do corpo humano, é considerado a sede de muitos processos complexos e dinâmicos e dentre esses processos, estão as funções de barreira e imunológicas, produção de melanina, síntese de vitamina D, sensações, regulação térmica, proteção contra traumatismos e composição estética (BOHJANEN, 2017). A queimadura solar é uma reação inflamatória resultante da exposição aguda da pele à luz solar intensa (VIOTII, 2023). Acarreta além de impactos físicos, como também emocionais e psicológicos. Por esse motivo, um número crescente de pesquisas tem sido desenvolvido, no sentido de tratar e aliviar os desconfortáveis sintomas dessa queimadura (MOREIRA, MARCOS e TONANTZIN, 2023).

Dentre muitas alternativas de materiais empregados para o tratamento de queimaduras buscando acelerar a cicatrização o polímero alginato, de origem natural, trazendo propriedades gelificante, tem mostrado uma resposta interessante e por esse motivo o número de estudos empregando este polímero tem sido crescente nos últimos anos. Uma importante característica dos géis, como o hidrogel de alginato, para aplicação em produtos alimentícios, farmacêuticos, biomédicos e cosméticos. (CHING, BANSAL e BHANDARI, 2017).

Outra abordagem também para otimizar o tratamento de infecções que acometem a pele é o emprego de óleos vegetais, seja o óleo fixo ou óleo essencial. Isso porque esses óleos essenciais têm excelentes propriedades como antioxidantes, antifúngicas antimicrobianas, antivirais. (LADEIRAS, et al, 2015). O óleo de girassol (*Helianthus annuus L.*) tem sido utilizado em formulações de cosméticos por conter vitamina E (RAHETE *et al.*, 2007), e para estimular a nutrição celular e o processo de regeneração do tecido lesionado (ROCHA, 2022; ROSA *et al.*, 2014). Além disso, outro óleo vegetal que também merece destaque para tratamento da pele é o óleo essencial de melaleuca, conhecido por *Tea Tree oil*, que apresenta importantes propriedades antivirais, antifúngicas, anti-inflamatórias e (KUMAR, et al.,2016; BRAND,et al., 2001), podendo contribuir de forma significativa para potencializar a recuperação da pele lesionada. (STECCO, HAMMER, 2015).

A nanotecnologia é uma ciência multidisciplinar que consiste na otimização das propriedades da matéria, permitindo o desenvolvimento de sistemas e como ferramenta

singular maximiza os efeitos terapêuticos de diversos ativos, trazendo respostas promissoras na escala nanométrica. Dentre as várias abordagens nanotecnológicas, o nanoencapsulamento de óleos vegetais mostra-se promissor, pois além de proteger os bioativos de ações de degradação que acaba ocorrendo por luz, oxigênio, e entre outros, o nanoencapsulamento tem os benefícios de reduzir o tamanho das partículas de óleo e isso permite que elas possam alcançar camadas mais profundas da pele, como também de permitir a entrega dos bioativos de forma modulada e prolongada, trazendo otimização ao tratamento (SANTOS, 2012; PIRES, 2019).

Diante do exposto acima, o presente estudo teve por objetivo desenvolver uma formulação tópica a base de hidrogel de alginato de sódio enriquecido com extrato de sálvia, contendo nanocápsulas poliméricas preenchidas com o óleo fixo de girassol e óleo essencial de melaleuca e avaliar sua viabilidade com possível aplicação no tratamento de queimaduras por exposição à radiação solar.

MATERIAIS E MÉTODO

A metodologia deste trabalho foi dividida em duas etapas: A primeira obteve-se a nanocápsulas com revestimento de PCL, na qual confeccionou-se de dois modos: cápsula com núcleo vazios e cápsulas carregadas (com óleo de girassol enriquecido com 2,5% (m/m) de óleo de melaleuca- OGM). Ambas foram produzidas através do método de nanoprecipitação, escolhido na pesquisa por se obter o resultado de maneira mais rápida e objetiva para o desenvolvimento das caracterizações. As nanocápsulas vazias foram previamente produzidas com o objetivo de se determinar os parâmetros mais adequados da metodologia para obtenção das nanocápsulas com o tamanho de interesse (100-200 nm). Este tamanho é muito importante para a penetração do ativo. Com a obtenção das nanocápsulas vazias, seguiu-se o mesmo modo para as carregadas mudando apenas pela inclusão da mistura dos óleos, que se deu pelo gotejamento de 4 gotas, em torno de 0,2 ml, com auxílio de um conta-gotas na fase orgânica. Os Materiais utilizados no nanoencapsulamento é descrito na **Tabela 1**.

Tabela 1: Materiais utilizados no nanoencapsulamento

Reagentes	Quantidade
Pluronic® F-127 Mn= 10000	0,6 g
Policaprolactona Mn =10000	0,8 g
Água deionizada	400 ml
Óleo de Girassol e 2,5% Melaleuca	0,2 ml
Acetona P.A	200 ml

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

Na segunda parte do trabalho realizou-se vários testes preliminares variando-se tanto na proporção do gelificante alginato de sódio como a do reticulante lactato de cálcio, e combinando as variações de ambos, até que fosse alcançada uma formulação para uso tópico com uma textura em gel com boa espalhabilidade. A formulação para esse gel teve como componentes: Alginato de sódio, reticulante lactato de cálcio, extrato glicólico de sálvia e conservante sorbato de potássio. Após alguns testes foi estabelecido a proporção de 2,5% de Alginato de sódio (ALG) e 0,5% de Lactato de Cálcio (LAC). A formulação final é vista na **Tabela 2**.

Tabela 2: Formulação Hidrogel Nanotecnológico

Reagentes	Concentração	Quantidade
Alginato de sódio	2,5%	0,6 g
Extrato de salvia	10%	1,94g
Sorbato de Potassio	0,1%	0,01g
*Nanosuspensão	0,6%	17,45g
Lactato de Cálcio	0,5%	0,1g
Solução final	---	40g

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

RESULTADOS

ESPALHAMENTO DE LUZ DINÂMICO (DLS)

A técnica de espalhamento de luz dinâmico foi realizada com o objetivo de determinar o tamanho e as nanopartículas de PCL vazias (NPs) e das preenchidas com óleo de girassol e melaleuca (NPs OGM) de acordo com o tempo (1, 30, 60 e 90 dias), como apresentado **na Tabela 3**. Todas as nanopartículas foram analisadas quanto ao seu diâmetro hidrodinâmico médio (nm) e ao índice de polidispersão (PdI).

Tabela 3 - Tamanho médio e Índice de Polidispersão das nanopartículas no dia 1, 30, 60 e 90.

Legenda: OGM: Óleo de Girassol e Melaleuca/ NPs: Nanopartículas.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

Nanopartículas em suspensão	Tamanho médio (nm)				Índice de Polidispersão (PdI)			
	Dia 1	Dia 30	Dia 60	Dia 90	Dia 1	Dia 30	Dia 60	Dia 90
NPs PCL (padrão)	250,0	224,0	254,3	282,0	0,203	0,395	0,315	0,634
NPs com OGM	184,9	184,0	184,6	185,5	0,058	0,054	0,044	0,080

Os resultados obtidos nessa análise são promissores para a aplicação proposta, visto que as nanopartículas preenchidas apresentaram tamanhos ideais para sua aplicação (entre 100 e 200 nm) e o sistema de NPs com OGM mostrou um tamanho inferior a 200nm, conforme mostra a **Tabela 3**, e uma excelente homogeneidade. Manteve-se um acompanhamento dessas amostras, a fim de verificar sua o tamanho e a homogeneidade ao longo do tempo analisado, considerando isso importante, pois dentro da formulação o material precisa se manter por um bom tempo na prateleira. Sendo assim, observado que o sistema com os óleos encapsulados manteve o tamanho das nanopartículas praticamente estável até 90 dias, não havendo variação considerável do tamanho. O índice de polidispersão (PdI) é um valor sem unidade que mede a amplitude da distribuição do tamanho de partícula (SANTOS, 2016), logo a medida da extensão da distribuição do diâmetro das partículas, valores de PdI, inferiores a 0,1 indicam sistemas considerados

monodispersos e valores superiores a 0,7 indicam preparações com tamanho de partículas heterogêneo, portanto, polidispersos (MALVERN, 2000; SOUTO, 2004). Ao analisar o PDI das nanocápsulas vazias e preenchidas, observou-se que ambos os sistemas se mantiveram homogêneos até 90 dias, visto que os valores mantiveram-se abaixo de 0,7. Entretanto, a presença do óleo no interior da nanocápsula promoveu NPs mais monodispersas, com PDI abaixo de 0,1 durante todo o período de avaliação, ou seja, até 90 dias. Esse resultado confirma a boa interação do óleo com a cápsula polimérica de PCL.

ANÁLISE DE CITOTOXICIDADE POR MTT

A análise inicial de MTT (3-(4,5-dimetiltiazol-2yl)-2,5-difenil brometo de tetrazolina) propôs avaliar o efeito *in vitro* das nanopartículas na concentração de 1%, 0,1% e 0,01% na viabilidade celular durante 24 h, as células utilizadas nos experimentos são do tipo epitelial do rim de porco, aderentes, e com formato geométrico característico. As células LLC-PK1 foram subcultivadas em uma placa de 96 poços (Sarstedt, Alemanha), na densidade de 5×10^3 células/poço, elas foram incubadas por 24 h com meio completo para restabelecimento das suas condições de crescimento. Em seguida, o meio original foi trocado por DMEM sem soro, permanecendo por mais 24 h, e, então, novamente trocado pelo mesmo meio na ausência ou na presença de 1, 0,1 e 0,01% de nanopartículas, por 24 h. Após este período, 20 μ L da solução de MTT foram adicionados em cada poço, sendo incubados por mais 4 h. Logo após, foram adicionados 200 μ L de dimetilsulfóxido (DMSO; Sigma-Aldrich, EUA) para solubilização dos cristais de formazan e a leitura da absorbância da placa foi feita em 570 nm no leitor de placas FlexStation 3 (Molecular Devices LLC, EUA). A citotoxicidade celular foi calculada de acordo com a equação 1:

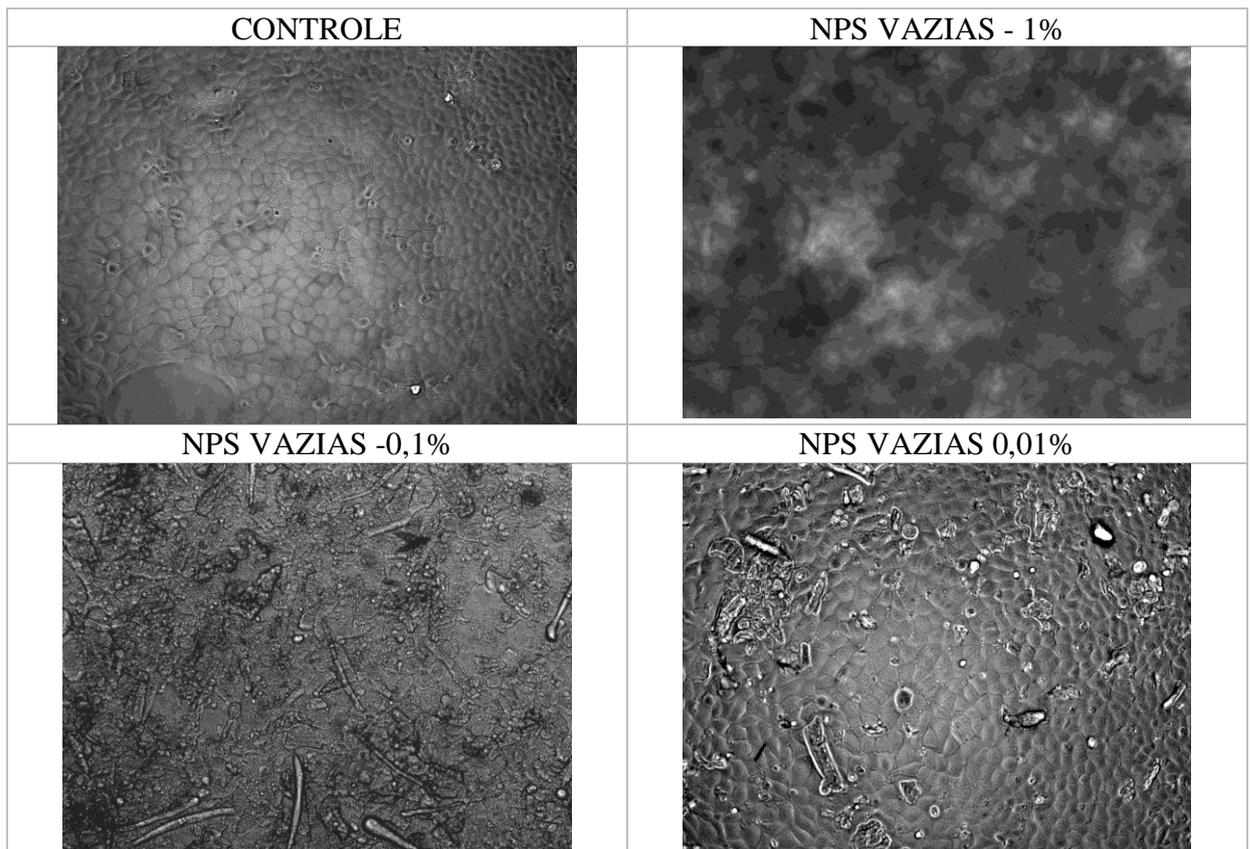
Equação 1

$$Viabilidade\ celular = \frac{Absorbância\ por\ poço}{Média\ da\ absorbância\ do\ controle} \times 100$$

Após 24 h de tratamento com as nanopartículas NPs vazias e com as NPs OGM observou-se alta sedimentação das nanopartículas na concentração de 1%, não sendo

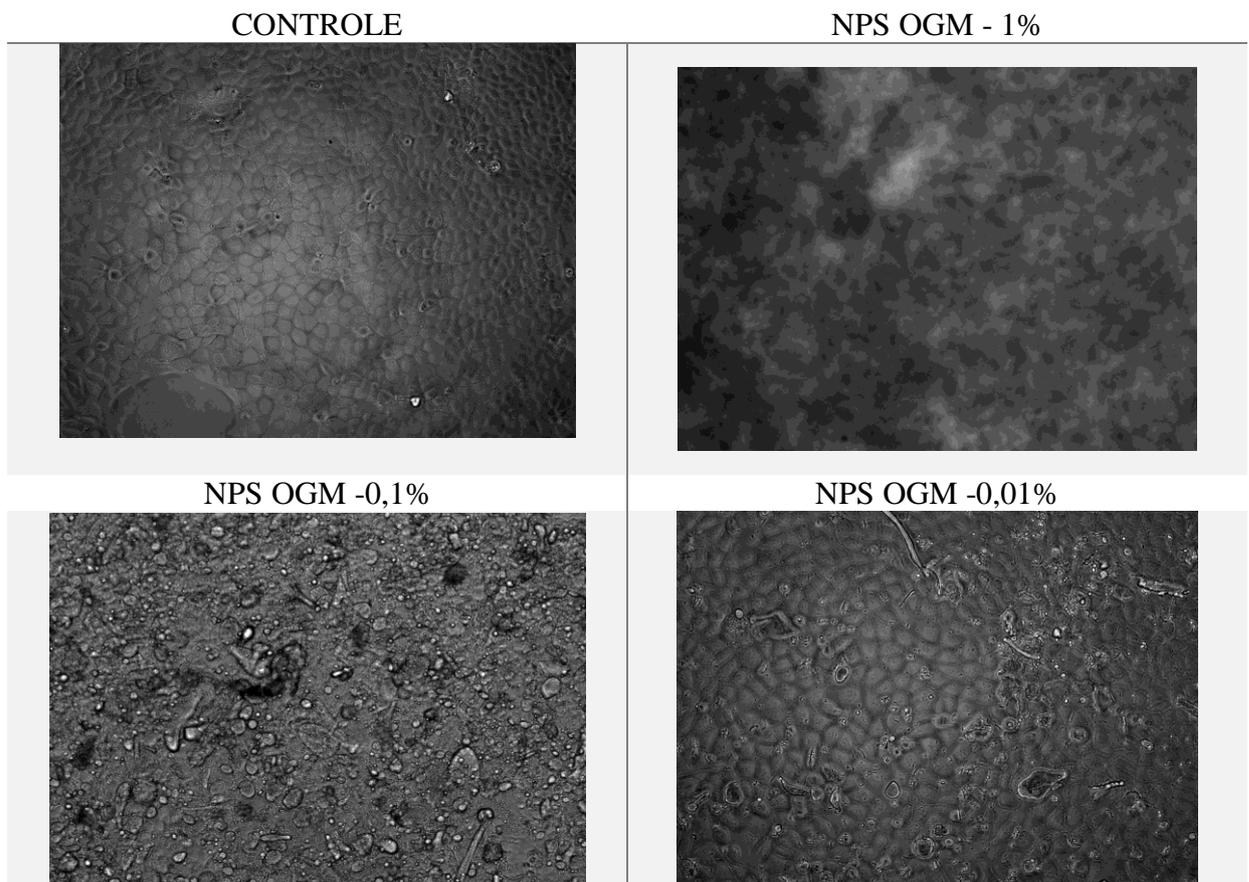
possível distinguir as células na placa, observado nas **Figuras 1 e 2**. Para as amostras com concentração de nanopartículas de 0,1 e 0,01% houve redução importante da quantidade de partículas sedimentadas, não sendo visível sofrimento celular que geralmente confere modificação morfológica da célula

Figura 1: Microscopias de controle das NPs vazias nas concentrações de 1%;0,1% e 0,01%, 24 h após o tratamento.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

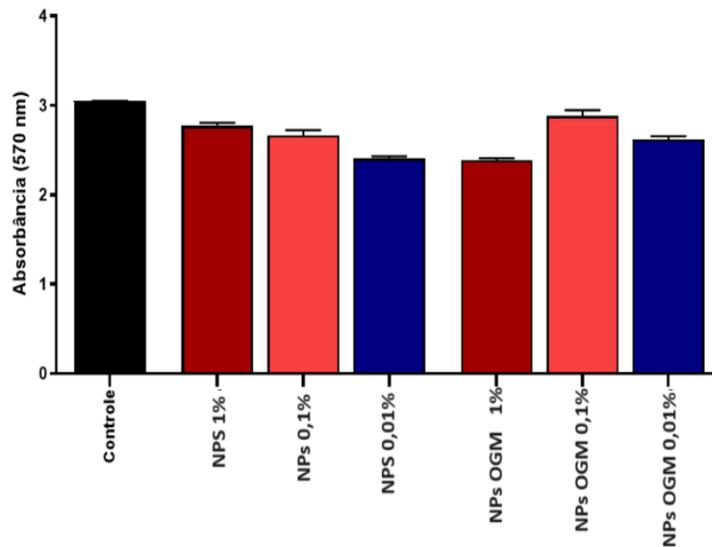
Figura 2: Microscopia de NPs vazias a) controle b) NCO-1% C) NCO-0,1% D) NCO-0,01. Após 24 h de Tratamento



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

Ao longo do tratamento, a análise morfológica dos grupos foi realizada através da microscopia de contraste de fase (Olympus IX71, Olympus America, EUA). As análises estatísticas dos dados foram realizadas utilizando o teste ANOVA com pós-teste de Tukey para comparar vários grupos. O valor de $p < 0,05$ foi considerado como estatisticamente significativo. Os valores da atividade metabólica foram expressos em relação ao grupo controle (100% de atividade metabólica). A atividade metabólica inferior a 75% pode indicar citotoxicidade, as cápsulas se mostraram com atividade metabólica maior que 75% e foi possível observar que as amostras em 1% ficaram mais turvas, diferente das amostras 0,1% e 0,01% que visualmente exibiram uma maior viabilidade celular. A **Figura 3** exibe o efeito das nanopartículas no metabolismo (viabilidade) celular. Por meio dessa análise foi observado que as nanocápsulas apresentaram boa biocompatibilidade, não sendo consideradas tóxicas encontrando um resultado mais viável na concentração de 0,01%.

Figura 3: Viabilidade celular das nanocápsulas. Gráfico de absorvância (nm) x concentração de nanocápsulas



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

ENSAIOS ORGANOLÉPTICOS

A **Tabela 4** apresenta as especificações para as amostras produzidas conforme critérios farmacotécnicos estabelecidos, durante o desenvolvimento do produto e exigências para registro de cosméticos (ANVISA, 2022).

Tabela 4 - Especificações das amostras produzidas conforme critérios farmacotécnicos

Dados Técnicos

Produto	Gel pós sol
Finalidade	Acalmar, refrescar e tratar a pele pós danos por exposição solar
Grau de risco	1
Uso	Tópico
Apresentação	Pump/bisnaga de 40 g

Fonte: Adaptado de ANVISA, 2004.

Percebeu-se que para a avaliação organoléptica a amostra do Hidrogel nanotecnológico apresentou em relação a um perfil de referência segundo o guia de cosmético da ANVISA, 2024 quanto a coloração, odor, aspecto e sensação tátil sem alteração. O Hidrogel apresentou-se na cor Transparente, Aspecto gel homogêneo, odor característico de sálvia, sensação tátil muito agradável e mantendo-se estável macroscopicamente.

POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

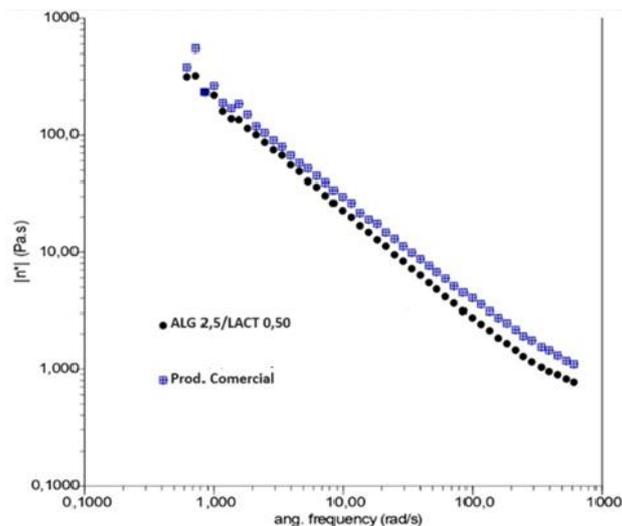
Conforme DECCACHE, 2006, fatores como: a compatibilidade dos componentes da formulação, eficácia, e segurança de uso, possuem relação com a determinação do pH, sendo estes nos estudos de estabilidade um importante parâmetro de monitoração a ser avaliado (DE ALMEIDA, 2020). O potencial hidrogeniônico (pH), da pele dependendo da região do corpo e idade, possui variações entre 4,6 e 6,5, sendo considerado levemente ácido, o que contribui para a proteção da superfície cutânea contra a ação de bactérias e fungos. No estudo, os resultados encontrados de valor de pH do Hidrogel nanotecnológico apresentou-se dentro dos padrões de segurança para aplicação tópica (5,0 – 7,0) sendo, portanto, adequado ao pH cutâneo, o que corrobora para a redução dos riscos de impacto na pele, bem como para a obtenção de um produto mais estável e seguro para uso.

ENSAIO REOLÓGICO

Em geral, formulações que possuem partículas assimétricas, como a maioria dos produtos cosméticos e farmacêuticos, apresentam escoamento não-newtoniano, que normalmente é representado por 3 tipos de curvas: plástica, pseudoplástica e dilatante (Ansel, 2000). Em formulações dermocosméticas, que é o caso do material desenvolvido neste trabalho, o comportamento pseudoplástico é o mais comum. Nesses materiais espera-se que a viscosidade diminua de forma gradual, à medida que a tensão de cisalhamento é aumentada, e, portanto, sua viscosidade não pode ser expressa por um único valor (CORRÊA, CAMARGO, IGNÁCIO., ET AL, 2005). Nesse trabalho, um produto já comercializado (SAFGEL) que tem como base o gel de alginato, também foi analisado como medida de comparação e para verificação se o hidrogel desenvolvido nesta pesquisa atende aos critérios e expectativas comerciais. Observa-se na **Figura 5** que

a viscosidade complexa do hidrogel nanotecnológico apresentou um comportamento pseudoplástico, mostrando que as formulações desenvolvidas nesta pesquisa seguiram o mesmo comportamento reológico do produto comercial e que a adição das nanocápsulas não interfere nesse comportamento.

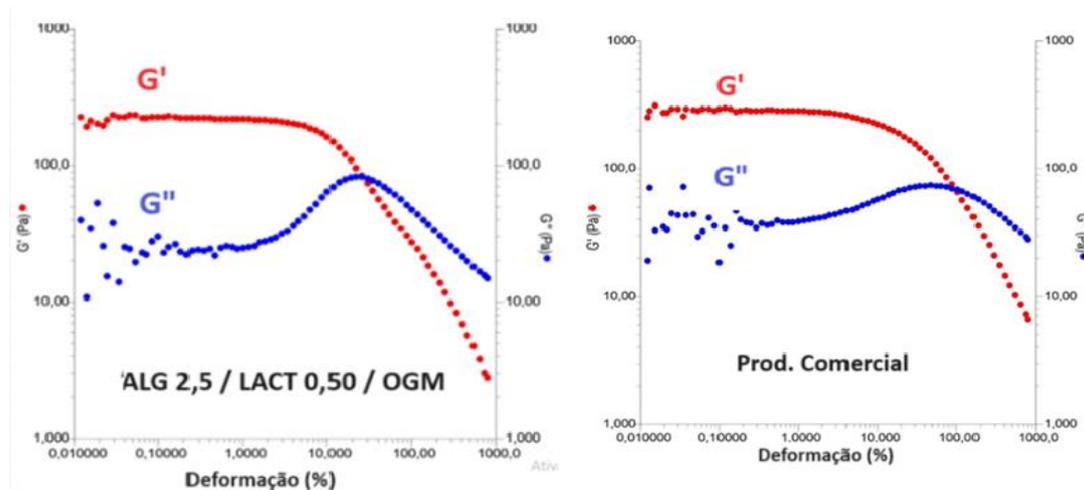
Figura 5: Curvas de viscosidade complexa (n^*) em função da frequência angular (rad/s) do Hidrogel nanotecnológico e o produto commercial SAFGEL



FONTE: Elaborado pelo Autor, 2024.

Além da viscosidade complexa há outros dois importantíssimos parâmetros que avaliam o comportamento reológico de um material, o módulo viscoso ou de perda (G''), que determina a capacidade do fluido em dissipar energia pela forma de calor e o módulo elástico ou de armazenamento (G'), que corresponde a capacidade que o material possuir de armazenar energia. Os resultados mostraram que todas as amostras exibiram o G' maior do que o G'' , apontando que o hidrogel nanotecnológico é um gel verdadeiro, apresentando uma contribuição de propriedades elásticas maior do que de contribuição viscosa. Foi observado sob baixas deformações um efeito platô, em que os géis apresentam $G' > G''$, indicando a estrutura mais sólida, com predominância do módulo elástico, conforme mostra a **Figura 6**. De um modo geral, a presença das nanocápsulas não interferiu de forma significativa na estrutura física do Hidrogel.

Figura 6: Módulo de Armazenamento G' e Módulo viscoso G'' obtidos para o Hidrogel nanotecnológico e produto comercial.



FONTE: Elaborado pelo Autor, 2024.

ESTUDO DE ESPALHABILIDADE

A capacidade que uma formulação tem de se espalhar, quando é submetida a uma determinada força, é determinada pelo teste de espalhabilidade, onde procura-se reproduzir as condições de esforço necessárias para aplicação na pele, e está relacionado com a viscosidade (SPELLMEIER F, 2005). Do ponto de vista sensorial, assim como de eficácia, é muito importante as características de espalhamento de um produto tópico sobre a pele (ISAAC VLB, et al., 2008). A análise de espalhabilidade foi observada pela leitura dos diâmetros abrangidos pela amostra, a partir de um sistema que é formado por uma placa de vidro, uma denominada molde circular, por ter um diâmetro com orifício central de 1,2 cm e 0,2 cm de espessura, e outra denominada suporte, também de vidro 20x20 cm. A placa molde ficará sobre a placa suporte, ambas posicionadas sobre um papel milimetrado (DO MONTE, 2013; BORGHETTI, 2006). Inicialmente com a amostra de hidrogel foi inserida no orifício da placa molde, sendo nivelada na sua superfície, e posterior retirada da placa molde. A cada minute foi colocada sobre a placa molde uma placa de vidro de mesma proporção, e assim se fez por 4 minutos, para então ser verificado o diâmetro que a amostra adquiriu. A espalhabilidade foi calculada segundo a Equação 1.

$$E_i = d^2 \times p / 4$$

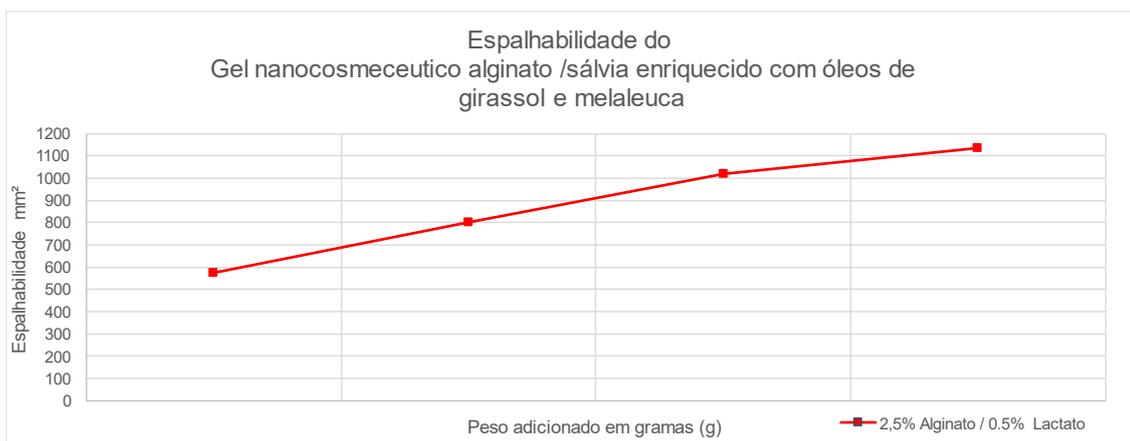
Sendo:

E_i = espalhabilidade da amostra para um determinado peso i (mm^2);

d = diâmetro médio (mm).

De acordo com a **Figura 7**, a espalhabilidade do gel aumentou à medida em que o peso foi adicionado, apresentando assim uma boa espalhabilidade, com capacidade de espalhar-se e abranger o local de ação. Segundo a espalhabilidade e a viscosidade estão atreladas quando consideramos um gel, pois a diminuição de uma, no caso a viscosidade, acarreta em uma melhor distribuição da formulação cosmética na área de contato e consequentemente aumenta a espalhabilidade. Justamente porque a espalhabilidade do produto avalia o teor que este tem de expansão em uma superfície de contato. Uma boa espalhabilidade significa que o ativo teve uma uniformidade e pode influenciar na penetração e eficácia do produto (ESTANQUEIRO; AMARAL; SOUSA LOBO; 2016)

Figura 7: Espalhabilidade da formulação em função do peso adicionado no tempo 4 minutos



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

ESTUDO DA ESTABILIDADE PRELIMINAR

O Estudo da estabilidade preliminar foi realizado num espaço de tempo de 24h até 28 dias, o Hidrogel nanotecnológico de Alginato/sálvia enriquecidos com OGM foi acompanhado e durante esse período observou-se seu comportamento quanto aos aspectos organolépticos e pH. Os resultados observados estão dispostos na **Tabela 5**. Como resultado, observou-se que o hidrogel manteve-se estável nas primeiras 24 h com Luz natural e na Geladeira, ao 21º dia a amostra submetida a luz natural, começou a

apresentar ligeiras alterações, como pode ser observado na Figura 42, e assim se manteve, com estas modificações ao longo dos 28 dias. A amostra apresentou alteração de cor, ficando mais amarelada e alteração no odor com cheiro forte de fermentação, possivelmente proveniente da degradação do polissacarídeo. Não foi realizado teste de sensação tátil por medida de segurança e com 28 a amostra exibiu um comportamento mais fluido.

Tabela 5: Resultados do estudo da estabilidade preliminar do Hidrogel nanotecnológico enriquecido com óleos de Girassol e melaleuca (OGM)

Legenda: N:normal/ M:modificada/ AG: Agradável/ PA: pouco agradável/ MA: Muito agradável.

Fonte: Adaptado de Guia de estabilidade em cosmeticos. (ANVISA, 2004)

Observou-se dentro dos 28 dias, que dentro da geladeira e com refrigeração o Hidrogel nanotecnológico se manteve estável principalmente quanto à característica de odor e cor, não apresentando odor alterado, nem mudança na cor. Essa característica pode ser atribuída a presença da nanocápsulas, pela análise preliminar. A sensação tátil foi muito agradável e comportamento exibido foi de Hidrogel, definido como normal, dentro dos padrões do guia de cosméticos (ANVISA,2004).

CONCLUSÃO

Concluiu-se que o método escolhido para o nanoencapsulamento do óleo OGM

Condições de Estudo	Luz natural (25° +- 5°)					Geladeira (5° +- 2° C)				
	24h	7d	14d	21d	28d	24h	7d	14d	21d	28d
Aspecto	N	N	N	M	M	N	N	N	N	N
Cor	N	N	N	M	M	N	N	N	N	N
Odor	N	N	N	M	M	N	N	N	N	N
Avaliação tátil	AG	PA	PA	-	-	M A	M A	M A	MA	MA

foi efetivo no que tange ao tamanho desejado, homogeneidade e viabilidade das nanocápsulas, confirmando que a abordagem nanotecnológica pode ser empregada como estratégia para que seja alcançada uma permeabilidade otimizada na pele dos ativos calmantes e cicatrizantes para tratamento de queimaduras por exposição solar.

Quanto ao hidrogel nanotecnológico desenvolvidos a partir da inserção das nanocápsulas carregadas com OGM, a formulação de Alginato de sódio 2,5% e Lactato de cálcio 0,5% apresentou as características reológicas apropriadas, a avaliação organoléptica se mostrou segura, o pH aceito para pele com a forma estável, sendo confirmado pelo teste de espalhabilidade. Em suma, apesar da necessidade de mais testes para a confirmação dos efeitos terapêuticos e de liberação dos ativos, a compilação dos resultados obtidos neste estudo mostra uma perspectiva muito favorável para a aplicação do hidrogel nanotecnológico enriquecido com óleos de girassol e melaleuca indicando seu potencial uso para a aplicação proposta neste estudo, que são para tratamento de queimaduras provocadas por exposição à radiação solar.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Capes - Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal De Nível Superior pelo apoio nesse projeto.

REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Guia de controle de qualidade de produtos cosméticos. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2a edição, revista – Brasília: ANVISA, 2008.

BOHJANEN, K. "Estrutura e funções da pele." *Dermatologia Clínica*. Seção I Bases para diagnóstico e tratamento, 2017. Disponível em : <https://www.booki.pt/userfiles/files/loja/preview/9788580553796.pdf>.

CORREIA, Iara Michelle Silva et al. Avaliação das potencialidades e características físico-químicas do óleo de Girassol (*Helianthus annuus* L.) e Coco (*Cocos nucifera* L.) produzidos no Nordeste brasileiro. **Scientia plena**, vol. 10, n. 3, 2014. Disponível em : <https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/view/1584>.

CHING,H,S; BANSAL,N; BHANDARI,B. Partículas de gel de alginato – Uma revisão de técnicas de produção e propriedades físicas, **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, vol. 57, nº 6, p.1133-1152, 2017. Disponível em: DOI:10.1080/10408398.2014.965773.

DECCACHE DS. Formulação dermocosmética contendo DMAE glicolato e filtros solares: desenvolvimento de metodologia analítica, estudo de estabilidade e ensaio biometria cutânea. Rio de Janeiro: UFRJ/ Faculdade de Farmácia, 2006

DE ALMEIDA TOMAZ²⁹, Beatriz Martins; DE OLIVEIRA³⁰, Sabryna Ferreira; DA SILVA³¹, Rondenelly Brandão. PREPARAÇÃO DE UM CREME DE USO TOPICO PARA LIPODISTROFIA GINÓIDE DE COFFEA ARABICA E ANADENANNThera COLUBRINA. **NOTA DO COORDENADOR DO CURSO DE FARMÁCIA DA FACULDADE DE ENSINO SUPERIOR DE FLORIANO**, ISBN: 978-85-65182-16-4, 2020. Disponível em: [CADERNO-DE-PESQUISA-DE-FARMACIA-VOL-I.pdf](#) (faesfpi.com.br).

ESTANQUEIRO, M.; AMARAL, M. H.; SOUSA LOBO, J. M. Comparison between sensory and instrumental characterization of topical formulations: impact of thickening agents. *International Journal of Cosmetic Science*, [S.l.], v. 38, p.389- 398, ago. 2016.

ISAAC VLB, CEFALI LC, CHIARI BG, et al. Protocolo para ensaios físico-químicos de estabilidade de fitocosméticos. *Revista de Ciências Farmacêuticas básica e Aplicada*, v. 29, n. 1, p 81-96, 2008.

KUMARI, A;YADAV, S.K; YADAV,S.C. Sistemas de distribuição de medicamentos baseados em nanopartículas poliméricas biodegradáveis, *Colloids Surfaces B Biointerfaces* Vol. 75, p.1,18, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfb.2009.09.001>.

LADEIRAS, Diogo Filipe Bernardo et al. **Estudo de compostos bioactivos e actividades biológicas do alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.)**. 2015. Dissertação de Mestrado.

MOREIRA, C. C; PATTUSSI, M. P; TONANTZIN, R. G. "Queimadura solar e fatores associados em universitários brasileiros." *Aletheia*, Vol. 56, nº 1, 2023. Disponível em: <http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/aletheia/article/view/6975>.

MONTE, Graciane Costa do. Desenvolvimento e avaliação da estabilidade física de condicionador capilar contendo óleo de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). 2013.

PIRES, V. C. *Avaliação do potencial larvicida do óleo essencial de melaleuca alternifolia e sua formulação em nanocápsulas poliméricas*. Diss. Instituto Gonçalo Moniz, 2019. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/34868>. Acesso em 12 de fev. 2024.

RAHETE, N.P; ZODPEY, S.P; KAMBLE, K.M. Eficácia da vacinação com Bacillus Calmette Guerin (BCG) na prevenção da hanseníase: um estudo de caso-controle de base populacional em Raipur, Índia. **Jornal Indiano de Saúde Pública**, v. 2, pág. 86-90, 2007.

ROCHA, Katia Flavia. ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE ÓLEOS DE GIRASSOL USADOS COMO AGENTES CICATRIZANTES. 2022.

SANTOS, Débora Silva. Desenvolvimento e avaliação do potencial antioxidante in vitro de nanoformulações contendo óleo do fruto orbignya phalerata martius. 2016.

SANTOS, S. S "Desenvolvimento de formulações nanotecnológicas para o tratamento da candidíase vulvovaginal.", 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/5981>.

STECCO, Carla. **Functional atlas of the human fascial system**. Elsevier Health Sciences, 2014.

SPELLMEIER F. Estudo comparativo entre dois métodos de produção de bases emulsionadas através da estabilidade acelerada. 2005. 98 f. Monografia (Graduação) – Curso de Farmácia, Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, nov. 2005.

VIOTII,C. Como se classifica uma queimadura solar? Apenas o bronzeado pode ser considerado queimadura solar? **Queimaduras solares**, Rede Mater, 2023. Disponível em: <https://www.materdei.com.br/blog/queimaduras-solares>.