PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DOS BIOMATERIAIS: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O MICÉLIO E O CÂNHAMO

TEIXEIRA, Joyce[1] (joyce.teixeira@fau.ufrj.br); *DI TRAPANO, Patrizia*[2] (patrizia.trapano@fau.ufrj.br); *CALDAS, Lucas*[3] (lucas.caldas@fau.ufrj.br)
[1]Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil
[2]Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil
[3]Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil

Palavras-chave: Biomateriais não convencionais, Micélio, Cânhamo, Concreto de cânhamo, Revisão

Resumo
Os materiais construtivos convencionais consomem muita energia e recursos naturais, que estão ficando cada vez mais escassos. O maior entendimento das mudanças climáticas e impactos ambientais têm aumentado o interesse na busca por materiais mais eficientes e alternativos aos convencionais, como os biomateriais, sendo esses: o bambu, o cânhamo, o micélio, o linho, entre outros. Destacam-se pelo seu baixo custo, a partir da utilização de recursos naturais mais baratos, e pelo seu baixo impacto ambiental e de pegada de carbono, ao consumir menos energia em sua produção, além de serem totalmente biodegradáveis. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar as relações existentes entre dois destes biomateriais não convencionais: o micélio e o cânhamo, analisando suas propriedades físicas e mecânicas, além das possíveis aplicações com esses materiais, correlacionando os dados encontrados na literatura para contextualização, por meio de uma tabela síntese. A partir da revisão da literatura foi possível verificar as vantagens e desvantagens de cada material, identificando as lacunas científicas existentes para futuras pesquisas.

1 INTRODUÇÃO

A questão ambiental tem sido um dos grandes desafios da contemporaneidade. Pelo relatório da *Global Alliance for Buildings and Construction* (2019), "o setor de edificações e construção no mundo é responsável por 36% da energia final e 39% das emissões de CO_2, das quais 11% correspondem à fabricação de materiais como aço, cimento e vidro". Assim, percebe-se que os materiais construtivos convencionais consomem muita energia e recursos naturais, que estão se tornando cada vez mais limitados, devido ao aumento populacional, que pelas projeções da ONU, de por meio do relatório *World Population Prospects* (2022), chegaremos a marca de 8,5 bilhões de pessoas em 2030.

Abdelhady et al. (2023) observam que o maior entendimento acerca das mudanças climáticas e dos impactos ambientais têm aumentado o interesse na busca por materiais mais eficientes e alternativos aos convencionais. Neste contexto, segundo Jones et. al (2020), o estudo a partir do crescimento de fungos filamentosos, também conhecidos por micélio, tem atraído interesse acadêmico e comercial, principalmente nesta última década, como uma opção produtiva de baixa energia e de reutilização de resíduos agrícolas. Isto significa que os materiais produzidos a partir do micélio possuem algumas vantagens em relação aos convencionais, destacando-se pelo seu baixo custo, a partir da utilização de recursos naturais mais baratos, e pelo seu baixo impacto ambiental e de pegada de carbono, ao consumir menos energia em sua produção. Além disso, Jones et. al (2020) afirmam que são totalmente biodegradáveis, podendo ao final de sua vida útil, retornar para composteiras, contribuindo

com a economia circular, se mostrando como uma nova possibilidade para a construção sustentável.

Nesse contexto, Kallakas et al. (2018) afirma que o uso de fibras naturais como cânhamo e linho, também tem surgido como opção viável, porque além de serem baratos, são amplamente utilizados, especialmente na Europa, e possuem boas propriedades físicas e mecânicas, reiterando que o interesse pelo uso de fontes renováveis tem crescido de maneira geral.

2 OBJETIVO

Analisar as relações existentes entre dois biomateriais não convencionais, como suas propriedades físicas e mecânicas, além das possíveis aplicações com esses materiais, correlacionando os dados encontrados com a literatura para contextualização, por meio de uma tabela síntese. A partir da Revisão da literatura será possível verificar as vantagens e desvantagens de cada material, a fim de identificar as lacunas científicas existentes.

3 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

Propõe-se uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), por meio de mapeamento de artigos já publicados acerca da produção e experimentação de compósitos derivados do micélio e do cânhamo. Assim, seguindo a metodologia proposta, foram estabelecidos palavras-chave e critérios de exclusão para os filtros nas pesquisas a fim de estabelecer um recorte, ou seja, uma quantidade mínima de artigos que deveriam ser lidos sobre o assunto em questão. Estabeleceu-se que as buscas dos artigos seriam por meio da base de dados Scopus, após alguns testes, foram escolhidas as seguintes palavras-chave: *[“mycelium” and “construction”] e [“hemp” and “construction” and “property”]*. Após a pesquisa das palavras-chave, foram elencados alguns critérios de exclusão na busca dos artigos, como: o período deveria ser entre 2018 a 2023, nas áreas da Engenharia, Ciência Ambiental e Ciências Sociais (que engloba o setor de Arquitetura e Urbanismo), na sua fase de publicação final, e a linguagem em inglês, encontrando assim, 30 e 45 artigos, respectivamente.

Em uma segunda filtragem, foi estabelecido três critérios de eliminação a partir de uma revisão manual, de tal forma que, quando o título, resumo ou o artigo completo não indicassem a questão da pesquisa, o artigo seria excluído da lista. Dos artigos encontrados, foram lidos os resumos de cada um, e aqueles que foram aprovados pelos critérios citados, seguiram para uma análise qualitativa, totalizando treze artigos. No entanto, foram selecionados apenas sete, sendo estes, três relativos ao micélio e quatro acerca do cânhamo, em que se destacaram os pontos mais importantes para a realização do objetivo desta pesquisa.

Dessa forma, Jones et al. (2020) e Girometta et al. (2019), reúnem em suas análises, uma revisão geral da literatura, abordando a produção e as propriedades dos compósitos de micélio, e Abdelhady et al. (2023) estudam novos sistemas modulares, a fim de promover aplicações arquitetônicas que utilizem os compósitos a base de micélio. Assim como, Kallakas et al. (2018) e Gaujena et al. (2020), abordam em seus estudos as propriedades físicas e mecânicas e de materiais de isolamento à base de cânhamo. Yadav et al. (2022) abordam as aplicações com o cânhamo, com destaque para o *hempcrete*, um tipo de concreto feito a partir das fibras de cânhamo.

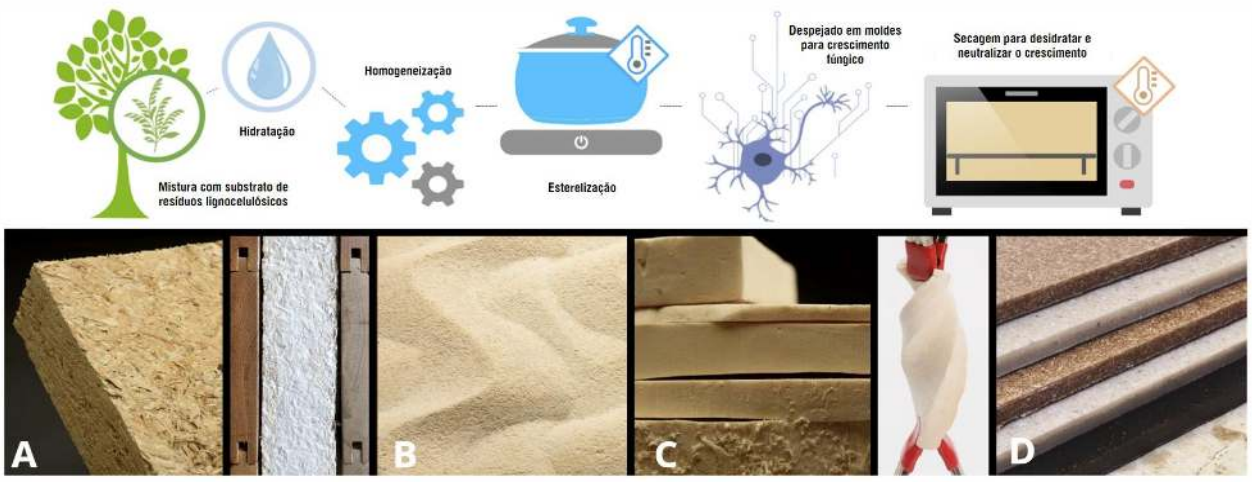
4 RESULTADOS

4.1 Micélio – Propriedades e Aplicações

Girometta et al. (2019) afirmam que os primeiros estudos utilizando o micélio como biomaterial, começaram em 1991, com o cientista japonês Shigeru Yamanaka, que analisou a produção de papel e materiais construtivos a partir das raízes dos fungos. Já na Europa, a pesquisa foi iniciada na Holanda, aproximadamente em 2010, a partir da criação do estúdio Officina Corpuscoli, fundado por Maurizio Montalti, a partir disso, foram intensificados os testes utilizando a tecnologia do micélio na indústria europeia. Desde então, blocos de micélio têm sido analisados e explorados em vários protótipos e ensaios de teste, a fim de viabilizar sua comercialização.

Para entender o processo de produção, é importante explicar primeiramente como acontece o crescimento dos fungos. A parte frutífera, conhecida como cogumelo, não tem sido o alvo desses estudos, mas sim suas raízes, que são compostas de hifas, formando uma grande rede micelial. Dessa forma, quando o fungo encontra um local propício para germinar, o micélio se converte em uma espécie de cola, que aglutina todo o substrato, deixando-o mais rígido, formando um bloco sólido. Esse substrato pode ser composto por diversos resíduos lignocelulósicos agrícolas de baixo custo, dentre eles: serragem, madeira moída, palha, entre outros. Assim, a consistência e as propriedades físicas desse bloco de micélio, irão depender, sobretudo, da composição do substrato.

Figura 1. Processo de produção do micélio e algumas aplicações com o material.



A) PAINÉIS DE PAREDE DE NÚCLEOS DE PORTA; B) ESPUMA ACÚSTICA; C) ESPUMA DE ISOLAMENTO FLEXÍVEL; D) PISO LAMINADO INFUNDIDO COM RESINA

Segundo Jones et al. (2020), as misturas com grãos de trigo, apesar de serem mais caras, são usadas quando se deseja um melhor resultado em relação às propriedades mecânicas. Assim, após a escolha do substrato, o material é embebido em água, sofrendo o processo de hidratação, sendo esta primeira etapa, primordial para o crescimento fúngico (Fig. 1). Em seguida, a mistura é homogeneizada, em um liquidificador ou moedor, para aumentar a área de superfície de crescimento. O material macerado é então esterilizado, por meio de uma autoclave, que mantém o material hidratado, removendo as bactérias existentes. Após esse

processo, o material é despejado em moldes (com formato da geometria desejada) e inicia-se o processo natural de crescimento dos fungos. Após a inoculação, o material é armazenado em temperatura ambiente, ou controlada de 25ºC a 27ºC, por um período de crescimento de dias ou meses, a depender da espécie de fungo, do substrato utilizado, e da temperatura mantida. Após este processo, os compósitos podem ser removidos dos moldes e prensados a quente ou secos em estufa, para desidratar e neutralizar o crescimento fúngico, endurecendo o material. Salienta-se que a prensagem garante propriedades mecânicas melhores. A prensagem a fria garantiu uma melhoria na resistência à tração (0,01 MPa a 0,03) e aumentou os módulos de elasticidade (2 MPa a 9 MPa), isto acontece, porque a prensagem consolida os compósitos, reduzindo a porosidade e aumentando a densidade do material.

Nesse contexto, Jones et al. (2020) apontam que os compósitos apresentaram uma densidade variando entre 60 e 300 kg/m3. Quando utilizado palha na mistura, obteve-se densidades mais baixas (60–130 kg/m3) do que a serragem (87-300 kg/m3). Já em relação à tração, os estudos apontaram que os substratos com serragem possuem uma resistência mais elevada (0,05–0,18 MPa) em relação a palha (0,01–0,04 MPa). Em relação a condutividade térmica, os painéis de micélio são isolantes térmicos de alto desempenho, principalmente porque a palha e as fibras de cânhamo, quando utilizadas na mistura, possuem baixa densidade (57–99 kg/m3) e baixa condutividade térmica (0,04–0,08 W/mÿK), competindo com outros materiais isolantes tradicionais, como a lã de vidro (57 kg/m3 e 0,04 W/mÿK) e o poliestireno extrudado (34 kg/m3 e 0,03 W/mÿK). Além de um bom isolante térmico, o micélio possui bom desempenho acústico de baixa frequência. Os melhores substratos para absorção acústica foram a palha de arroz (52 dBa), cânhamo (53 dBa), linho (53,5 dBa) e fibra do cereal sorgo (54 dBa). Esta condição ocorre dada a natureza porosa e fibrosa dos compósitos de micélio, sabendo que materiais menos densos absorvem melhor sons de baixa frequência (500 Hz), enquanto materiais mais densos são melhores para frequências mais altas (2000 Hz).

Além disso, o material possui uma grande limitação que é a tendência em absorver água rapidamente, aumentando seu peso entre 40 a 580%, após 2 a 8 dias de contato, ou seja, esse material não é indicado para aplicações em meios externos ou áreas internas molhadas, como cozinhas e banheiros.

Girometta et al. (2019) exploram as propriedades de resistência ao fogo, afirmando que a própria composição celular fúngica não contribui com a capacidade de retardar o fogo, seguindo assim, o processo de degradação em três fases: Inicialmente, a água livre evapora entre 25°C e 200°C; depois, há uma perda de massa bem maior entre 200°C e 375°C; e por fim, a decomposição entre 280ºC e 290°C.

Em resumo, os compósitos de micélio tem resistência à tração (0,03–0,18 MPa), compressão (0,17–1,1 MPa) e resistência à flexão (0,05–0,29 MPa) semelhantes às espumas de poliestireno (0,15–0,7 MPa, 0,03–0,69 MPa e 0,07–0,70 MPa, respectivamente), no entanto, são bem mais fracos do que produtos de madeira compensada (10–44 MPa, 8–25 MPa e 35–78 MPa, respectivamente), ou seja, não são indicados para nenhuma aplicação estrutural, sendo mais adequados para utilização como núcleo de portas, painéis sanduíches e até mesmo pisos e móveis.

Em relação às aplicações arquitetônicas, o método mais comum tem sido a montagem de pequenos blocos que formam uma estrutura maior, isso porque, de acordo com Abdelhady et al. (2023), o micélio possui boas propriedades mecânicas de compressão. Um dos primeiros

exemplos construtivos que adotou o micélio em larga escala foi a Hy-Fi Tower (Fig. 2) uma edificação construída no pátio do MoMA PS1 em Nova York, em 2014, desenvolvida em parceria com o estúdio de arquitetura The Living e a empresa Ecovative Design, que possui expertise no desenvolvimento de biomateriais. Para esta construção foram confeccionados “tijolos” de micélio, produzidos em menos de uma semana, a partir de resíduos de talos de milho picados, misturados dentro de moldes, que depois se solidificaram, e conseguiram erguer uma torre de 12 metros de altura. Ao fim da exposição, que durou cerca de dois meses, a estrutura foi desmontada e os tijolos foram transportados de volta para composteiras.



Figura 2. Hy-Fi Tower.

Outro exemplo é a MycoTree (Fig. 3), do Instituto de Tecnologia alemão de Karlsruhe, o Grupo de Pesquisa de Zurique e o Laboratório de Futuras Cidades de Singapura, que foi exibido na Bienal de Arquitetura e Urbanismo de Seul, em 2017. O projeto utilizou de ferramentas digitais para projetar a geometria de cada componente, utilizando sua capacidade estrutural de compressão. No processo, placas de bambu e peças de metal foram incorporadas aos blocos de micélio, funcionando com uma espécie de junta, transferindo as cargas de uma peça para outra.

Além desses exemplos, existem outros protótipos arquitetônicos sendo desenvolvidos, especialmente na última década. É importante destacar, inclusive, a produção dos autores Abdelhady et al. (2023), que desenvolveram uma pesquisa no intuito de fabricar peças de micélio em pequena escala, para serem aplicadas em sistemas modulares, interligadas por meio de um sistema de intertravamento. O estudo envolveu simulação computacional, testando vários tipos de módulos até alcançar o formato ideal de encaixe entre as peças, resultando em uma forma geométrica que isentasse o uso de peças extras para fixação. Como resultado, a pesquisa evidencia a importância de identificar as características e propriedades dos blocos de micélio, além de incentivar o uso de programas computacionais para o desenvolvimento de geometrias construtivas mais complexas.



Figura 3. MycoTree.

4.2 Cânhamo – Propriedades e Aplicações

Pela definição de Kallakas et al. (2018), o cânhamo é uma planta que possui fibras liberianas no caule, ou seja, que ajudam na sustentação do tecido condutor da seiva. Essas fibras são utilizadas como fonte para produção de isolantes térmicos e biocompósitos. O cânhamo pode ser cultivado em diferentes tipos de solo, sendo considerado um tipo de cultura resistente, adaptável e ecológica. Após a colheita, que dura em torno de quatro meses após o plantio, as fibras liberianas devem ser separadas do resto da planta para que possam ser utilizadas as fibras de cânhamo. Esta separação pode ocorrer por meio de maceração com água após o processo de extração mecânica.

Nesse sentido, Kallakas et al. (2018) compararam em seu estudo, materiais de isolamento à base de fibra de cânhamos com materiais à base de madeira, e encontraram valores de densidade média do painel de cânhamo fabricado pelo método seco de aproximadamente 544 kg/cm³, equivalente a 25% menos denso que o painel de madeira, com espessura de 13 a 22mm. Em relação ao inchaço médio da placa de fibra de cânhamo feita pelo método úmido foi de 8,97% e sua absorção média de água foi de 480,11%, mostrando que os painéis de cânhamo são frágeis ao contato com água. Em relação à resistência à tração, testada em uma placa de fibra de cânhamo com espessura de 13 a 22 mm, foi de 0,75 MPa, apresentando uma tração média no método seco de 0,015 MPa. Em relação à flexão, o aglomerado de cânhamo apresentou resistência média à flexão de 7 MPa, que se mostrou 12% maior do que a resistência à flexão do aglomerado de madeira.

O estudo de Gaujena et al. (2020) revelou que o fator de condutividade térmica médio é de 0,0544 W/mK para a primeira série de amostras, 0,0594 W/mK para a segunda série e 0,0655 W/mK para a terceira série, e também alerta para a desvantagem da absorção de água ser bem alta.





Figura 4 e 5. Utilização do *hempcrete* nas construções.

Outro estudo revela o potencial desse material utilizado como agregado na produção de concreto. Nesse sentido, Yadav e Saini (2022) apontam que os biomateriais têm sido cada vez mais utilizados na indústria da construção civil devido ao seu bom isolamento térmico e podendo ser utilizados como agregados para misturas de concreto não estrutural, os chamados bioconcretos. O concreto à base de cânhamo, também conhecido como *hempcrete* (Fig. 4 e 5) tem sido utilizado como uma alternativa em relação aos materiais tradicionais construtivos, pois a quantidade de absorção de CO_2 na vida útil é maior do que a produção de CO_2 durante as fases de fabricação, transporte e construção desses bioconcretos. Além disso, também oferece outras vantagens como resistência ao fogo, robustez, alta eficiência energética, resistência natural ao mofo, além de não ser tóxico.

4.3 Tabela síntese

Reuniu-se por meio de uma tabela síntese (Figura 6) os dados encontrados na revisão da literatura para contextualização e comparação das principais informações dos materiais analisados.

PROPRIEDADES / MATERIAIS	MICÉLIO	CÂNHAMO
DENSIDADE	60 a 300 kg/m3	544 kg/cm3
TRAÇÃO	0,03 – 0,18 MPa	0,75 MPa
FLEXÃO	0,05 – 0,29 MPa	7 MPa
CONDUTIVIDADE TÉRMICA	0,04 – 0,08 W/mK	0,0594 W/mK
ABSORÇÃO MÉDIA DE ÁGUA	40 a 580%	480%
ABSORÇÃO ACÚSTICA	54 dBa	53 dBa

Figura 6 – Tabela síntese comparando os dados das propriedades do Micélio e do Cânhamo.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que apesar dos compósitos de micélio mostraram-se inadequados para qualquer uso estrutural e em ambientes externos, por conta de sua baixa densidade, eles possuem diversas vantagens em sua utilização, principalmente quando comparados aos materiais construtivos convencionais, sendo recomendado para ser utilizado, principalmente, como isolante termoacústico, podendo ser aplicado em núcleos de porta, como espumas, painéis e pisos.

No que diz respeito às lacunas científicas detectadas ao longo da pesquisa, percebeu-se dois problemas: o primeiro é em relação ao tempo de duração dessas construções com o micélio, que por terem sido testadas recentemente, não se sabe ao certo a durabilidade deste material, e o segundo é que grande parte das pesquisas estão sendo desenvolvidas por empresas pioneiras no assunto, e embora detenham muita expertise, muitos detalhes técnicos não foram revelados devido ao sigilo industrial, que limita o conhecimento e a experimentação com o material.

Em relação ao cânhamo, assim como o micélio, é um material que possui diversos benefícios como a redução de emissão de gases de efeito estufa, contribuírem com a produção local, a partir da reutilização de resíduos agrícolas. No entanto, ambos os materiais são super absorventes de água, o que exige muito cuidado no armazenamento e transporte desses materiais. Outro ponto desfavorável em relação ao cânhamo é que sua aplicação é ideal em países com invernos mais rigorosos, ou seja, sua aplicação no Brasil como isolante térmico seria mais adequada apenas em algumas regiões, com temperaturas mais frias.

Nesse contexto, é indiscutível a grande potencialidade de ambos os materiais, que podem contribuir, inclusive, para uma logística reversa de produção, permitindo que os materiais utilizados em sua fabricação, retornem posteriormente para suas respectivas cadeias produtivas, contribuindo com a economia circular.

Diante de toda a problemática já exposta, a relevância deste tema ocorre com a contribuição na busca por materiais sustentáveis não convencionais, como forma de mitigar os impactos ambientais, em especial, na construção civil. Assim, acredita-se que por meio desta breve pesquisa, será possível expandir o conhecimento sobre a forma que projetamos, e consequentemente, construímos o mundo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdelhady, O.; Spyridonos, E.; Dahy, H. (2023). Bio-Modules: mycelium-based composites forming a modular interlocking system through a computational design towards sustainable architecture. Designs. Egito, p. 20. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/designs7010020>

Brasil. Nações Unidas. (2022). População mundial chegará a 8 bilhões em novembro de 2022. 2022. Disponível em:<https://brasil.un.org/pt-br/189756-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-chegar%C3%A1-8-bilh%C3%B5es-em-novembro-de-2022>

Gaujena, B. et al. (2020). Analysis of Thermal Parameters of Hemp Fiber Insulation. Energies. Latvia, p. 6385. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13236385>

Girometta, C.; Picco, A. M.; Baiguera, R. M.; Dondi, D.; Babbini, S.; Cartabia, M.; Pellegrini, M.; Savino, E. (2019). Physico-Mechanical and Thermodynamic Properties of Mycelium-Based Biocomposites: a review. Sustainability. Itália, p. 281. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11010281>

Global alliance for buildings and construction, (2019), Relatório da Global Alliance aponta o caminho para reduzir o impacto da construção civil. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/relatorio-da-global-alliance-aponta-o-caminho-para>

Jones, M.; Mautner, A.; Luenco, S.; Bismarck, A.; John, S. (2020). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: a critical review. Materials & Design. Austrália. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108397>

Kallakas, H. et al. (2018). Mechanical and physical properties of industrial hemp-based insulation materials. Proceedings Of The Estonian Academy Of Sciences. Estônia, p. 183-192. 03 maio 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3176/proc.2018.2.10>

Yadav, M.; Saini, A. (2022). Opportunities & challenges of hempcrete as a building material for construction: an overview. Materials Today: Proceedings. Rajasthan, p. 2021-2028. Disponível em:< https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.576>

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela bolsa de estudo concedida, código de financiamento 001.