



**DIEGO BORGES SILVA**

**UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE PYTHIUM  
APHANIDERMATUM COMO REFORÇO FIBROSO  
EM MATRIZES CIMENTICAS.**

**LAVRAS - MG  
2023**

**DIEGO BORGES SILVA**

**UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE PYTHIUM APHANIDERMATUM COMO REFORÇO  
FIBROSO EM MATRIZES CIMENTICAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras como parte  
das exigências do Curso de Engenharia Civil,  
para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Saulo Rocha Ferreira  
Orientador

**LAVRAS - MG  
2023**

**DIEGO BORGES SILVA**

**UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE PYTHIUM APHANIDERMATUM COMO REFORÇO  
FIBROSO EM MATRIZES CIMENTICAS.**

**USE OF PYTHIUM APHANIDERMATUM FIBERS AS FIBROUS  
REINFORCEMENT IN CEMENT MATRIX.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras como parte  
das exigências do Curso de Engenharia Civil,  
para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Saulo Rocha Ferreira, UFLA  
Dra. Gabrielle Avelar Silva, UFLA  
M.Sc. Diogo Antônio Correa Gomes, UFLA

Prof. Dr. Saulo Rocha Ferreira  
Orientador

**LAVRAS - MG  
2023**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pelo dom da vida e do entendimento.

Aos meus pais Francisco e Edilma, pelos maiores e melhores ensinamentos e por tornarem esse sonho possível.

À minha namorada Renata, pela compreensão e apoio nos dias difíceis.

A minha avó, pelas orações.

Ao meu orientador Saulo Rocha, pelo incentivo, direcionamento, compreensão, confiança, pelas oportunidades e pela disposição em ajudar nos desafios encontrados durante a pesquisa.

A Laércio Mesquita e Gabrielle Avelar, pelo apoio e por serem fundamentais para que essa pesquisa crescesse e rendesse tantos resultados.

Aos membros do Laboratório de Fitopatologia Florestal pela disposição e ajuda nos trabalhos desenvolvidos.

A todos os professores, desde o ensino básico até a Engenharia Civil, por terem contribuído na minha formação acadêmica e pessoal.

Aos amigos que fiz durante a vida, pelo apoio e por fazer com que essa trajetória fosse menos difícil.

A todos aqueles que conheci durante a caminhada na Iniciação Científica, graduandos, mestrandos, doutorandos, pós-doutorandos, doutores e técnicos, e que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.

Ao Programa de Bolsas Institucionais de Iniciação Científica da Universidade Federal de Lavras, pela bolsa de estudos.

Muito obrigado!

*“Toda a ciência começa como filosofia e  
termina em arte.” (Will Duran)*

Resumo geral do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à UFLA como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

## **UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE PYTHIUM APHANIDERMATUM COMO REFORÇO FIBROSO EM MATRIZES CIMENTICAS.**

**Diego Borges Silva**

**Março, 2023.**

### **RESUMO**

A aplicação de reforços à base de celulose em matrizes cimentícias é uma técnica que tem sido cada vez mais estudada e utilizada na construção civil devido às suas propriedades únicas que melhoram a resistência e a durabilidade dos materiais. Esses reforços, em escala micro ou nanométrica são adicionados ao concreto, melhorando sua resistência mecânica e sua capacidade de resistir ao processo de fissuração. Diante desses benefícios trazidos pela fibra de celulose, foi então idealizadas formas de obter essa fibra por meio natural e em grande escala. Partindo desse pressuposto, foi então escolhido para essa função o oomiceto *Pythium aphanidermatum*, devido à sua estrutura e grande capacidade de produzir celulose e também por ser natural e facilmente produzido em grande escala. Além disso, já foram estudadas outras aplicações utilizando dessas características do oomiceto, sendo ela a aplicação do Pythium como agente autocicatrizante em matrizes cimentícias, onde pôde ser observado que ele de fato melhora as características do material atuando não só como um excelente autocicatrizante, não apenas selando a fissura, como também recuperando sua resistência na região fissurada. Diante do exposto, visando a possibilidade de agregar valor ao material através do desenvolvimento de novas tecnologias, a presente pesquisa objetivou avaliar experimentalmente a utilização do oomiceto *Pythium aphanidermatum* como microfibras de celulose agindo como um reforço em matrizes a base de cimento. Os resultados serão apresentados em formato de artigo. Foram utilizadas técnicas como a cura térmica para acelerar o processo de cura das amostras, onde as mesmas foram colocadas em banho maria a uma temperatura fixa de 80°C. Para o ensaio de compressão foi utilizado uma máquina universal de ensaios mecânicos com uma célula de 500kgf. Os ensaios mostraram que o *Pythium aphanidermatum* possui as características favoráveis pra ser utilizada como reforço e mostra um grande potencial pra ser utilizada na construção civil.

**Palavras-chave:** Pythium aphanidermatum. Celulose, Reforço.

General abstract of the Course Conclusion Work presented to UFLA as part of the Civil Engineering Course requirements, to obtain a Bachelor's degree.

## **USE OF PYTHIUM APHANIDERMATUM FIBERS AS FIBROUS REINFORCEMENT IN CEMENT MATRIX.**

**Diego Borges Silva**

**March, 2023.**

### **ABSTRACT**

The application of cellulose-based reinforcements in cementitious matrices is a technique that has been increasingly studied and used in civil construction due to its unique properties that improve the strength and durability of materials. These reinforcements, on a micro or nanometric scale, are added to the concrete, improving its mechanical strength and its ability to resist the cracking process. Given these benefits brought by cellulose fiber, ways to obtain this fiber naturally and on a large scale were devised. Based on this assumption, the oomycete *Pythium aphanidermatum* was chosen for this function, due to its structure and great capacity to produce cellulose and also because it is natural and easily produced on a large scale. In addition, other applications using these characteristics of the oomycete have already been studied, namely the application of *Pythium* as a self-healing agent in cementitious matrices, where it could be observed that it actually improves the characteristics of the material acting not only as an excellent self-healing agent, not only sealing the fissure, as well as recovering its resistance in the fissured region. Given the above, aiming at the possibility of adding value to the material through the development of new technologies, this research aimed to experimentally evaluate the use of the oomycete *Pythium aphanidermatum* as a cellulose microfiber acting as a reinforcement in cement-based matrices. The results will be presented in article format. Techniques such as thermal curing were used to accelerate the curing process of the samples, where they were placed in a water bath at a fixed temperature of 80°C. For the compression test, a universal mechanical test machine with a 500 kgf cell was used. The tests showed that *Pythium aphanidermatum* has favorable characteristics to be used as reinforcement and shows great potential to be used in civil construction.

**Keywords:** *Pythium aphanidermatum*. Cellulose. Reinforcement.

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE- INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>8</b>
<b>1</b>	<b>APRESENTAÇÃO GERAL DO TRABALHO.....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>REFENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>Pythium spp.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2</b>	<b>Microfibras de celulose.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3</b>	<b>Autocicatrização.....</b>	<b>10</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>11</b>
	<b>SEGUNDA PARTE -ARTIGO.....</b>	<b>13</b>
	<b>ARTIGO – UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE PYTHIUM APHANIDERMATUM COMO REFORÇO FIBROSO EM MATRIZES CIMENTICAS.....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>27</b>



## **PRIMEIRA PARTE**

### **INTRODUÇÃO GERAL**

#### **1 APRESENTAÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO**

O objetivo geral desse trabalho de conclusão de curso é validar a utilização do oomiceto *Pythium aphanidermatum* como microfibras de celulose em matrizes cimentícias, onde ele atuará como um reforço melhorando a resistência dos materiais a base de cimento.

A finalidade do trabalho foi dar base científica às pesquisas futuras envolvendo essa matéria-prima alternativa através de uma aplicação direta que aponte às possibilidades de sua utilização em aplicações industriais. Além disso, espera-se contribuir cientificamente com o desenvolvimento sustentável e com a valorização do material.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso será apresentado no formato artigo tendo sido dividido em duas partes.

A primeira parte, nomeada de Introdução Geral, será composta por:

- i. Uma Introdução que explana sobre a organização e apresentação do trabalho bem como sobre o objetivo geral e a finalidade;
- ii. Um Referencial Teórico com elementos teóricos complementares aqueles já presentes na Introdução do artigo;
- iii. Considerações Finais que contemplarão a visão do estudante e autor diante os resultados obtidos no trabalho bem como a contribuição do desenvolvimento do trabalho na aquisição de conhecimento acadêmico.

A segunda parte é composta por um artigo com foco na produção, aplicação e avaliação mecânica da utilização do oomiceto *pythium* com nano e micro-reforço a base de celulose em matrizes cimentícias mostrando seu potencial como reforço em matrizes a base de cimento.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 *Pythium* spp.

O gênero *Pythium* possui cerca de 150 espécies são descritas para o gênero, 41 delas já relatadas no Brasil (MAIA et al., 2015), sendo a maioria cosmopolita e sapróbia em diferentes tipos de substratos, na água e no solo e/ou parasita em algas, crustáceos, outros fungos, plantas vasculares, mamíferos, e inclusive no homem (CALVANO et al., 2011; KAGEYAMA, 2014). *Pythium* é um gênero que inclui uma variedade de espécies encontradas em habitats terrestres e aquáticos, onde podem viver como saprófitas, parasitas de plantas, animais ou microparasitas. Além disso considerado um dos mais importantes dentre os organismos zoospóricos, principalmente devido ao seu potencial parasítico em plantas de interesse econômico, causando normalmente apodrecimento de raiz, caule e frutos; podridão de sementes na pré-emergência e o tombamento de plântulas na pós-emergência (VAN DER PLAATS-NITERINK, 1981). O gênero foi estabelecido por Pringsheim em 1858 e no esquema taxonômico atual é colocado no Reino Stramenopila, Filo Oomycota, Classe Peronosporomycetes, Ordem Pythiales, Família Pythiaceae, Gênero *Pythium*. A maioria dos oomicetos fitopatogênicos pertence a duas ordens dentro dos Peronosporomycetidae, os Peronosporales e Pythiales. A ordem Pythiales inclui *Pythium*, *Phytophthora* e *Albugo*. As espécies de *Pythium* são eucariotos, organismos semelhantes a fungos que por muito tempo foram considerados pertencentes ao reino 'Fungi'. Tanto oomicetos quanto fungos compartilham semelhanças. Ambos têm crescimento filamentoso em seu estágio vegetativo, produzem esporos e têm um estilo de vida heterotrófico. Embora compartilhem essas semelhanças, são conhecidas diferenças importantes que os separam em diferentes Reinos na qual se destaca que a parede celular de muitos oomicetos é composta de celulose, já a parede celular dos fungos é constituída por quitina (BURGOS-GARAY, 2013). O *Pythium* está presente em todos os ecossistemas, possui o rápido crescimento e elevada resistência, mesmo em ambientes mais agressivos (OLIVEIRA et al., 2021). Tais características, o fazem um promissor organismos para ser utilizado como fibra de celulose em matriz cimentícia.

## 2.2 Microfibras de celulose

As microfibras de celulose (MFCs) são fibras obtidas a partir da trituração de fontes renováveis como bagaço de cana-de-açúcar, madeira ou papel. Elas têm sido utilizadas em diversas aplicações, incluindo a indústria de construção civil, devido à suas propriedades únicas, como a alta resistência à tração e flexão.

As MFCs também apresentam uma boa resistência à água e aos agentes químicos, tornando-as ideais para aplicações que exijam durabilidade e resistência a intempéries. Além disso, as MFCs são biodegradáveis e podem ser recicladas, o que as torna uma opção mais sustentável em comparação a outros materiais sintéticos (Shukla et al. 2018).

Além disso as MFCs são capazes de melhorar a resistência mecânica de materiais poliméricos, como poliéster, polietileno e polipropileno, quando adicionadas a esses materiais como reforço. Isso se deve às suas propriedades de reforço, já que as fibras conseguem transmitir as tensões para outras partes da matriz (Du et al., 2020).

No entanto, a adição de MFCs aos materiais também apresenta desafios, como a dificuldade de dispersão das fibras na mistura e a possibilidade de aumento da retração da matriz. Para superar esses desafios, vários trabalhos têm sido realizados para desenvolver técnicas eficazes de adição de MFCs aos materiais, como a utilização de aditivos para melhorar a dispersão das fibras na mistura (Song et al., 2021).

## 2.3 Autocicatrização

A autocicatrização é um processo natural que ocorre em muitos organismos e pode ser aplicado no concreto para melhorar sua durabilidade e resistência. Existem duas formas principais de autocicatrização: a autocicatrização autógena e a autocicatrização autônoma.

A autocicatrização autônoma é realizada após a interferência de uma ação externa. Nesse caso, ocorrem introduções na composição do concreto como cinza volante e materiais expansivos na mistura inicial do concreto. Há cicatrização autônoma quando o processo

utiliza materiais que não seriam encontrados na composição e foram adicionados para este fim (RILEM, 2013).

Enquanto a autocicatrização autógena ou intrínseca, ocorre devido diferentes fatores. Como por exemplo a hidratação contínua das partículas não hidratadas de cimento e a precipitação de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), devido a presença de  $\text{CO}_2$  (BELIE et al., 2018).

Ambas as formas de autocicatrização têm sido amplamente estudadas como uma estratégia para melhorar a durabilidade e a vida útil do concreto. Segundo Yang et al. (2020), "a autocicatrização é uma técnica promissora para aumentar a durabilidade do concreto, reduzir custos de manutenção e minimizar os impactos ambientais".

## REFERÊNCIAS

Martins, M. B., Oliveira, J. L. S., Nascimento, J. R. do, & Jardim, L. C. (2019). **Microfibras de Celulose na Indústria de Construção: Revisão da Literatura. Materiais**, 12(5), 789.

Xu, J., et al. (2017). "Effect of curing temperature and duration on the compressive strength, pore structure and mineral composition of Portland cement-based materials." **Materials and Structures**, 50(7), pp. 153-165.

MIRANDA, E.H.N.; SILVA, G.A.; GOMES, D.A.C., et al., **revista Matéria**, v.27, n.4, 2022.  
Liu, J., Li, X., Li, J., Li, W., & Li, Y. (2019). **A review on the mechanical properties of concrete reinforced with microfiber. Construction and Building Materials**, 212, 927-938.

SIQIAO CHEN, PAUL DALY, DONGMEI ZHOU, JINGJING LI, XIAOYU WANG, SHENG DENG, HUI FENG, CHUNTING WANG, TAHA MAJID MAHMOOD SHEIKH, YIFAN CHEN, TAIQIANG XUE, FENG CAI, CHRISTIAN P. KUBICEK, LIHUI WEI, IRINA S. DRUZHININA. **The use of mutant and engineered microbial agents for biological control of plant diseases caused by Pythium: Achievements versus challenges, Fungal Biology Reviews**, v. 40, p. 76-90, 2022.

KIRK, P.M.; CANNON, P.F.; MINTER, D.W. & STALPERS, J.A., **Dictionary of Fungi**. 10th ed. Wallingford, UK: CAB International Publishing, p.396, 2008.

Jiang, Y. et al. (2019). "**Possibility of cellulose production by *Pythium aphanidermatum* in submerged culture**". *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(22), pp. 9291-9300.

Martins, M. B., Oliveira, J. L. S., Nascimento, J. R. do, & Jardim, L. C. (2019). **Microfibras de Celulose na Indústria de Construção: Revisão da Literatura**. *Materiais*, 12(5), 789.

MORÁN, J. I. et al. Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers. **Cellulose, Bucharest**, v. 15, p. 149-159, 2008.

MOREIRA, T.; VISAR, K.; FERREIRA, S.; FERRARA, L.; SILVA, F.; ROMILDO, T., F. Self Healing Assessment under tensile loads of ultra high performance fiber reinforced concrete (UHPFRC), **9th RILEM International Symposium on Fiber Reinforced Concrete - BEFIB 19-21 September 2016**.

VAN DER PLAATS-NITERINK, A.J. Monograph on the genus *Pythium*. **Stud. Mycol.** v.21: p.1-242, 1981.

MESQUITA JR. L., A, SILVA G., A., FERREIRA M., A., FERREIRA S., R., A, RABELO G., F., **Experimental evaluation of the use of *Pythium aphanidermatum* as a self-healing agent for cementitious matrix, Cement and Concrete Composites**. 2023.

Du, Y., Fang, Y., Zhang, L., Liu, J., & Zhang, J. (2020). **Microfiber reinforced polymers: A review**. *Poly*

**SEGUNDA PARTE**  
**ARTIGO**

**ARTIGO – UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE PYTHIUM APHANIDERMATUM  
COMO REFORÇO FIBROSO EM MATRIZES CIMENTICAS.**

## UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE *PYTHIUM APHANIDERMATUM* COMO REFORÇO FIBROSO EM MATRIZES CIMENTICAS.

Diego Borges Silva <sup>a\*</sup>, Saulo Rocha Ferreira <sup>a</sup>, Laercio Mesquita Junior <sup>a</sup>, Gabrielle Avelar Silva <sup>a</sup>, Maria Alves Ferreira <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Federal University of Lavras – UFLA, University Campus, Doutor Sylvio Menicucci Av., POB 3037, Lavras, MG, Brazil:  
diegoborgessilva10@gmail.com

\* Autor correspondente

**Resumo:** Este estudo avaliou a utilização de microfibras de celulose de *Pythium aphanidermatum* para atuar como reforço em matrizes cimentícias. Para isso foram utilizados corpos de prova de argamassa com relação a/c 0.3 e adicionados na mistura pequenas porcentagens das fibras em relação a massa de cimento para avaliar a influência dessa fibra nos corpos de prova no decorrer do seu período de cura. Foram criados conjuntos de corpos de prova contendo as mesmas porcentagens de fibras (0,5%, 1%, 1,5% e 2%) mais uma referência para cada idade (7 e 28 dias) para que fosse possível acompanhar o efeito e a eficiência da microfibras pra cada respectiva idade.

Após os ensaios, as amostras aos 7 dias com adição de fibra mostraram uma queda substancial na resistência conforme havia o aumento das porcentagens de fibras. Também apresentou seus primeiros indícios como reforço. Já as amostras aos 28 dias mostraram que de fato a adição da fibra de celulose causa uma perda na resistência da matriz exceto na porcentagem de 0,5%, que se tornou o ponto ideal de fibra a ser adicionado, trazendo não só a atuação como um reforço, mas também melhorando sua resistência.

**Palavras chave:** Pythium. Celulose. Reforço.

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novos materiais para a construção civil tem sido alvo de intensa pesquisa nos últimos anos. Dentre as inúmeras alternativas, destacam-se as microfibras de celulose como reforço em matrizes cimentícias. As microfibras de celulose são um tipo de material fibroso obtido a partir de fontes renováveis, como a madeira. Sua principal característica é a alta resistência mecânica, o que as torna ideais para o uso como reforço em materiais cimentícios. Além disso, as microfibras de celulose apresentam propriedades como baixa densidade, alta superfície específica e biodegradabilidade, o que as torna uma alternativa mais sustentável em comparação com outros tipos de fibras de reforço (Xu et al., 2018).

As matrizes cimentícias são materiais amplamente utilizados na construção civil, principalmente em aplicações estruturais. No entanto, esses materiais apresentam baixa resistência à tração, o que pode comprometer sua durabilidade e segurança. A adição de fibras de reforço, como as microfibras de celulose, pode melhorar significativamente a resistência à tração das matrizes cimentícias. Uma das principais vantagens da utilização de microfibras de celulose em matrizes cimentícias é a melhoria da ductilidade do material. Em um estudo realizado por Zhang et al. (2016), verificou-se que a adição de 1% de microfibras de celulose aumentou a ductilidade do concreto em cerca de 90%. Além disso, a resistência à tração do concreto também aumentou em mais de 50%.

Estudos também avaliaram o efeito da adição de diferentes concentrações de microfibras de celulose em matrizes cimentícias. Os resultados mostraram que a adição de 0,5% de microfibras de celulose aumentou a resistência à compressão do material em mais de 10%. Já a adição de 1% de microfibras de celulose aumentou a resistência à tração em mais de 80% Yu et al. (2018). Além da melhoria das propriedades mecânicas, a utilização de microfibras de celulose em matrizes cimentícias também pode melhorar a durabilidade do material. A adição de microfibras de celulose também reduz significativamente a absorção de água do concreto, o que pode contribuir para a redução da deterioração do material Xu et al. (2018).



Partindo dessa ideia foi então cogitado a utilização do *oomiceto pythium* como microfibras de celulose devido a sua estrutura e grande capacidade de produzir celulose, além de ser um composto natural e produzido facilmente em grande escala.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a utilização e o desempenho do *Oomiceto Pythium aphanidermatum* como microfibras de celulose, agindo como um reforço em matrizes cimentícias.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Obtenção da massa micelial de *pythium aphanidermatum*

Foram utilizados isolados coleção micológica do laboratório de patologia florestal da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Fragmentos do micélio foram transferidos para placas de Petri com 20 ml de meio sólido BDA (batata-dextrose-ágar) e antibiótico rifamicina SV sódica 10mg/mL e inoculados por 72 horas a 28°C. Em seguida foram retirados discos de 5mm de diâmetro de micélio e colocado 1 disco em 1 Erlenmeyer contendo 24g de meio de cultura (BD) em 100 ml de água, a 28°C por 7 dias.



Figura 1: Isolado *Pythium aphanidermatum* a) Armazenado b) Meio de cultura sólido (BDA) c) Meio de cultura líquido (BD).

### 2.2. Preparo da fibra

Após a obtenção da massa micelial de *Pythium aphanidermatum* em meio de cultura líquido, a massa micelial foi retirada e colocada em um papel filtro (Figura 2-A) para que secassem e houvesse a remoção de todo excesso do alimento BD (Batata e Dextrose), em seguida foram colocadas em placas Petri e deixadas dentro da câmara de

fluxo por 24 horas pra que houvesse a desidratação (Figura 2-B), após a secagem ele foi triturado o auxílio de um pulverizador (IKA A11 basic) triturando de 10 em 10 segundos (Figura 3) até que não fosse mais possível notar diferença na granulometria da fibra. Foi possível observar alterações consideráveis nos primeiros 20 minutos ( Figura 3-A e 3-B), a partir da terceira medição (Figura 3-C) já não possível observar grandes diferenças de granulometria e finalizando com a quarta medição(Figura 3-D) onde já não houve mais alteração na granulometria da fibra, onde já era possível iniciar sua utilização na preparação dos corpos de prova.

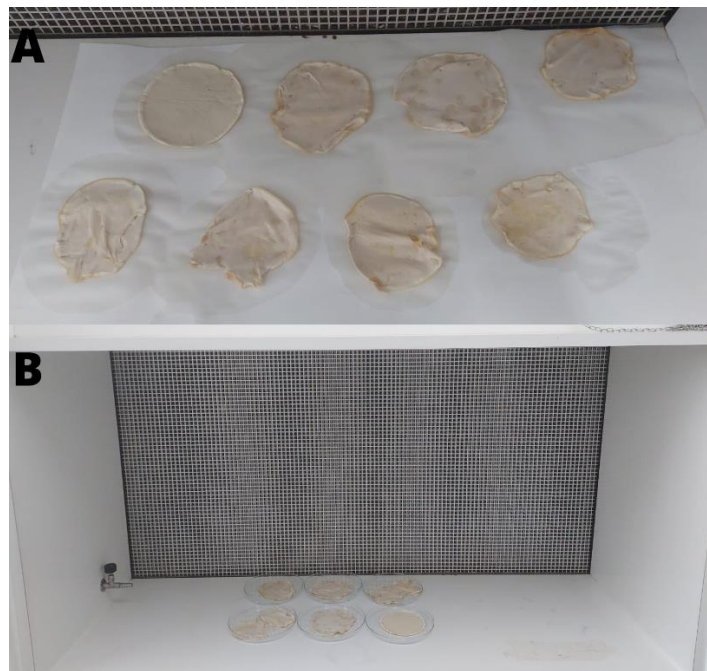


Figura 2: Sequência de processos para desidratação da massa micelial.

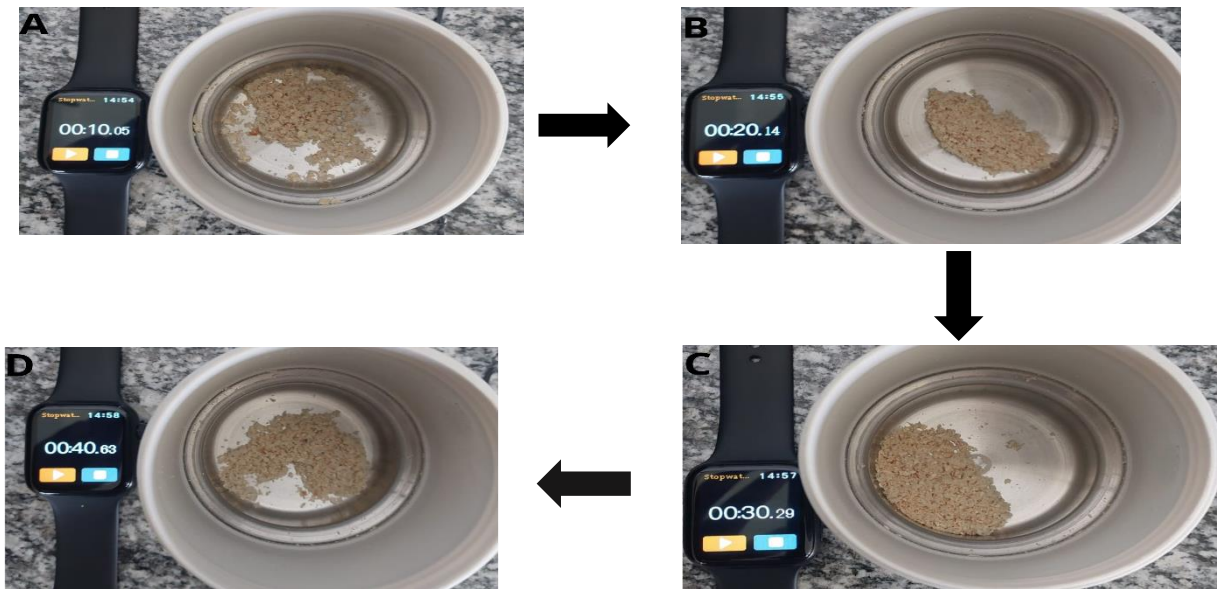


Figura 3: Processo de trituração do Pythium.

### 2.3. Produção dos corpos de prova

Para produção dos corpos de provas, foi utilizado cimento CPV-ARI-RS, da marca Itambé, a composição química se encontra na Tabela 1, os dados foram fornecidos pelo fabricante.

Tabela 1: Composição química do cimento CPV-ARI-RS

Químicos										
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Perda Fogo	CaO Livre	Resíd. Insol.	Equiv. Alcal.	
6.45%	22.38%	3.41%	54.75%	4.66%	2.68%	3.22%	1.31%	10.50%	0.78%	

Os corpos de prova foram produzidos com dimensões 1cm X 1cm X 1cm (Figura 4). Foi produzido pasta de cimento e adicionado porcentagens de 0,5%, 1%, 1,5% e 2% de micélio de pythium aphanidermatum em relação a massa de cimento.

Para preparação dos corpos de prova foi utilizado uma relação água cimento (a/c) de 0.3, onde neste caso foi utilizado pra a produção de cada cubo 1g de cimento e 0,3g de água,

ao todo foram criados três corpos de prova referente a cada porcentagem mais a referência.



Figura 4: Corpo de prova de dimensões 10x10x10mm

Após a pesagem dos itens, foram então misturados e adicionados em um molde de silicone pra montagem dos cubos e então vibrados com o auxílio de um vórtex mixer a uma frequência de 3000 rpm por 30 segundos (Figura 5) para que fosse eliminado qualquer bolha de ar existente na amostra e homogeneizar a distribuição da amostra no molde, e por fim, selados com papel filme para que não houvesse nenhuma perda de umidade.



Figura 5: Vórtex mixer utilizado para remoção das bolhas e homogeneização das amostras no molde.

Para que houvesse um ganho de tempo para a realização dos ensaios foi então realizada a cura térmica, onde de acordo com (Xu et al., 2017) o aumento da temperatura

de cura pode acelerar a hidratação do cimento. Para este experimento foi adaptado do (MIRANDA, E.H.N.; SILVA, G.A.; GOMES, D.A.C., et al) onde mantendo a temperatura entre 80 e 100°C o tempo de cura seria acelerado na relação 7 dias é que falem a 30 dias normais, para isso foi utilizado uma máquina para o banho maria SL-150 (Figura 6) onde manteve a temperatura estabilizada a 80°C durante o tempo necessário para atingir as idades de 7 e 28 dias necessários para a realização dos ensaios.



Figura 6: Máquina de banho maria fixada a 80°C utilizada para realização da cura térmica.

#### 2.4. Ensaio de compressão

Pra avaliar se as fibras de *pythium aphanidermatum* atuam de fato como um reforço, foi então utilizado o ensaio de compressão em todas as amostras com seus equivalentes dias de cura e porcentagens de adição de fibra. As amostras foram colocadas em uma máquina universal de ensaios mecânicos (Figura 7-A) utilizando uma célula de 500 Kgf (Figura 7-B) para ser aplicada nas amostras e realizar os testes de compressão, a figura 7-C ilustra a amostra pronta para o ensaio.



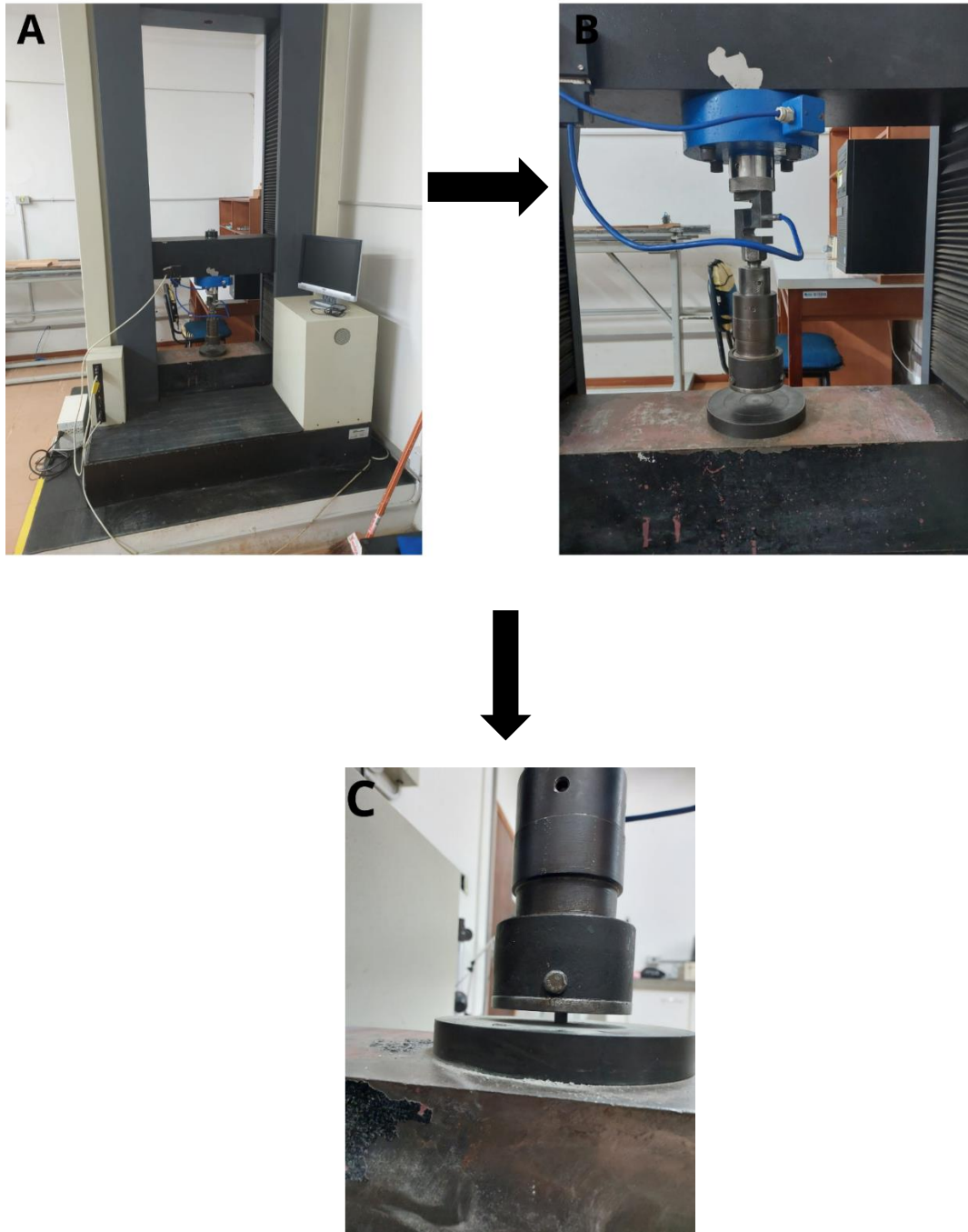


Figura 7: Máquina universal de ensaios mecânicos com celular de 500 kgf.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os corpos de prova foram colocados na cura térmica de modo que finalizassem seus devidos tempos de cura (7 e 28 dias) no mesmo dia para que não houvesse nenhuma influência na cura quando ocorressem os ensaios.

Após atingirem seus respectivos dias de cura os corpos de prova foram removidos do banho maria e colocados em beckers com água da mesma temperatura que estavam durante a cura (80°C) para que fosse reduzindo a temperatura de forma gradual para não houvesse choque térmico nas amostras. Após atingirem a temperatura ambiente as amostras foram então levadas para a realização do teste de compressão.

Todas as amostras foram submetidas as mesmas condições de ambiente e força aplicada. Primeiramente foram testadas as amostras com menor idade (7 dias), como mostra o gráfico 1, aos 7 dias a referência já mostrou um valor alto de resistência, porém conforme foram sendo adicionadas as porcentagens de fibra, a resistência das amostras começam a cair, o que já era esperado, pois a celulose ela interfere na hidratação da matriz cimentícia, e quanto mais fibra é adicionada na amostra, mas a interferência e as quedas de resistência ficam mais evidentes, principalmente pelo pouco tempo de cura.

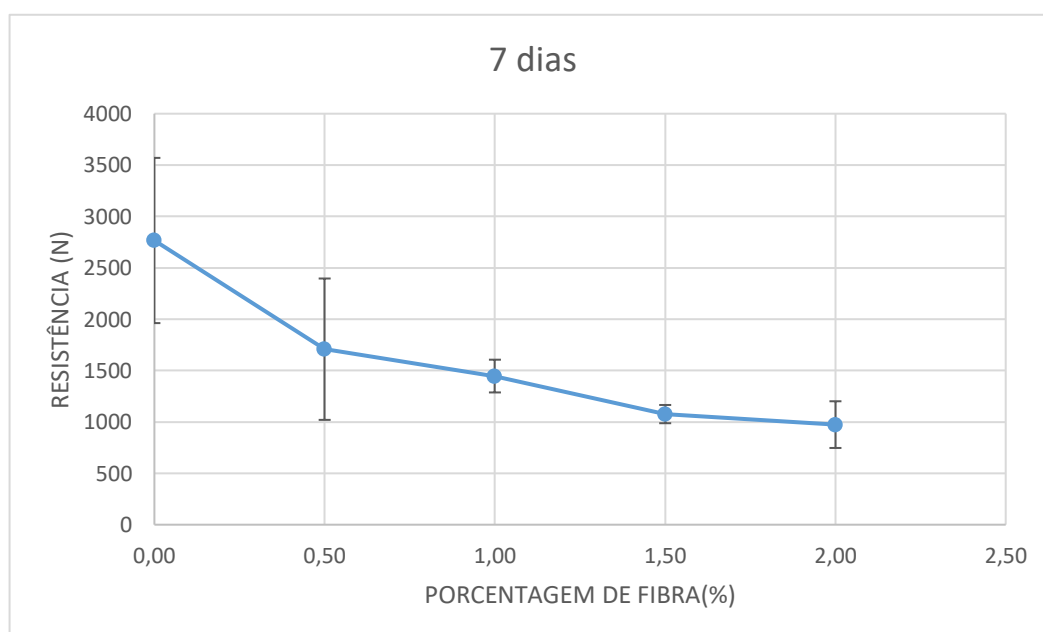


Gráfico 1: Representação da influência da fibra na resistência da amostra.

Mas em contra proposta, já é possível observar que a fibra adicionada nas amostras já mostra seus primeiros sinais de reforço, onde é possível perceber observando o gráfico 2, onde os resultados da amostra referência aos 7 dias, representados pela linha azul no gráfico, mostram que o gráfico sobe exponencialmente de acordo com que à aumento de força sobre a amostra, porém quando atinge o seu pico ela rompe por completo encerrando o ensaio pois houve rompimento completo na amostra, não havendo mais resistência a ser medida.

Já nos resultados apresentados na amostra com os mesmos 7 dias, agora já com a adição de 0,5% de fibra, representados pela linha laranja no gráfico, já foi possível observar que a curva cresce exponencialmente da mesma forma que a referência, mas quando atinge seu pico e rompe, ela não rompe por completo, ainda continua fazendo marcações de resistência, mostrando que as fibras ali presentes estão segurando a amostra pra que não se rompa por definitivo.

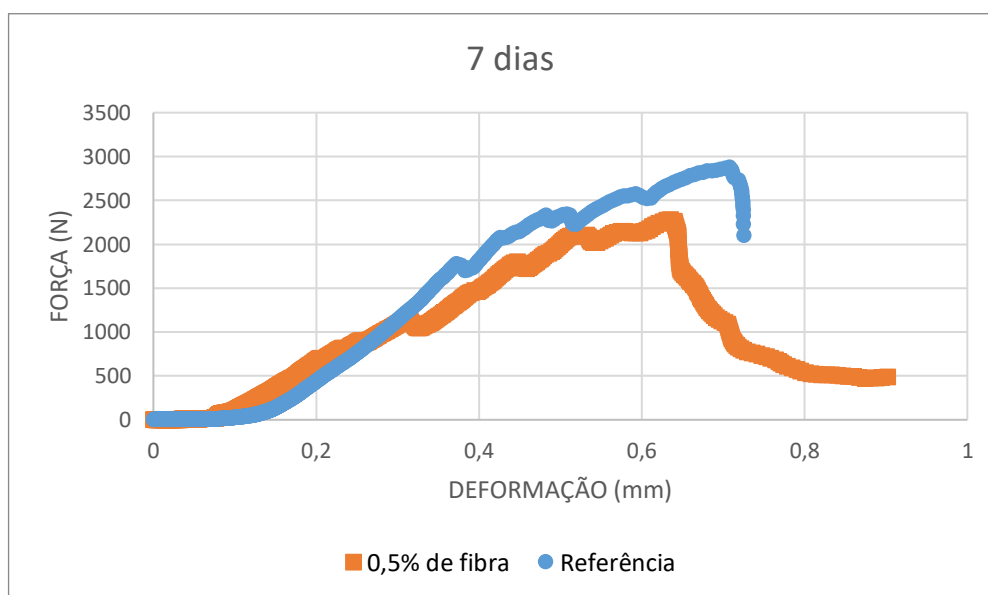


Gráfico 2: Gráfico representando o ensaio da amostra aos 7 dias.



Por fim foram então ensaiadas as amostras com 28 dias de cura. Aos 28 dias já foi possível observar um comportamento bem mais interessante quanto a resistência. Os dados representados no gráfico 4, mostram que, a amostra de referência teve um aumento pouco significativo em relação a referência de 7 dias, mas com a adição de 0,5% de fibra, onde a tendência é a cair, houve um aumento considerável na resistência da amostra, e nas demais porcentagens seguiram a tendência a cair gradativamente, neste caso isso nos mostra nosso ponto ótimo, ou seja, a porcentagem ideal de adição de fibras.

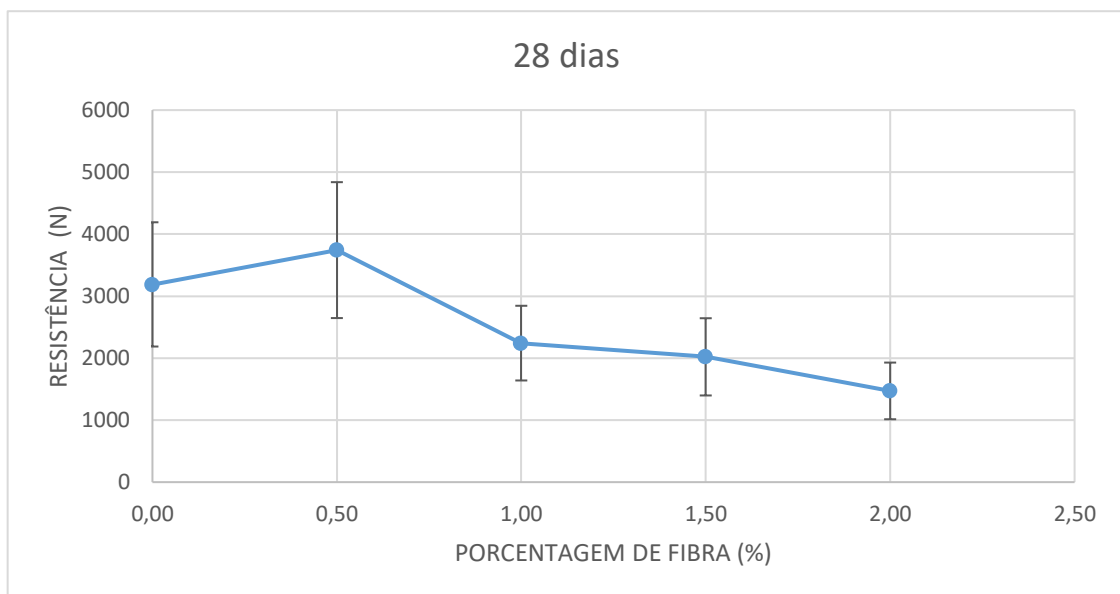


Gráfico 3: Representação da influência da fibra na resistência da amostra aos 28 dias.

Nas amostras de 28 dias também foi possível observar com mais veracidade a atuação da fibra dentro da amostra, nitidamente observando o gráfico 4 a amostra referência aos 28 dias, representado pela curva em azul, mostra a sua crescente resistência quando a carga é aplicada, mas chegando em seu pico ela se rompe por completo. Já a amostra com adição de 0,5% de fibra também os 28 dias, representada pela curva laranja, mostra de forma mais nítida a não ruptura da amostra ao atingir seu máximo de resistência, a amostra inicia rompimento, mas a fibra auxilia para que não

haja colapso imediato da amostra, mantendo a estabilidade e diminuindo gradativamente sua resistência.

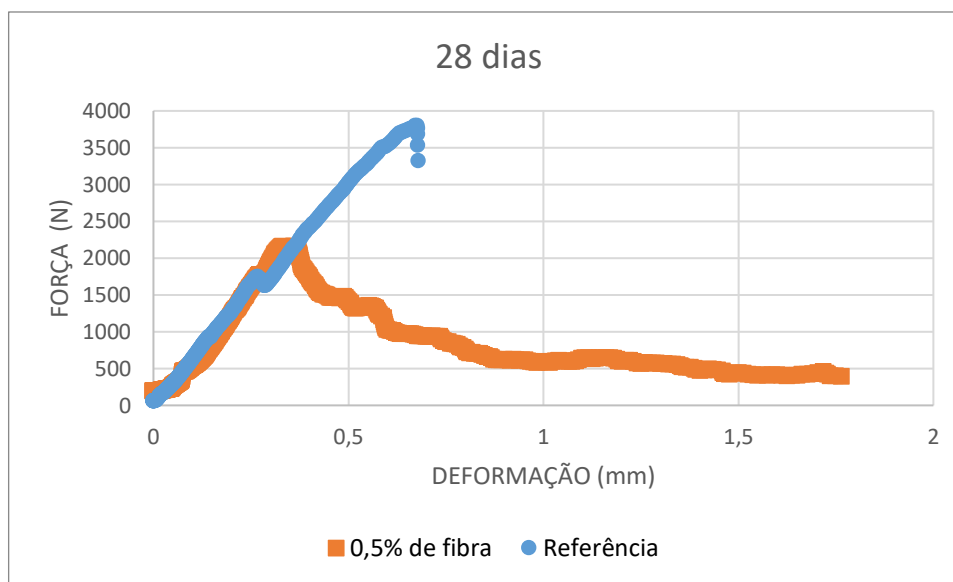


Gráfico 4: Gráfico representando o ensaio da amostra aos 28 dias.

#### 4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

1. O pythium atuou de fato como um reforço, validando sua utilização como nano e micro-reforço de celulose.
2. A fibra já começa a atuar nas primeiras idades de cura.
3. Dentre os resultados obtidos a porcentagem de 0,5% de fibra mostrou-se a mais eficiente tanto como reforço, como também na melhora da resistência do material.
4. Como ponto negativo as demais porcentagens de fibra afetaram consideravelmente na hidratação da matriz mostrando uma queda considerável na resistência do material.

## 5. REFERÊNCIAS

- [1] Martins, M. B., Oliveira, J. L. S., Nascimento, J. R. do, & Jardim, L. C. (2019). Microfibras de Celulose na Indústria de Construção: Revisão da Literatura. *Materiais*, 12(5), 789.
- [2] Xu, J., et al. (2017). "Effect of curing temperature and duration on the compressive strength, pore structure and mineral composition of Portland cement-based materials." *Materials and Structures*, 50(7), pp. 153-165.
- [3] MIRANDA, E.H.N.; SILVA, G.A.; GOMES, D.A.C., et al., revista *Matéria*, v.27, n.4, 2022.
- [4] •Liu, J., Li, X., Li, J., Li, W., & Li, Y. (2019). A review on the mechanical properties of concrete reinforced with microfiber. *Construction and Building Materials*, 212, 927-938.
- [5] SIQIAO CHEN, PAUL DALY, DONGMEI ZHOU, JINGJING LI, XIAOYU WANG, SHENG DENG, HUI FENG, CHUNTING WANG, TAHA MAJID MAHMOOD SHEIKH, YIFAN CHEN, TAIQIANG XUE, FENG CAI, CHRISTIAN  
P. KUBICEK, LIHUI WEI, IRINA S. DRUZHININA. The use of mutant and engineered microbial agents for biological control of plant diseases caused by *Pythium*: Achievements versus challenges, *Fungal Biology Reviews*, v. 40, p. 76-90, 2022.
- [6] KIRK, P.M.; CANNON, P.F.; MINTER, D.W. & STALPERS, J.A., *Dictionary of Fungi*. 10th ed. Wallingford, UK: CAB International Publishing, p.396, 2008.
- [7] •Jiang, Y. et al. (2019). "Possibility of cellulose production by *Pythium aphanidermatum* in submerged culture". *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(22), pp. 9291-9300.
- [8] Martins, M. B., Oliveira, J. L. S., Nascimento, J. R. do, & Jardim, L. C. (2019). Microfibras de Celulose na Indústria de Construção: Revisão da Literatura. *Materiais*, 12(5), 789.
- [9] Xu, J., et al. (2017). "Effect of curing temperature and duration on the compressive strength, pore structure and mineral composition of Portland cement-based materials." *Materials and Structures*, 50(7), pp. 153-165.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização do presente trabalho mostrou que o oomiceto pythium tem um grande potencial para diversas aplicações uma delas seu papel como nano e microfibras de celulose atuando como um reforço, mostrado neste estudo, mas também como em (Mesquita Jr et al.) onde aponta sua utilização na indução de autocicatrização em matrizes cimentícias.

A concretização na produção de nano e microfibras de celulose mostra que é possível utilizar industrialmente essa matéria-prima alternativa.

Fica como sugestão para futuros trabalhos:

- i. Testar formas de inibição do efeito da celulose na hidratação e conseqüentemente da perda de resistência das matrizes cimentícias, para que fibra possa tornar ainda mais eficiente.

A pesquisa desenvolvida e descrita nesse trabalho foi de fundamental importância na formação acadêmica do estudante que além de compreender melhor os conceitos vistos em disciplinas, teve a oportunidade de colocar em prática conhecimentos teóricos e lidar com tópicos não abordados a nível de graduação.

Enfatiza-se também o grande crescimento pessoal diante diversos desafios que surgiram durante a caminhada científica e exigiram a tomada de decisões eficazes e a busca por soluções.