



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de Ilha Solteira

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

VITOR AGUIAR SANT’ANNA SIQUERI

**CARACTERIZAÇÃO DE PASTAS CIMENTÍCIAS SUSTENTÁVEIS
OBTIDAS A PARTIR DE NANOCOMPÓSITOS BASEADOS EM HIDROGÉIS,
NANOFIBRAS DE CELULOSE BACTERIANA E CIMENTO PORTLAND**

ILHA SOLTEIRA SP
JUNHO DE 2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**CARACTERIZAÇÃO DE PASTAS CIMENTÍCIAS SUSTENTÁVEIS
OBTIDAS A PARTIR DE NANOCOMPÓSITOS BASEADOS EM HIDROGÉIS,
NANOFIBRAS DE CELULOSE E CIMENTO PORTLAND**

VITOR AGUIAR SANT ‘ANNA SIQUERI

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia Civil da
Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha
Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para
obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Prof. Dr. Fauze Ahmad Aouada
Orientador

Ilha Solteira SP
2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S618c Siqueri, Vitor Aguiar Sant' Anna.
Caracterização de pastas cimentícias sustentáveis obtidas a partir de nanocompositos baseados em hidrogéis, nanofibras de celulose bacteriana e cimento Portland / Vitor Aguiar Sant' Anna Siqueri. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023 29 f.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

Orientador: Fauze Ahmad Aouada

Inclui bibliografia

1. Cimento. 2. Hidrogel. 3. Nanofibra. 4. Celulose bacteriana. 5. Nanocomposito.


Raiane da Silva Santos
Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999

Vitor Aguiar Sant'Anna Siqueri

**CARACTERIZAÇÃO DE PASTAS CIMENTÍCIAS SUSTENTÁVEIS OBTIDAS A PARTIR DE
NANOCOMPÓSITOS BASEADOS EM HIDROGÉIS, NANOFIBRAS DE CELULOSE E CIMENTO
PORTLAND**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Ilha Solteira.

Aprovado em 20/06/2023

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Fauze Ahmad Aouada
UNESP/FE – Ilha Solteira (Orientador)

Prof. Dr. Adhemar Watanuki Filho
Instituto Federal de São Paulo - Ilha Solteira (Examinador)

Dr. Fabrício Cerizza Tanaka
Universidade de São Paulo (Examinador)

Ilha Solteira - SP
20 de Junho de 20023

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todas as pessoas que me ajudaram nessa caminhada, principalmente minha família que deu todo suporte, e a todos professores que contribuíram diariamente com seu conhecimento e dedicação e que foram importantes na minha jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer minha mãe Luciana Aguiar e ao meu pai Fabiano Victor Siqueri pelo apoio e aprendizados em toda minha vida. Agradeço a Deus por me dar saúde e disciplina para realizar a faculdade e concluir esta pesquisa. Estendo meu agradecimento a Faculdade de Engenharia da Unesp de Ilha Solteira, FEIS – UNESP, seu corpo docente e a estrutura da FEIS que puderam me proporcionar o conhecimento para a realização desta pesquisa. Agradeço principalmente meu orientador Prof. Dr. Fauze Ahmad Aouada e ao Prof. Dr. Adhemar Watanuki que me deram um enorme apoio e a oportunidade de realizar 2 anos de pesquisa. Agradeço também ao Grupo de Compósitos e Nanocompósitos Híbridos (CGNH) onde tive o privilégio de conviver com pessoas maravilhosas e aprender muito sobre esta área.

Gostaria de agradecer também, todos meus amigos que fizeram parte dessa fase maravilhosa que é a Faculdade, em especial a Sabrina Cilli e aos meus colegas da república, onde morei durante 3 anos.

Agradeço o apoio recebido da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, CNPq e Prope-UNESP.

RESUMO

O cimento é um dos materiais mais utilizados na construção civil por possuir características físicas e químicas que justificam o seu manuseio e trabalhabilidade. Portanto, analisar suas propriedades nos estados fresco e endurecido é importante para garantir sua funcionalidade. Dessa maneira, alguns materiais poliméricos podem ser adicionados às bases cimentícias com o intuito de mitigar a retração em sistemas com baixa relação água/cimento. Assim, o presente estudo teve por objetivo principal avaliar o efeito do uso de nanocompósitos poliméricos baseados em hidrogel e nanofibras de celulose bacteriana (NFCB), sendo a NFBC usada comumente para reforço em matriz polimérica, sobre as propriedades no estado fresco e endurecido destas pastas de cimento. A extração da NFCB ocorreu por oxidação mediada por 2,2,6,6-tetrametil-1-piperidinoxil (TEMPO), a partir de resíduos de curativos de celulose bacteriana. A síntese do hidrogel foi realizada a partir de poliacrilamida (PAAm), polissacarídeo carboximetilcelulose (CMC) e 5,0% de NFCB (massa/volume de solução). Já as pastas cimentícias foram produzidas com cimento Portland CP II-Z e concentrações de 0% (controle), e 0,5% de hidrogel em relação à massa de cimento, e relação água/cimento (a/c) de 0,35. Foi necessário também estudar a capacidade máxima de absorção de água dos hidrogéis, quantificado pelo grau de intumescimento no estado de equilíbrio (Q_{eq}) ($Q_{eq} = 24,6 \pm 0,9$ g/g). Os resultados das propriedades no estado fresco indicaram que o índice de consistência da pasta de cimento diminuiu cerca de 5% com a adição de hidrogel na matriz cimentícia. A adição do hidrogel nas pastas cimentícias diminuiu também a exsudação em relação ao controle, a máxima exsudação ocorreu aos 60 minutos em ambas as amostras. A amostra com hidrogel obteve um menor percentual de absorção de 20,3%, principalmente na idade de 28 dias, devido à atuação do hidrogel na reação de hidratação. Não foram observadas variações significativas, em todas as idades de cura, ocasionadas pela incorporação de hidrogel nas propriedades de resistência mecânica e na retração destas pastas cimentícias. O que é um resultado considerado satisfatório tendo em vista a resistência mecânica de 35 MPa da matriz controle. Desta forma, pode-se concluir que a adição do hidrogel trouxe resultados positivos para a pasta cimentícia devido a sua capacidade de liberação de água gradativa, o que pode estar auxiliando no processo de cura da pasta.

Palavras-chave: cimento; hidrogel; nanofibra; celulose bacteriana; nanocompósito.

ABSTRACT

Cement is one of the most used materials in civil construction because it has physical and chemical characteristics that justify its handling and workability. Therefore, analyzing its properties in the fresh and hardened states is important to guarantee its functionality. Thus, some polymeric materials can be added to cementitious bases in order to mitigate shrinkage in systems with low water/cement ratio. Thus, the main objective of the present study was to evaluate the effect of using polymeric nanocomposites based on hydrogel and bacterial cellulose nanofibers (NFCB), NFCB being commonly used for reinforcement in a polymeric matrix, on the properties of these pastes in the fresh and hardened states. The extraction of NFCB occurred by oxidation mediated by 2,2,6,6-tetramethyl-1-piperidinoxyl (TEMPO), from residues of bacterial cellulose dressings. The synthesis of the hydrogel was performed from polyacrylamide (PAAm), carboxymethylcellulose polysaccharide (CMC) and 5.0% NFCB (mass/volume of solution). The cementitious pastes were produced with CP II-Z Portland cement and concentrations of 0% (control), and 0.5% of hydrogel in relation to the mass of cement, and water/cement ratio (w/c) of 0.35. It was also necessary to study the maximum water absorption capacity of the hydrogels, quantified by the degree of swelling at steady state (Q_{eq}) ($Q_{eq} = 24.6 \pm 0.9$ g/g). The results of the properties in the fresh state indicated that the index of consistency of the cement paste decreased about 5% with the addition of hydrogel in the cementitious matrix. The addition of hydrogel to cementitious pastes also reduced exudation in relation to the control, with maximum exudation occurring at 60 minutes in both samples. The sample with hydrogel had a lower percentage of absorption of 20.3%, mainly at the age of 28 days, due to the performance of the hydrogel in the hydration reaction. Significant variations were not observed, at all curing ages, caused by the incorporation of hydrogel in the properties of mechanical resistance and in the retraction of these cementitious pastes. Which is a result considered satisfactory in view of the mechanical strength of 35 MPa of the control matrix. Thus, it can be concluded that the addition of the hydrogel brought positive results for the cementitious paste due to its ability to gradually release water, which may be helping in the curing process of the paste.

Keyword: cement; hydrogel; nanofibers; bacterial cellulose; nanocomposite.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Dependência do grau de intumescimento (Q) em função do tempo para o nanocompósito contendo 5,0 % de nanofibras de celulose bacteriana. -----	18
Figura 2: Valores de índice de consistência para as matrizes controle e contendo hidrogel-NFCB. -----	19
Figura 3: Relação da exsudação em função do tempo para as diferentes concentrações de hidrogel. -----	20
Figura 4: Relação da densidade aparente no estado fresco para as diferentes concentrações de hidrogel. -----	21
Figura 5: Relação do teor de ar incorporado para as diferentes concentrações de hidrogel. -----	21
Figura 6: Substituição do ar retido por partículas de hidrogel na pasta de cimento. --	22
Figura 7: Relação da retração das pastas cimentícias em função da idade de cura para as ambas as concentrações de hidrogel. -----	23
Figura 8: Absorção de água em função da concentração de hidrogel nas idades de 7 e 28 dias. -----	24
Figura 9: Resistência à compressão axial das matrizes cimentícias. -----	25
Figura 10: Densidade aparente das pastas cimentícias no estado endurecido para os determinados tempos de cura. -----	26

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
3.1 EXTRAÇÃO DE NANOFIBRAS DE CELULOSE (NFCB) A PARTIR DE RESÍDUOS DE CURATIVOS.....	13
3.2 PREPARAÇÃO DE NANOCOMPÓSITOS HÍBRIDOS BASEADOS EM HIDROGÉIS-NFCB.....	13
3.3 DETERMINAÇÃO DO GRAU DE INTUMESCIMENTO DOS HIDROGÉIS NANOCOMPÓSITOS.....	14
3.4 PREPARAÇÃO DAS MATRIZES CIMENTÍCIAS BASEADAS EM NANOCOMPÓSITOS HÍBRIDOS E CIMENTO PORTLAND.....	15
3.5 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA DA PASTA DE CIMENTO E HIDROGEL COM NFCB.....	14
3.6 EXUDAÇÃO DA PASTA DE CIMENTO-HIDROGEL.....	15
3.7 DENSIDADE EM ESTADO FRESCO E TEOR DE AR INCORPORADO.....	15
3.8 DETERMINAÇÃO DE RETRAÇÃO HIDRÁULICA.....	16
3.9 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	17
3.10 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL.....	17
3.11 DENSIDADE APARENTE.....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4.1 GRAU DE INTUMESCIMENTO.....	18
4.2 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA DA PASTA DE CIMENTO E HIDROGEL - NFBC.....	19
4.3 EXUDAÇÃO DA PASTA DE CIMENTO-HIDROGEL.....	10
4.4 DENSIDADE EM ESTADO FRESCO E TEOR DE AR INCORPORADO.....	21
4.5 RETRAÇÃO PLÁSTICA POR SECAGEM.....	23
4.6 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	24
4.7 COMPRESSÃO AXIAL.....	25
4.8 DENSIDADE APARENTE.....	26
5. CONCLUSÕES.....	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

1. INTRODUÇÃO

A versatilidade do cimento Portland, como um dos principais insumos da construção civil, pode ser verificada na diversificação de sua aplicação desde o seu uso em pavimentações, alvenaria, estrutura de edificações, sistemas de saneamento, reboco, acabamentos entre outros. Esta característica está associada a fatores como: facilidade e simplicidade de manuseio, variabilidade na sua aplicação (CILLI, 2019) e disponibilidade de matéria-prima para fabricação.

Dados da Portland Cement Association (Portland Cement Association, 2015) apontam que o cimento é classificado como sendo o segundo material mais utilizado na construção civil. Neste contexto, as indústrias buscam a produção de materiais cimentícios com melhores propriedades no que se refere a resistência mecânica, custos, durabilidade, sustentabilidade e com reduções nos tempos de cura e de ganho de resistência (FU et al, 2017). Para melhorar essas características, aditivos vêm sendo estudados e desenvolvidos com o intuito de alterar satisfatoriamente as características destes materiais cimentícios nos estados fresco e endurecido.

O intuito também é reduzir as patologias, como microfissuras, fissuras geográficas, que podem surgir durante toda vida útil destes, desde a etapa de produção até a sua utilização. Na fase de produção, o desafio está em controlar aspectos relacionados ao estado fresco dos compósitos, visto que a liberação de calor em demasia, proveniente da reação exotérmica da hidratação das fases dos aluminatos (C3A e C4AF) do cimento (TAYLOR, 1997), pode ocasionar, em função da evaporação da água de hidratação e amassamento, a retração da sua matriz resultando na formação de uma microestrutura porosa e com microfissuras (DUAN, 2015), e conseqüentemente com propriedades mecânicas reduzidas.

Uma alternativa para amenizar esses problemas seria a aplicação de um material que permita liberar controladamente água diretamente na matriz cimentícia, ao longo do tempo e que, ao mesmo tempo possa se apresentar como uma fase de reforço de sua microestrutura. Neste caso, pelo fato dos hidrogéis serem polímeros hidrofílicos de cadeia tridimensionalmente reticulada (SIQUERI et al, 2020; CALESCO et al, 2022), e a possibilidade de serem associados a fibras naturais funcionalizadas de escala nanométrica (LIU et al, 2018), podem atuar satisfatoriamente como agentes de cura interna (MEZENCEVOVA et al, 2011) e de melhoria estrutural no controle de fissuras por retração (BETTERMAN e OUYANG, 1995).

Ressalta-se que as fibras naturais têm sido usadas como reforço em compósitos cimentícios desde a antiguidade, e embora tenham uma menor eficácia estrutural, quando comparadas com reforços metálicos, estas estão sendo cada vez mais utilizadas por serem

renováveis, econômicas, biodegradáveis (TORRES et al, 2019) e abundantes (TAYLOR, 1997).

Assim, a utilização de nanofibras obtidas a partir de processos de oxidação de celulose bacteriana (CB) na formulação de hidrogéis a base de poliacrilamida (PAAm) e carboximetilcelulose (CMC) é interessante no ponto de vista tecnológico, visto que tal material celulósico, produzidos por algumas cepas de bactérias não patogênicas (*Gluconacetobacter xylinum*, *Gluconacetobacter hansenii* e *Gluconacetobacter pasteurianus*) (TORRES, ARROYO e TRONCOSO, 2019), se destaca por excelente resistência mecânica, biodegradabilidade, alta cristalinidade e alta capacidade de retenção de água (ÇELİK e ÖNAL, 2004). Além disso, a celulose bacteriana pode ser considerada um material de reforço em polímeros hidrofílicos solúvel em água (QIAO et al, 2015), e que associada a matriz do hidrogel, na forma de nanofibras, pode permitir uma liberação controlada de água no interior da matriz cimentícia. A NFCB é biodegradável e seu caráter sustentável vem a partir de ser obtida de um subproduto (os curativos Nexfill-Brasil).

A relevância do projeto está em associar essas matrizes poliméricas de hidrogel e NFCB na tentativa de obter um nanocompósito que forneçam propriedades adequadas para atuar como aditivos de cura em matrizes cimentícia, visto que as partículas de hidrogéis em concretos reduzem a retração autógena e dissecação da microestrutura, conforme reportado por Snoeck e colaboradores (SNOECK et al, 2012). Já as nanofibras, por suas características citadas anteriormente, podem contribuir para o tratamento de microfissuras, por meio de uma melhor hidratação no processo de cura, que possam vir a ocorrer em função destas patologias, o que garante um melhor desempenho do nanocompósito hidrogel/cimento.

Desse modo, é proposto neste trabalho de conclusão de curso a utilização de um sistema de hidrogel baseado em poliacrilamida (PAAm), polissacarídeo carboximetilcelulose (CMC) e nanofibras de celulose bacteriana (NFCB) com cimento Portland para obtenção de um nanocompósito híbrido. Este por sua vez, foi submetido a análise das propriedades nos estados fresco e endurecido da pasta de cimento mantendo constantes as relações hidrogel/cimento e água/cimento (a/c). Pretende-se a partir das técnicas de caracterizações do material híbrido entender a influência do hidrogel na matriz cimentícia, bem como sua potencial ação na cura interna ou como agente de reforço estrutural.

2. OBJETIVOS

Os principais objetivos estão listados a seguir:

- Preparar hidrogéis de poliacrilamida (PAAm) e carboximetilcelulose (CMC), com adição de nanofibras de celulose bacteriana (NFCB), a partir de reação de polimerização via radical livre;
- Obter matrizes a base de cimento-hidrogéis e avaliar suas propriedades no estado fresco (índice de consistência, densidade no estado fresco, teor de ar incorporado e exsudação), e no estado endurecido (ensaio de resistência à compressão axial, determinação de absorção de água, densidade aparente e retração hidráulica);
- Analisar o efeito da evolução do tempo de preparo (cura) sobre as propriedades do nanocompósito híbrido no estado endurecido.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. EXTRAÇÃO DE NANOFIBRAS DE CELULOSE (NFCB) A PARTIR DE RESÍDUOS DE CURATIVOS

A extração da NFCB ocorreu, a partir de resíduos de curativos de biocelulose (doados pela empresa Nexfill - Brasil), por oxidação mediada por 2,2,6,6-tetrametil-1-piperidinoxil (TEMPO) e tempo de 5 horas (BONFIM et al, 2019). Em seguida, a NFCB foi dispersa em água utilizando o dispersor Ultraturrax a 10.000 rpm por 5 minutos. Posteriormente, a solução foi colocada em ultrassom de banho por 10 minutos. Por fim, a solução passou por filtração simples.

3.2. PREPARAÇÃO DE NANOCOMPÓSITOS HÍBRIDOS BASEADOS EM HIDROGÉIS-NFCB

Os hidrogéis constituídos por poliacrilamida (PAAm), polissacarídeo carboximetilcelulose (CMC) e NFCB foram obtidos por meio de polimerização química, via radical livre, do monômero acrilamida (AAm) em solução aquosa de NFCB contendo CMC, agente de reticulação N'-N-metilenobisacrilamida (MBAAm) e catalisador N,N,N',N'-tetrametil-etilenodiamina (TEMED) baseando-se no procedimento descrito por Santos e colaboradores (SANTOS et al, 2016). Nesse estudado, foi utilizado o hidrogel contendo 5,0 % AAm (m/v); 2,0 % MBAAm (mol% em relação ao monômero AAm) e 0,75 % CMC (m/v) e 5,0% (massa/volume) de NFCB.

Após a etapa de síntese, os hidrogéis foram dialisados em água destilada por 5 dias, para que assim, estes fossem macerados e secos em estufa a $40 \pm 1^\circ\text{C}$. Com o material

completamente seco, o mesmo foi macerado manualmente a fim de adequar sua granulometria para a referida aplicação.

3.3. DETERMINAÇÃO DO GRAU DE INTUMESCIMENTO DOS HIDROGÉIS NANOCOMPÓSITOS

As propriedades hidrofílicas dos hidrogéis foram determinadas pela medida do grau de intumescimento, utilizando água destilada como meio de intumescimento. Após a etapa de síntese e purificação, ainda intumescidos, os hidrogéis foram cortados em formato cilíndrico e esses foram secos em estufa com temperatura controlada de $40 \pm 1^\circ\text{C}$, até massa constante. Após esse procedimento, os hidrogéis secos foram colocados em recipientes contendo água destilada (100 mL). Dessa forma, o grau de intumescimento foi determinado por meio da razão entre a massa de hidrogel intumescido em um tempo (t) e a massa do hidrogel seco.

3.4. PREPARAÇÃO DAS MATRIZES CIMENTÍCIAS BASEADAS EM NANOCOMPÓSITOS HÍBRIDOS E CIMENTO PORTLAND

Para preparar a pasta de cimento (0,35 a/c) contendo os hidrogéis, já intumescidos, foi utilizado um misturador mecânico (argamassadeira de bancada) Solotest, em velocidade mínima devido ao baixo volume de material a ser trabalhado, cimento Portland do tipo CP II-Z. Após a mistura, os componentes foram homogeneizados por 3 minutos. Em seguida e após as caracterizações do estado fresco, a mistura foi levada aos moldes cúbicos (5,0x5,0x5,0 cm ou 125 cm^3) e adensados com uso de mesa vibratória. Todas as amostras foram seladas com plástico filme por 24 horas para que fossem desmoldadas e armazenadas em temperatura ambiente. Foram obtidos 6 corpos de provas para cada composição do traço cimento-hidrogel para estudos de compressão axial e densidade aparente no estado endurecido, nas idades de 7,14,28,56 e 112 dias.

Para a realização das caracterizações das propriedades da pasta, em seus estados fresco e endurecido, foi utilizado uma dosagem de 0% (controle) e 0,5% de hidrogel intumescido em relação à massa de cimento e relação água/cimento (a/c) de 0,35. Tais relações foram definidas a partir da otimização do comportamento mecânico das pastas obtida em pesquisas anteriores (SIQUERI et al, 2020).

3.5. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA DA PASTA DE CIMENTO E HIDROGEL COM NFCB

Para determinar as propriedades reológicas da pasta contendo cimento e hidrogel, uma das técnicas utilizadas tratou-se da determinação do índice de consistência. Neste caso, foi proposto aplicação do método do espalhamento do tronco de cone, com a pasta de cimento e hidrogel em estado fresco. Assim, o ensaio foi realizado imediatamente após ao procedimento de mistura do nanocompósito cimento-hidrogel, de acordo com os procedimentos apresentados pela norma NBR 13276 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005). O índice de consistência refere-se a média aritmética dos três diâmetros, que foram obtidas a partir do espalhamento do cone ao qual o material inicialmente foi acondicionado.

3.6. EXSUDAÇÃO DA PASTA DE CIMENTO-HIDROGEL

Uma das características dos hidrogéis trata-se da liberação controlada de água. Assim, uma das técnicas que contribuiu para essa análise, trata-se da determinação da quantidade de água que exsuda de uma amostra em seu estado fresco. Esse método baseado na especificação RILEM MR-6 (RILEM, 1982) foi aplicado para as pastas controle e preparadas com hidrogel. Foram utilizadas 5 amostras com 500 mL cada, e com auxílio de uma pipeta o volume de água exsudada foi retirado da superfície, nos períodos de 15, 30, 60, 120 e 240 minutos. Após cada extração, a água foi transferida para um recipiente, e seu volume foi calculado, a partir da relação de água exsudada por volume da pasta colocada no recipiente.

3.7. DENSIDADE EM ESTADO FRESCO E TEOR DE AR INCORPORADO

Com o intuito de complementar as características reológicas dos nanocompósitos foi realizada análise da densidade da pasta em estado fresco, em conjunto com a determinação de ar incorporado, conforme prescrito pela NBR 13278 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS, 2005). Isto permitiu uma análise da interação dos hidrogéis e da nanofibras com a matriz cimentícia. Para a realização desse ensaio foram utilizados quatro corpos de prova prismáticos (4,0x4,0x16,0 cm ou 256 cm³), que permitiram verificar, a partir da relação massa fresca pelo volume, a densidade e o teor de ar incorporado (AI%).

Inicialmente, foram determinadas as massas (M_f) dos moldes contendo a pasta cimentícia com uso de uma balança semi-analítica (Shimadzu BL-3200H). Assim, os moldes foram preenchidos com a pasta de cimento e retirado o material excedente para uma nova leitura de massa. A densidade da pasta no estado fresco “D” (g/cm³) foi obtida de acordo com a equação 1.

$$D = \frac{M_{fi} - M_{vi}}{V_{ri}} \quad (1)$$

onde M_{vi} = massa do molde vazio “i” (g) e V_{ri} = volume do molde “i” (cm³).

Ressalta-se que os valores das densidades no estado fresco das pastas correspondem ao valor médio obtido a partir das massas de três amostras ensaiadas. Já o ensaio para determinar o teor de ar incorporado “A” (%) foi realizado também de acordo com a norma NBR 13278, para todas as pastas cimentícias. O valor do teor foi calculado de acordo com a Equação 2:

$$A = 100\left(1 - \frac{D}{dt}\right) \quad (2)$$

onde A = teor de ar incorporado (%), dt é a densidade de massa teórica (g/cm³).

A densidade teórica das pastas foi obtida a partir da equação 3, considerando a densidade de cada material constituinte da pasta de cimento.

$$dt = \frac{(m_{hidrogel} + m_{água} + m_{cimento})}{\left(\frac{m_{hidrogel}}{\gamma_{hidrogel}}\right) + \left(\frac{m_{água}}{\gamma_{água}}\right) + \left(\frac{m_{cimento}}{\gamma_{cimento}}\right)} \quad (3)$$

onde $m_{hidrogel}$, $m_{água}$ e $m_{cimento}$ são as massas do hidrogel, água e cimento (g), respectivamente; $\gamma_{hidrogel}$, $\gamma_{água}$ e $\gamma_{cimento}$ são os valores das massas específicas do hidrogel, água e cimento (g.cm⁻³), respectivamente.

O ensaio foi realizado utilizando quatro corpos de provas prismáticos para cada porcentagem de hidrogel, e seu resultado final foi o valor médio dos resultados encontrados.

3.8. DETERMINAÇÃO DE RETRAÇÃO PLÁSTICA POR SECAGEM

Outro aspecto relacionado a influência do hidrogel na matriz cimentícia trata-se do processo de cura interna, ao qual pode evitar retração do material. Desta maneira, com o intuito de verificar este comportamento foi feita a realização de caracterização de retração plástica por secagem, seguindo as orientações da norma NM 131:1997 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS, 1997). O intuito foi determinar a redução volumétrica ocorrida no material em seu estado endurecido, e verificar a efetividade do hidrogel como agente redutor de retração. Para tanto, foi utilizado um comparador mecânico do tipo vertical, aplicado para medições de corpos de prova nas dimensões de 10x10x30 cm (ou 3000 cm³) do compósito. As

amostras foram analisadas 24 horas após a moldagem e nas idades características de 7, 14, 28, 56 e 91 dias, obtendo-se assim a porcentagem de variação de comprimento das mesmas.

3.9. DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA

Devido a formação de poros na estrutura do material, após a liberação da água aprisionada na matriz do hidrogel, faz-se necessário realizar a determinação de absorção de água por imersão a partir das recomendações da NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), processo pelo qual a água é conduzida e tende a ocupar os poros permeáveis de um corpo sólido poroso. Desta maneira, foram moldadas três amostras contendo uma quantidade mínima de 150 cm³ de material. As amostras foram secas em estufa (105 °C) por 72 horas, de modo a obter as suas massas secas (ms), e posteriormente as mesmas foram imersas em água a temperatura ambiente (média de temperatura de 25,1°C (CLIMATE-DATA, 2019)) e mantido por 72 horas nessa condição, até sua completa saturação. A determinação de absorção foi realizada pela relação entre a diferença de massa saturada e massa seca, pela massa seca da amostra, indicando assim a porcentagem de absorção de água pelo material.

3.10. ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

A efetividade dos hidrogéis atuarem como reforço nos nanocompósitos a base de cimento foi investigada por meio das propriedades mecânicas de compressão axial, em acordo com os procedimentos descritos pela norma ASTM C109 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2020) e NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018), as quais indicam todos os procedimentos para preparo das amostras e as condições para realização deste ensaio.

Para isso, foi utilizando o equipamento Emic DL30000N (EMIC®, Brasil), com carga limite de 200 toneladas operando com uma taxa de carga de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s. Os corpos de provas de 5,0x5,0x5,0 cm (125 cm³) foram deixados em condições ambientes (25,1°C) para que ocorresse a cura da pasta de cimento. Os ensaios foram realizados em intervalos de dias pré-estabelecidos: 7; 14; 28; 56 e 112 dias. Para isso, foram utilizados 6 corpos de prova em cada idade.

3.11. DENSIDADE APARENTE

A determinação da densidade aparente no estado endurecido foi realizada seguindo as recomendações de procedimento de ensaio da norma NBR 13280 (ASSOCIAÇÃO

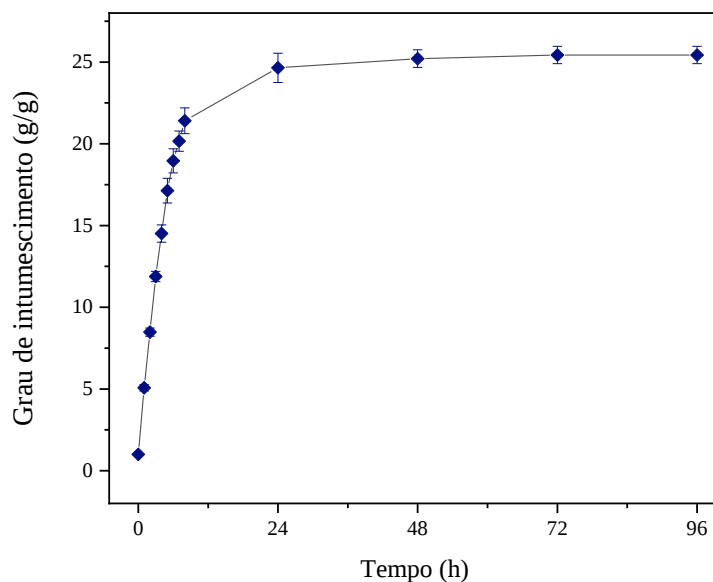
BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS, 2005). O ensaio foi realizado para 6 corpos-de-prova das pastas de cimento-hidrogel, após procedimento de cura nas idades de 7, 14, 28, 56 e 112 dias. Nestas idades, foram determinados os volumes dos corpos de prova, a partir das dimensões de suas arestas, bem como a massa dos mesmos. Assim, a densidade de massa aparente da pasta no estado endurecido foi apresentada como a relação da massa pelo volume obtido nas idades previamente determinadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. GRAU DE INTUMESCIMENTO

O grau de intumescimento dos hidrogéis trata-se da capacidade que o polímero apresenta em absorver água ao longo do tempo. Neste caso, esse parâmetro foi monitorado até o seu estado de equilíbrio em 96 horas, ou seja, até a sua completa saturação, conforme apresentado na Figura 1. O tempo de equilíbrio foi determinado a partir do ponto na curva onde não foi mais observado variação de massa após um determinado intervalo de tempo.

Figura 1. Dependência do grau de intumescimento (Q) em função do tempo para o nanocompósito contendo 5,0 % de nanofibras de celulose bacteriana.



Fonte: Próprio autor.

Foi possível observar uma rápida absorção de água nas primeiras 8 horas, seguido de um aumento na absorção de água entre 8 e 24 h, e a partir desse tempo, o patamar constante indica o estado de equilíbrio. Assim, o grau de intumescimento de equilíbrio foi

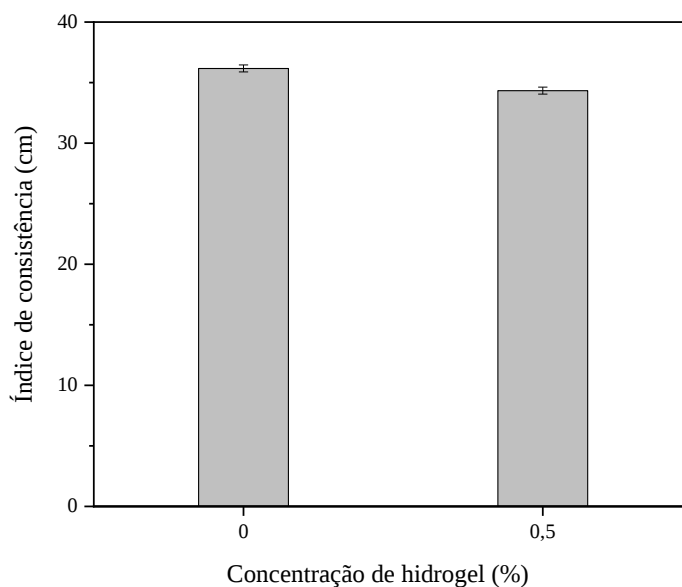
aproximadamente $24,6 \pm 0,9$ g/g. Comparando com projetos realizados pelo nosso grupo de pesquisa (CILLI, 2019), o grau de intumescimento da matriz com composição semelhante, porém sem a nanofibra, foi maior ($35,2 \pm 2,7$ g/g), indicando que sua adição diminuiu a capacidade de absorção de água, essa redução no grau de intumescimento está relacionada ao fato de que nos hidrogéis sintetizados com NFCB formam mais ligações de hidrogênio entre as estruturas, o que restringe o intumescimento do polímero absorvente. Isto confirma também o efeito de preenchimento (ou *filler*) das NFCB nas matrizes poliméricas.

O intumescimento do hidrogel nos mostra a capacidade de absorção do hidrogel e este é importante para definir a quantidade de água que será necessária para a síntese das pastas de cimento.

4.2. ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA DA PASTA DE CIMENTO E HIDROGEL-NFCB

Os resultados do índice de consistência das pastas cimentícias controle e com adição de hidrogel com NFCB a partir da realização do “*Slump test*” estão apresentados na Figura 2.

Figura 2. Valores de índice de consistência para as matrizes controle e contendo hidrogel-NFCB



Fonte: Próprio autor.

Os resultados obtidos indicam que os valores médios dos índices de consistência foram de $36,2 \pm 0,3$ e de $34,3 \pm 0,3$ cm, para as pastas controle e com hidrogéis respectivamente. Esta redução de aproximadamente 5% pode estar associada ao fato de que a água retida pelo hidrogel não está sendo liberada durante a preparação das matrizes cimentícias, isso garante uma boa

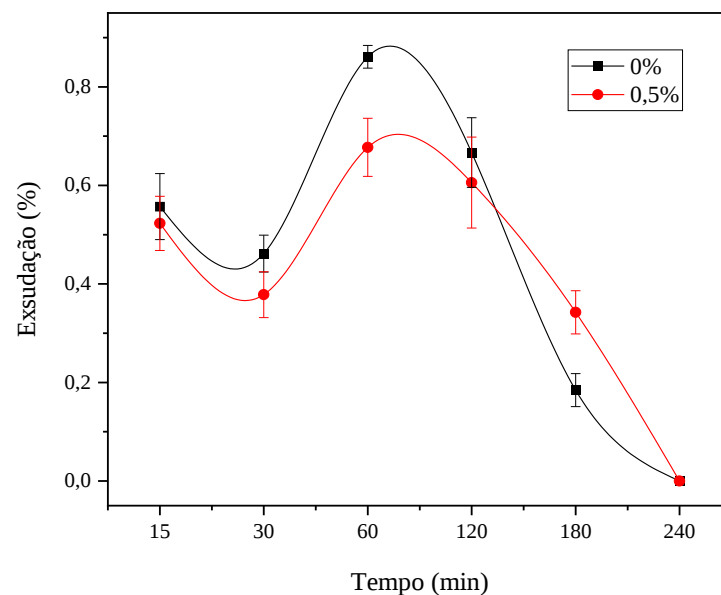
efetividade do hidrogel nas pastas de cimento trabalhadas. Além disso, a pequena variação entre as duas pastas de cimento indica que a trabalhabilidade e suas propriedades reológicas não foram afetadas ao ponto de impedir seu preparo.

4.3. EXSUDAÇÃO DA PASTA DE CIMENTO-HIDROGEL

O fenômeno de exsudação se deve ao fato da água da pasta de cimento não ficar retida pelas partes sólidas da mistura devido a diferença de densidade entre a água e o cimento, sendo que parte dela fica na superfície de concreto recém-lançado. Uma maneira de perceber o fenômeno de exsudação é verificar a face do concreto a fim de encontrar uma camada de água proveniente da mistura. Uma forma de corrigir esse fenômeno seria adicionar mais cimento, mudar a granulometria do agregado miúdo ou utilizar aditivos minerais (TUTIKIAN et al, 2012). Além disso, a exsudação pode gerar uma camada superficial de baixa resistência ao desgaste por abrasão física, fissuração por retração plástica, criação de baixa aderência, entre outras relacionadas ao acabamento (NEVILLE et al, 2013).

O ensaio foi realizado com o intuito de analisar a exsudação da pasta com o hidrogel para verificar a capacidade de retenção de água pelo polímero. A Figura 3 apresenta os resultados de exsudação obtidos para as pastas produzidas sem e com hidrogéis.

Figura 3. Relação da exsudação em função do tempo para as diferentes concentrações de hidrogel.



Fonte: Próprio autor.

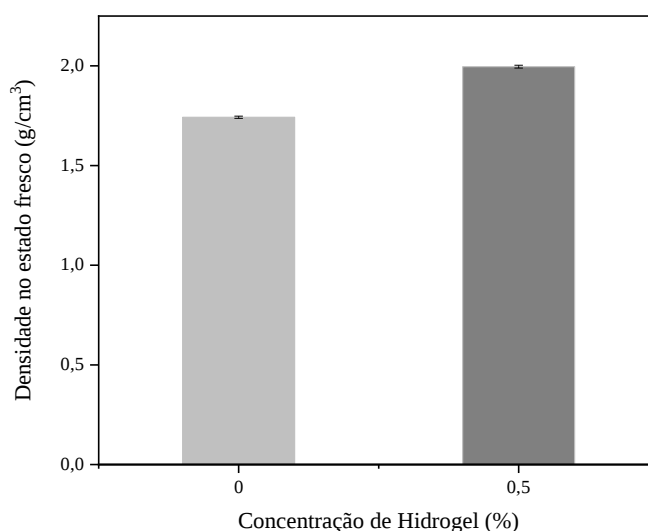
Foi possível observar que até 120 minutos, as matrizes contendo hidrogel apresentaram taxas de exsudação menores comparadas ao controle. Isto indica uma capacidade de retenção de água durante o processo de endurecimento (hidroretenção), e possivelmente a liberação da água no processo de cura. Após os 120 minutos, a amostra com hidrogel teve uma taxa exsudação ligeiramente maior. Essa atuação do hidrogel está relacionado com a continuação do processo de liberação de água, hidratando a matriz durante sua cura até 240 minutos, onde não é observada mais exsudação.

4.4. DENSIDADE EM ESTADO FRESCO E TEOR DE AR INCORPORADO

A densidade da pasta cimentícia varia de acordo com o teor de ar incorporado na mistura. Quanto maior é a densidade do compósito, mais pesada será a pasta cimentícia, possuindo uma menor porcentagem de teor de ar incorporado, e, conseqüentemente, uma menor trabalhabilidade durante o tempo (PCZIECZEK, 2017).

Na Figura 4 é apresentada a relação de densidade aparente para o estado fresco da pasta em função do teor de hidrogel, onde pode-se observar que a densidade da matriz contendo hidrogel é ligeiramente maior que o controle.

Figura 4. Relação da densidade aparente no estado fresco para as diferentes concentrações de hidrogel.

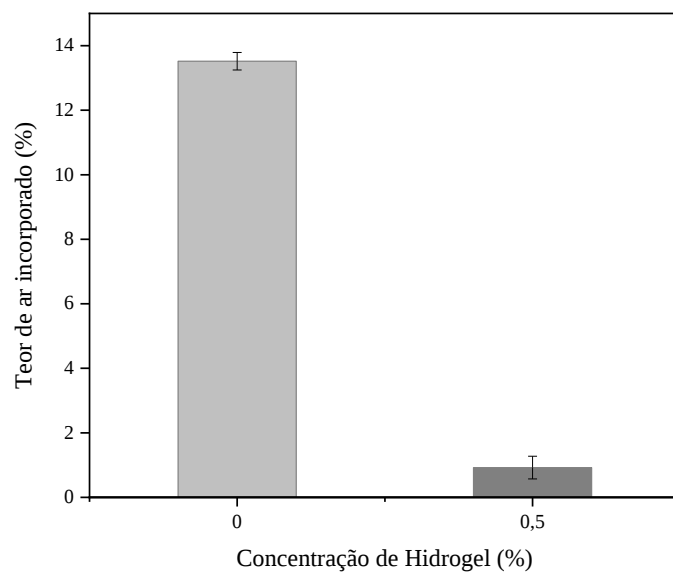


Fonte: Próprio autor.

Já na Figura 5, percebe-se que o teor de ar incorporado na matriz cimentícia com a quantidade de hidrogel teve um menor percentual, em torno de 0,92%. Esse decaimento pode

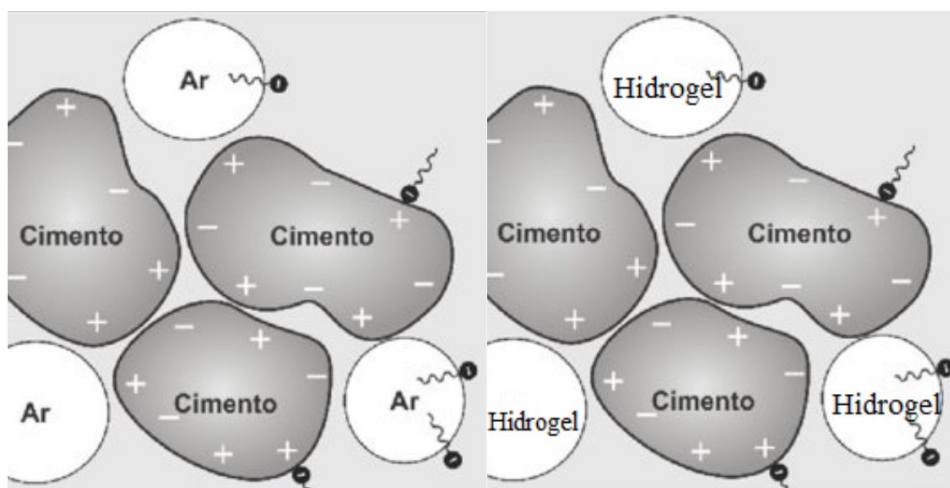
ser pelo fato de que o hidrogel intumescido estaria ocupando os vazios que seriam ocupados pelo ar durante o processo de preparo da pasta. O que explica também o leve aumento da densidade da pasta cimentícia ocasionado pela presença do hidrogel. Um esquema representando a substituição de bolhas de ar por partículas de hidrogel na pasta cimentícia é apresentado na Figura 6.

Figura 5. Relação do teor de ar incorporado para as diferentes concentrações de hidrogel



Fonte: Próprio autor.

Figura 6. Substituição do ar retido por partículas de hidrogel na pasta de cimento.



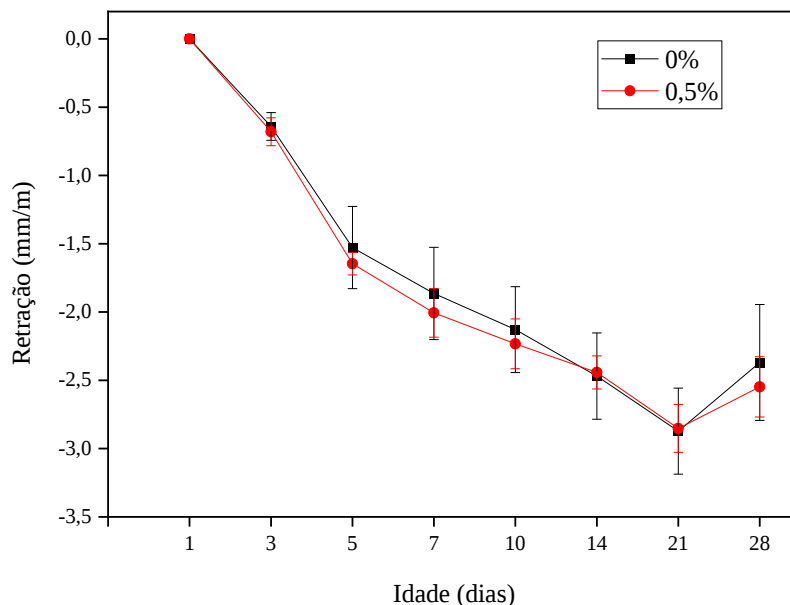
Fonte: Próprio autor.

4.5. RETRAÇÃO PLÁSTICA POR SECAGEM

A retração hidráulica ocorre devido a diferença higrométrica entre o núcleo do concreto e o ambiente externo, onde a variação do gradiente hidráulico tende a criar deformações de retração (NEVILLE, 2013). Para entender o efeito do hidrogel nesta propriedade da matriz cimentícia foram realizados ensaios de variação volumétrica em amostras prismáticas.

Nota-se a partir da Figura 7 que as alterações nas dimensões dos corpos de provas foram todas negativas, caracterizando como retrações, ou seja, ocorreram reduções de volume à medida que as amostras perdiam umidade para o meio externo. Os resultados demonstraram que as variações foram significativas, com a maior retração obtida na idade de 21 dias, de $2,85 \pm 0,17$ mm/m. Como o comportamento foi similar entre os dois traços de hidrogel, acredita-se que o hidrogel não tem efeito neste processo de retração, ou seja, sua presença não está prejudicando esta propriedade. Também foi realizado o controle de massa das amostras e não foram observadas mudanças significativas em sua massa, isso nos garante que só o volume variou durante a realização deste ensaio.

Figura 7. Relação da retração das pastas cimentícias em função da idade de cura para as ambas as concentrações de hidrogel.



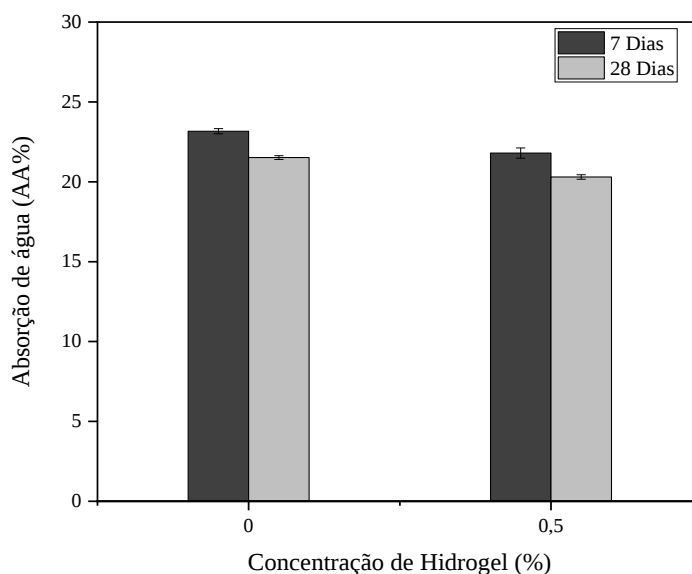
Fonte: Próprio autor.

4.6. ABSORÇÃO DE ÁGUA

A absorção de água é um fator importante de ser analisado, pois este pode ser relacionado a presença de poros nas massas cimentícias. Ela ocorre devido os poros que existem nos materiais dos grãos do cimento utilizado e também dos espaços vazios presentes na amostra (BAUER, 2000). Dessa maneira, a absorção de água está diretamente relacionada com a porosidade dos materiais adicionados a mistura de concreto e com a porosidade das matrizes cimentícias, devido a presença de ar incorporado, assim como os espaços vazios formados devidos a má compactação da pasta no momento da moldagem, e pela liberação da água do hidrogel no processo de cura.

Após a realização do ensaio (Figura 8), observou uma menor absorção de água da amostra contendo o hidrogel comparado com o controle. Isso nos mostra que as matrizes contendo o hidrogel possuem menos vazios, podendo estar atrelado a homogeneização da pasta cimentícia com o hidrogel, e também a atuação do hidrogel na reação de hidratação da pasta.

Figura 8. Absorção de água em função da concentração de hidrogel nas idades de 7 e 28 dias.



Fonte: Próprio autor.

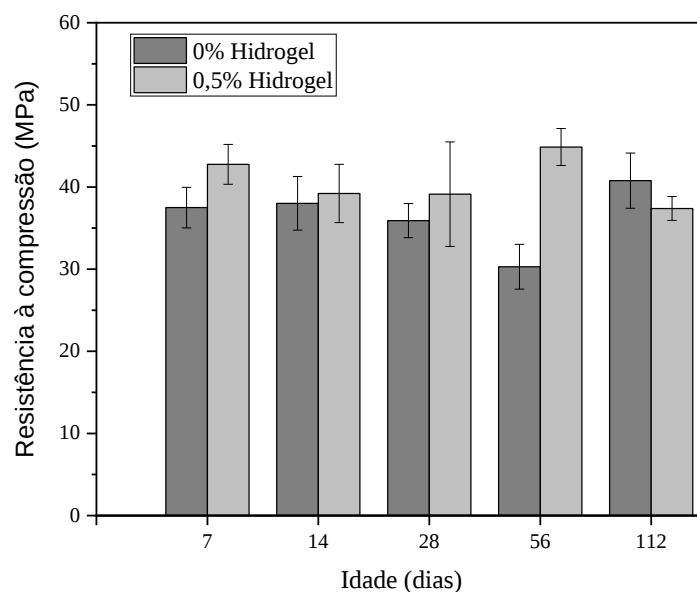
4.7. COMPRESSÃO AXIAL

Os resultados de compressão axial das pastas controle e contendo hidrogel para as diferentes idades de cura estão indicados na Figura 9. Aos 7 dias, a matriz cimentícia com hidrogel teve uma resistência mecânica levemente maior comparada ao controle. Para idades

iguais e maiores que 14 dias foi observado estabilidade na resistência mecânica, atingindo valores próximos a 45 MPa. Esta tendência foi observada tanto em relação ao tempo de cura para a pasta controle quanto para a pasta contendo nanocompósito de hidrogel. Observa-se também que a presença do hidrogel não afetou a resistência mecânica da pasta cimentícia. Na idade de 56 dias foi observada uma leve queda na resistência na pasta controle, que pode estar relacionada a algum erro experimental, visto que aos 112 dias, esta tendência não é mais observada.

Embora o hidrogel não contribua expressivamente para a melhoria desta propriedade mecânica, o fato de não prejudicar já é um resultado satisfatório. Visto que este valor de resistência à compressão possibilita a aplicação em diversas áreas da construção civil principalmente nas que estão diretamente ligadas à segurança e à estabilidade estrutural, como em projetos de fundação e de estrutura, além da presença do hidrogel melhorar as propriedades no estado fresco, como discutido anteriormente.

Figura 9. Resistência à compressão axial das matrizes cimentícias.



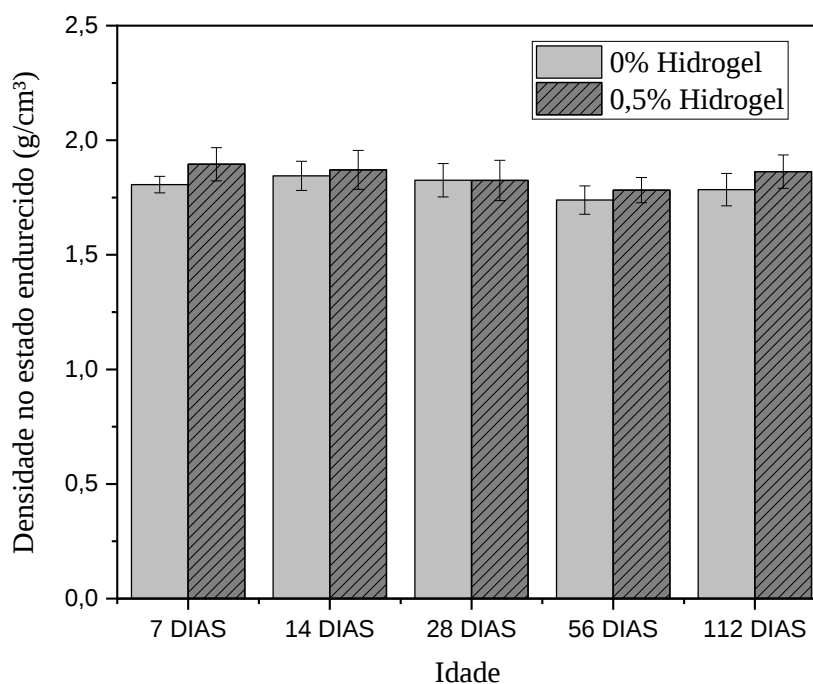
Fonte: Próprio autor.

4.8. DENSIDADE APARENTE NO ESTADO ENDURECIDO

A determinação da densidade de massa aparente foi realizada após o procedimento de cura nas idades 7, 14, 28, 56 e 112 dias, utilizando seis corpos de prova cúbicos de aresta de 5 cm, para cada relação cimento/hidrogel (0 e 0,5%).

Na Figura 10 estão indicados os resultados obtidos de densidade aparente no estado endurecido das diferentes amostras investigadas nas respectivas idades de cura. Para todas as idades não foram observadas variações significativas entre ambas as pastas. Estes resultados estão relacionados a condição de cura, que ocorreu em estado ambiente e a distribuição homogênea do hidrogel, o que indica que o hidrogel pode atuar como um eficaz agente de cura, e porventura reduzir a retração no processo de endurecimento.

Figura 10. Densidade aparente das pastas cimentícias no estado endurecido para os determinados tempos de cura.



Fonte: Próprio autor.

5. CONCLUSÕES

Foi possível obter com sucesso uma formulação de pasta cimentícia contendo nanocompósitos baseados em hidrogéis e nanofibras de celulose bacteriana e caracterizar suas propriedades nos estados fresco e endurecido. A adição dos hidrogéis diminuiu aproximadamente 5% o índice de consistência da pasta cimentícia, não comprometendo a trabalhabilidade destas. Observou-se também que a presença do hidrogel reduziu a taxa de exsudação até 120 minutos da pasta controle, indicando uma capacidade de retenção de água

durante o processo de endurecimento. Ainda, pode-se concluir que a pasta contendo hidrogel absorveu 6 % menos água nas idades de 7 e 28 dias. Não foram observadas variações significativas, em todas as idades de cura, ocasionadas pela incorporação de hidrogel nas propriedades de resistência mecânica e na retração destas pastas cimentícias. O que é um resultado considerado satisfatório tendo em vista a resistência mecânica de 35 MPa da matriz controle. Com isto, a aplicação de nanocompósitos híbridos passa ser uma alternativa para o desenvolvimento de materiais cimentícios que utilizam o procedimento de cura interna, para evitar retração, sem alterar ou até mesmo melhorar as propriedades mecânicas das argamassas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C109: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars** (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens). 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos-Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassas e concretos endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 131: Concreto – Determinação da retração hidráulica ou higrométrica do concreto**. Rio de Janeiro, 1997.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção 1: Novos materiais para construção civil**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 447 p.

BETTERMAN, L. R.; OUYANG, C.; SHAH, Surendra P. **Fiber-matrix interaction in microfiber-reinforced mortar**. Advanced Cement Based Materials, v. 2, n. 2, p. 53-61, 1995.

BONFIM, K. S.; OLIVEIRA, E. F. R.; LOREVICE, M V; AOUADA, F. A.; MOURA, M. R. D. **Influência de parâmetros reacionais na extração de nanofibras de celulose bacteriana pelo método de oxidação.** 15º Congresso Brasileiro de Polímeros, 2019.

CALESCO, M. A. F.; WATANUKI FILHO, A.; MOURA, M. R. DE; AOUADA, F. A. **Efeitos da adição de nanocompósito híbrido baseado em hidrogel de polissacarídeo e nanoargila nas propriedades nos estados fresco e endurecido de argamassas cimentícias.** CERÂMICA, v. 68, p. 97-107, 2022.

ÇELİK, Meltem; ÖNAL, Müşerref. **Synthesis and characterization of poly (glycidyl methacrylate)/Na-montmorillonite nanocomposites.** Journal of Applied Polymer Science, v. 94, n. 4, p. 1532-1538, 2004.

CILLI, Sabrina L.; et al., **Otimização de metodologia de obtenção de pastas cimentícias contendo hidrogéis.** Journal of Experimental Techniques and Instrumentation, v. 2, 2019, p.1-9.

Duan, P., Yan, C., Zhou, W. & Luo, W. **Thermal behavior of Portland cement and fly ash-metakaolin-based geopolymer cement pastes.** Arabian Journal for Science and Engineering. v. 40, n. 8, p. 2261–2269, 2015.

FU, Tengfei et al. **Cellulose nanomaterials as additives for cementitious materials.** In: Cellulose-Reinforced Nanofibre Composites. Woodhead Publishing, 2017. p. 455-482.

LIU, Rui et al. **Antibacterial and hemostatic hydrogel via nanocomposite from cellulose nanofibers.** Carbohydrate Polymers, v. 195, p. 63-70, 2018.

MEZENECVOVA, Andrea et al. **Influence of thermomechanical pulp fiber compositions on internal curing of cementitious materials.** Journal of Materials in Civil Engineering, v. 24, n. 8, p. 970-975, 2011.

NEVILLE, A. M.; BROOKS J. J. **Tecnologia do concreto. 2. Ed. Porto Alegre. Bookman, 2013.**

PCZIECZEK, A. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de argamassa para revestimento utilizando cinza volante e resíduos de borracha de pneus inservíveis.** Dissertação de mestrado: Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil, UDESC, 2017.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA), “U.S. CEMENT INDUSTRY ANNUAL YEARBOOK 2015;” Disponível em: <
<https://www.cement.org/morereports/2018-us-cement-industry-annual-yearbook>>, 2015.

QIAO, Kun et al. **Hydrophilic nanofiber of bacterial cellulose guided the changes in the micro-structure and mechanical properties of nf-BC/PVA composites hydrogels.** Composites Science and Technology, v. 118, p. 47-54, 2015.

RILEM. INTERNATIONAL UNION OF TESTING AND RESEARCH LABORATORIES FOR MATERIALS AND STRUCTURES – RILEM. MR – 6. **Tendency of water to separate from mortars (bleeding)**. 1 st. Ed. France, 1982. 110p.

SANTOS, J. C. dos; Tashima, M. M., Moura, M. R., Aouada, F. A. **Obtenção de compósitos híbridos baseados em hidrogéis e cimento Portland**. Química Nova, 39, 124-129, 2016.

SNOECK, D. et al. **The use of superabsorbent polymers as a crack sealing and crack healing mechanism in cementitious materials**. In: Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting III: 3rd International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, ICCRRR-3, 3–5 September 2012. CRC Press Cape Town, South Africa, 2012. p. 58.

SIQUERI, V. A.; WATANUKI FILHO, A.; DE MOURA, MARCIA R.; AOUADA, F. A. **Effect of hydrogel nanocomposites on the fresh and hardened properties of cementitious pastes**. Macromolecular Symposia, v. 394, p. 1-15, 2020.

TAYLOR, Harry FW. **Cement chemistry**. Thomas Telford, 1997.

TORRES, F. G.; ARROYO, J. J.; TRONCOSO, O. P. **Bacterial cellulose nanocomposites: An all-nano type of material**. Materials Science and Engineering: C, 2019.

TUTIKIAN, Bernardo; HELENE, Paulo. **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2012.