XV SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas
Porto Alegre/RS - 11 a 13 de junho de 2025

MÉTODO UUCT APLICADO A ARGAMASSAS PARA IMPRESSÃO 3D

UUCT method applied to mortars for 3D printing

RENATO C. ARAUJO[1], HELENA CARASEK[2]
[1] Instituto Federal de Goiás, renato.costa@ifg.edu.br
[2] Universidade Federal de Goiás, hcarasek@ufg.br

RESUMO
Em função da complexidade no processo de aplicação, as argamassas utilizadas na impressão 3D demandam um alto controle tecnológico. Devido à ausência de fôrma esse sistema construtivo exige da argamassa uma boa estabilidade de forma e resistência no estado fresco. Nesse sentido, o *Unconfined Uniaxial Compressive Test* - UUCT é um método alternativo para a caracterização dessas argamassas no estado fresco, avaliando a capacidade de suporte de carga e a deformação nas primeiras idades. O artigo, portanto, apresenta o método do ensaio, com seus objetivos, equipamentos e materiais necessários, preparação das amostras, execução do teste e interpretação dos resultados. São discutidas também as limitações do método e as precauções gerais. O método UUCT durante os testes foi sensível às alterações no traço da argamassa e apresentou boa repetitividade, com coeficiente de variação de 6%. Assim, a metodologia mostrou-se bastante satisfatória para a caracterização de argamassas utilizadas para impressão 3D.

Palavras-chave: Argamassa. Impressão 3D. UUCT. Retenção de forma. Capacidade de suporte de carga.

ABSTRACT
Due to the complexity of the application process, the mortars used in 3D printing require high technological control. Due to the absence of formwork, this construction system requires the mortar to have good shape stability and green strength in the fresh state. In this sense, the Unconfined Uniaxial Compressive Test - UUCT is an alternative method for characterizing these mortars in the fresh state, evaluating their green load carrying capacity and their deformation. The article, therefore, presents the objectives of the test, equipment and materials used, sample preparation, test execution and interpretation of results. Limitations of the method and general precautions are also discussed. The UUCT method during the tests was sensitive to changes in the mortar mix and showed good repeatability, with a coefficient of variation of 6%. Thus, the methodology proved to be quite satisfactory for the characterization of materials used in 3D printing.

Key-words: Mortar. 3d printing. UUCT. Shape Stability. Load carrying capacity.

Como citar:
ARAÚJO, R.C.; CARASEK, H. Método UUCT aplicado a argamassas para impressão 3D. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2025, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2025.

INTRODUÇÃO

A impressão 3D de argamassa, também conhecida como construção aditiva, possivelmente é uma das alternativas mais promissoras e eficazes para a industrialização da construção civil, sendo essa técnica construtiva cada vez mais abordada nas pesquisas em diversos países [1][2][3]. Essa tecnologia permite a produção, camada por camada, de formatos complexos de maneira automatizada.

Neste contexto da impressão 3D, a compreensão do comportamento das argamassas no estado fresco é ainda mais essencial do que para os demais concretos, argamassas e pastas, que se destinam a outras finalidades. A impressão 3D de argamassa é uma tecnologia construtiva que apresenta um processo extenso entre a mistura e a aplicação do material, demandando muito das propriedades como coesão e resistências à segregação e à exsudação. Após a impressão do filete de argamassa, ainda no estado fresco, é solicitado do material uma elevada estabilidade de forma, devido à ausência dos sistemas de fôrmas. A deposição das camadas subsequentes sobre o filete ainda no estado fresco, solicita da argamassa, antes do enrijecimento, que ela suporte carga, a qual é ampliada a cada ciclo [4].

A capacidade de suporte de carga garante que as camadas inferiores suportem o peso das camadas sobrejacentes sem que apresentem deformações excessivas, possibilitando a continuidade do processo de impressão. Neste cenário, o método UUCT - *Unconfined Uniaxial Compressive Test* consiste na compressão axial da amostra de argamassa no estado fresco e seu intuito é verificar a capacidade de suporte de carga e a sua evolução durante as primeiras idades. Este método é bastante utilizado para a caracterização de argamassas utilizadas no processo de impressão 3D, fornecendo dados críticos para o planejamento e execução do plano de impressão. Conforme citado por alguns autores [5], o método UCCT foi adaptado de um método de compressão de solos coesivos, baseado na ASTM D2166-13 [6].

Nesse contexto, a presente pesquisa tem como objetivo analisar a sensibilidade e repetitividade do UUCT em avaliar a capacidade de suporte de carga de diferentes argamassas para impressão 3D. Sendo assim, essa pesquisa está inserida no cenário de crescente adoção da impressão 3D na construção civil e contribuindo para o avanço do conhecimento e consolidação da impressão 3D como alternativa sustentável e industrializada para o nosso setor.

PROGRAMA EXPERIMENTAL: MATERIAIS E MÉTODOS

O ensaio de UUCT consiste na compressão axial da argamassa no estado fresco sem sistema de confinamento. Para a realização do ensaio foi utilizado uma máquina universal de ensaio EMIC DL 3000, equipada com uma célula de carga de 2kN (Figura 1). Além do registro da força de compressão e do deslocamento realizado pela máquina universal de ensaio, para realização do ensaio foi utilizado uma máquina fotográfica para registrar a deformação da argamassa causada pela compressão.

Figura 1 – Montagem do ensaio UUCT na máquina universal de ensaios.



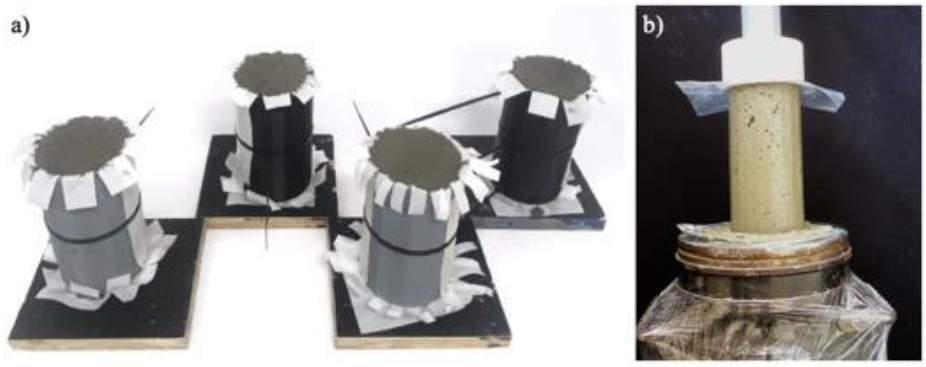
Fonte: Os autores (2025).

As amostras moldadas foram ensaiadas no estado fresco. Na máquina universal de ensaio, a carga foi aplicada com uma velocidade de 30mm/min (0,5mm/s). A deformação aplicada foi de 70 mm. Adotou-se os mesmos parâmetros de ensaio utilizados por outros autores [7][8]. Devido o estado fresco da argamassa, para transportar a amostra e evitar o contato com as placas da máquina universal de ensaio, uma camada de polímero foi utilizada na parte inferior e outra na parte superior da amostra de argamassa, alguns autores utilizaram outros materiais, como teflon e filme PVC. Nas placas inferior e superior da máquina universal de ensaio, também foi aplicada uma fina camada de óleo mineral.

Com o intuito de analisar a sensibilidade do método, foram definidas duas variáveis. A primeira variável analisada foi o tempo de hidratação do cimento presente na argamassa. Assim, as argamassas foram ensaiadas nas idades de 15, 30, 60 e 90 minutos. A segunda variável avaliada foi a composição da argamassa, desta forma, foram testados diferentes traços de argamassas para impressão 3D com alteração de parâmetros como relação água/ligante e quantidade de agregado, conforme apresentado na Tabela 1. Os 6 traços e as 4 idades totalizaram 24 combinações. Por fim, avaliou-se a repetitividade do método UUCT pela repetição do ensaio por 12 vezes, essa repetição do ensaio foi realizada utilizando um mesmo traço e na mesma idade de hidratação da argamassa.

Para moldagem da argamassa foi utilizado um molde bipartido com dimensões de 70 mm de diâmetro e 140 mm de altura, conforme Figura 2, e indicado por outros autores [7][8]. Na presente pesquisa, o molde foi fechado por meio de abraçadeiras, a moldagem foi realizada em duas camadas com auxílio de espátula longa e, para garantir o completo preenchimento do molde, a argamassa foi adensada por 10 segundos em uma frequência de 30 Hz em agitador eletromagnético, esse processo visa garantir o perfeito preenchimento do molde sem a presença de espaços vazios.

Figura 2 – Método UUCT: a) molde bipartido; b) corpo de prova.



Fonte: Os autores (2025).

Todo o processo, incluindo a mistura, moldagem, adensamento, desforma e inserção da amostra de argamassa na máquina universal de ensaio, foi realizado em um tempo inferior a 15 minutos. Para possibilitar a retirada da fôrma com a argamassa ainda no estado fresco, no interior dos moldes bipartidos foi aplicada uma fina camada de óleo mineral e uma camada de filme de PVC ou papel manteiga.

No estudo foram utilizados seis diferentes traços de argamassas, as proporções dos materiais estão apresentadas na Tabela 1, que foram definidos em função da variação do consumo de agregado miúdo, nanossílica e água. Os seis traços foram produzidos com a utilização de cimento CPV ARI da marca Ciplan com resistência à compressão a 28 dias igual a 48,4 MPa e finura pelo método de Blaine igual a 4.888 cm^2/g , areia de leito de rio oriunda do município do Faina – GO com dimensão máxima característica (DMC) de 2,4 mm e módulo de finura igual a 2,58, água oriunda da rede da concessionária local (SANEGO), sílica ativa da marca Elkem Microsilica® com partículas esféricas com diâmetro médio de 150 nm, dispersão aquosa de sílica coloidal Levasil CB 30 (nanossílica) com teor de sólidos igual a 30 %, aditivo redutor de água à base de policarboxilato MAXILUID L2020 da marca Matchem, aditivo modificador de viscosidade e retentor de água V-MAR® PUMP da marca GPC *Applied Technologies*.

Tabela 1 – Traço (em massa) em proporção unitária das argamassas utilizadas.

Arg.	CPV ARI	Sílica Ativa	nanossílica	Agr. miúdo	Aditivo redutor	Aditivo Modif.	Água
40V4-3	1	0,96	0,04	3	0,04	0,004	0,40
40V4-4	1	0,96	0,04	4	0,04	0,004	0,40
60V6-5	1	0,94	0,06	5	0,04	0,004	0,6
60V6-6	1	0,94	0,06	6	0,04	0,004	0,6
80V8-7	1	0,92	0,08	7	0,04	0,004	0,8
80V8-8	1	0,92	0,08	8	0,04	0,004	0,8

Fonte: Os autores (2025).

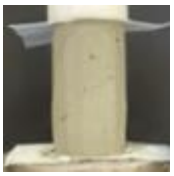
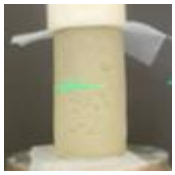
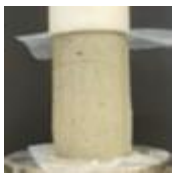
APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O ensaio pelo método UUCT foi aplicado às seis argamassas com tempos de hidratação de 15, 30, 60 e 90 minutos. A aferição da força máxima é realizada com essa variação de tempo para verificar a evolução da capacidade de carga da argamassa ainda no estado fresco. Essa

propriedade é importante para as argamassas utilizadas no processo de impressão 3D, pois representa a capacidade da argamassa suportar a carga das camadas sobrejacentes.

Na Tabela 2 é possível identificar os resultados dos seis traços de argamassa combinados com os quatro tempos de hidratação.

Tabela 2 – Resultado do UUCT para as argamassas em diferentes tempos de hidratação.

Argamassa	15 min	30 min	60 min	90min
40V4-3				
Força/def.	56 N/16 mm	97 N/15 mm	260 N/15 mm	590 N/13 mm
40V4-4				
Força/def.	128 N/14 mm	215 N/22 mm	471 N/13 mm	1522 N/11 mm
60V6-5				
Força/def.	47 N/27 mm	108 N/28 mm	170 N/22 mm	285 N/20 mm
60V6-6				
Força/def.	90 N/33 mm	135 N/23 mm	269 N/20 mm	483 N/16 mm
80V8-7				
Força/def.	64 N/32 mm	95 N/26 mm	164 N/23 mm	252 N/22 mm
80V8-8				
Força/def.	124 N/18 mm	161 N/21 mm	285 N/20 mm	372 N/17 mm

Fonte: Os autores (2025).

No resultado está apresentado a força máxima suportada, a deformação imposta à argamassa para esse nível de força e imagem do corpo de prova no momento que a força máxima foi aplicada.

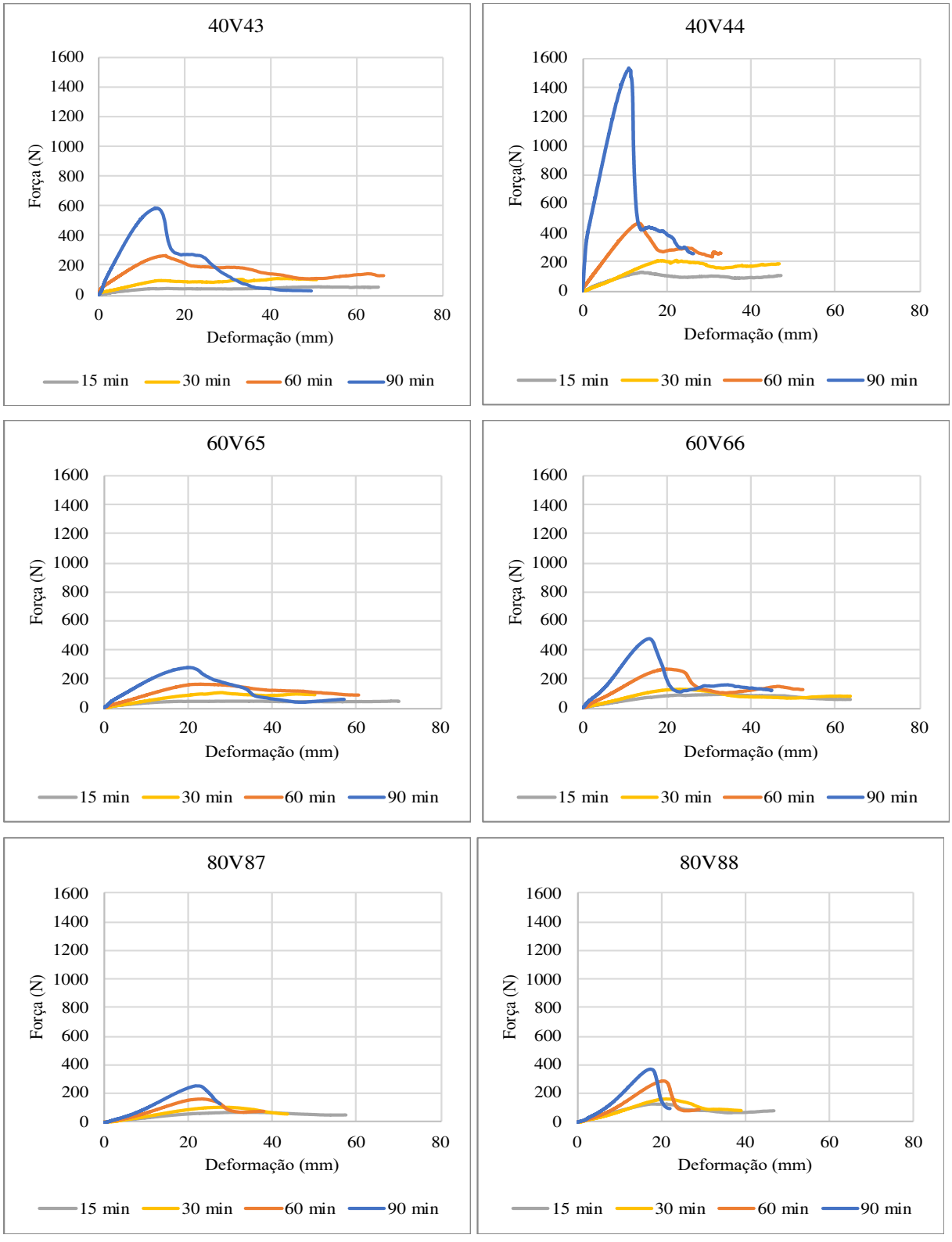
Na Tabela 2 e na Figura 3 (onde estão apresentadas as curvas do resultado da força em função da deformação) é possível avaliar que as argamassas com a menor relação água/ligante apresentam uma força máxima mais elevada. As argamassas com relação água/ligante igual a 0,4, por exemplo, foram as que apresentaram maior capacidade de carga no estado fresco.

Também é possível observar que quanto maior o consumo de agregado menor foi a força suportada para uma mesma relação água/ligante. Por exemplo a argamassa 60V6-5 suportou 47 N com 15 minutos, 108N com 30 minutos, 170 N com 60 minutos e 285 N para 90 minutos. Já a argamassa 60V6-6 suportou 90 N com 15 minutos, 135N com 30 minutos, 269 N com 60 minutos e 483 N para 90 minutos. Em média, o aumento do consumo de agregado aumentou em mais de 60% da força máxima suportada.

Os resultados apresentados por esse método são de extrema importância para entender a capacidade de suporte de carga da argamassa com a finalidade de ser utilizada no processo de impressão 3D. Sabendo-se o peso do filete de argamassa impressa é possível estimar a quantidade de filetes sobrejacentes que determinada camada irá suportar com aquela idade de hidratação. Utilizando o peso do filete é possível estimar a carga que irá incidir sobre as camadas adjacentes e com a relação força/deformação é possível estimar o nível de resistência que a argamassa possui em cada idade de hidratação. As curvas apresentadas na Figura 3 são bom parâmetro de quanto a camada irá deformar para cada nível de carga aplicada para qualquer uma das idades de hidratação. Desta forma, esse ensaio, fornecendo a carga suportada em cada nível de deformação, se torna essencial para o planejamento da impressão 3D na definição de parâmetros como a velocidade de impressão, comprimento da camada, quantidade de camadas e pausas de impressão.

Ainda, avaliando os resultados é possível identificar que para uma mesma relação água/ligante as amostras com maior consumo de agregado apresentam uma menor deformação quando atinge a sua carga máxima. Esse comportamento é mais fácil de ser identificado nos picos de 90 minutos de hidratação, por exemplo, a amostra 40V4-3 deformou 13 mm, 2 mm a mais que a amostra 40V4-4, já a amostra 60V6-5 deformou 20 mm, 4 mm a mais que a amostra 60V6-6 e, por fim, a amostra 80V8-7 deformou 22 mm, 5 mm a mais que a amostra 80V8-8. Esse comportamento ocorre devido às partículas de agregado serem as maiores responsáveis pela restrição do movimento do fluido. Assim, quanto maior a quantidade de agregado miúdo maior a restrição e, por outro lado, quanto maior a quantidade de pasta maior a mobilidade do sistema.

Figura 3 – Resultados do ensaio UUCT, apresentado por argamassa.



Fonte: Os autores (2025).

Na Figura 4 é possível visualizar as amostras de argamassas com diferentes tempos de hidratação após a deformação total de 70 mm. Com o passar do tempo de hidratação, as argamassas vão perdendo a plasticidade e começam a se comportar mais como um sólido.

Figura 4 – Amostras de argamassa ao final do ensaio de UUCT.



Fonte: Os autores (2025).

As argamassas com menor relação água/ligante são mais susceptíveis a esse comportamento, assim como as argamassas com maior quantidade de agregado. Esse comportamento ocorre devido uma menor quantidade de água disponível no sistema ou uma redução da proporção de pasta em relação a fração granular. Por exemplo, ao comparar-se os extremos, adotando na Figura 4 a argamassa 80V8-8 com 15 minutos de hidratação e a argamassa 40V4-4 com 90 minutos de hidratação é possível identificar que, a primeira apresenta um comportamento coeso e plástico ao final dos 70 mm e a segunda apresenta um comportamento de um corpo sólido, resultando inclusive na separação da amostra e apresentando a formação clássica de ruptura de materiais cimentícios, em dois cones (Figura 5). A amostra 80V8-8 com 15 minutos, apresenta o menor tempo de hidratação, a maior relação água/ligante e para essa relação água/ligante, o menor consumo de agregado. Já a amostra 40V4-4 com 90 minutos, apresenta o maior tempo de hidratação avaliado, a menor relação água/ligante e, para essa relação, o maior consumo de agregado.

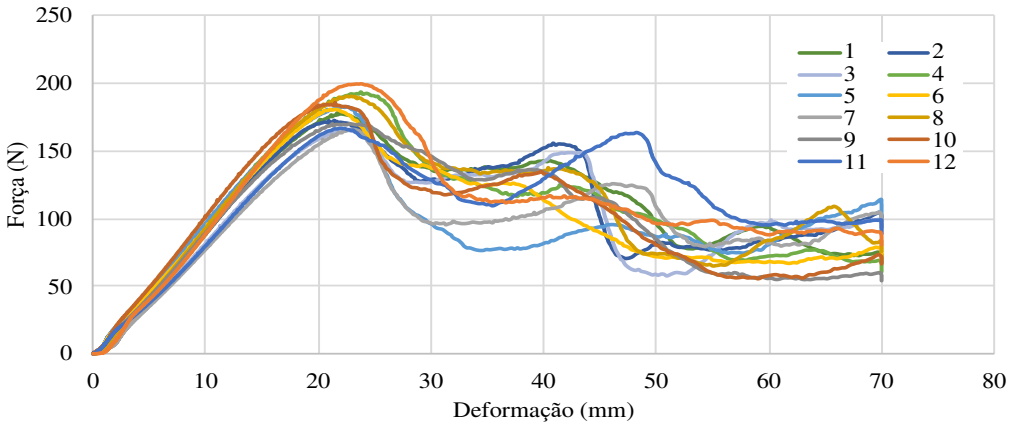
Figura 5 – Ruptura da argamassa 40V4-4 após 90 minutos, mostrando a formação dos cones.



Fonte: Os autores (2025).

Ainda referente ao ensaio de UUCT, para uma argamassa aleatória, 60V6-5 com tempo de hidratação igual a 60 minutos repetiu-se o ensaio em 12 amostras para verificar a repetitividade do método. Como pode ser observado na Figura 6, a primeira fase do gráfico, que consiste na parte linear até atingir-se a força máxima, apresentou um comportamento bastante harmônico entre todas as amostras. Após a força máxima, que representa um momento após a ruptura da amostra, é possível observar uma maior dispersão do comportamento das curvas. Avaliando os valores de força máxima para as 12 amostra da argamassa, eles apresentaram um valor médio de 179,26 N, com um coeficiente de variação de apenas 6%.

Figura 6 – Ensaio de UUCT para a amostra 60V6-5 com 12 repetições.



Fonte: Os autores (2025).

O método UUCT, por se tratar de uma compressão axial sem confinamento da argamassa no estado fresco, apresenta uma limitação quanto à plasticidade da argamassa. As argamassas mais fluidas não possibilitam a retirada das fôrmas logo após o término da mistura e moldagem. Já as argamassas mais consistentes podem dificultar a moldagem, ocorrendo a formação de vazios. No entanto, o método UUCT apresenta resultados satisfatórios para a faixa de consistência geralmente apresentada pelas argamassas utilizadas para a impressão 3D.

CONCLUSÕES

O método UUCT foi sensível e preciso para avaliar a evolução da capacidade de suporte de carga de diferentes argamassas, demonstrando ser uma ferramenta eficaz para avaliação do material destinado para a impressão 3D. O método ainda possibilitou observar que amostras como a 40V4-4 apresentam uma perda de plasticidade mais acelerada, devido uma menor quantidade de água quando comparada com as amostras com relação água/ligante de 0,6 e 0,8 e também uma maior quantidade de agregado que a amostra 40V4-3. O método UUCT também possibilitou perceber uma maior resistência e menor deformação para as argamassas com maiores consumos de agregado e as menores relações água/ligante. A avaliação da capacidade de suporte de carga da argamassa é essencial para estimar a quantidade de camadas que a argamassa irá suportar durante o processo de impressão. A repetitividade do UUCT foi comprovada pelo baixo coeficiente de variação (6%), confirmando assim a confiabilidade do método para avaliação de argamassas para manufatura aditiva.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento do projeto 404260/2021-7 e pela bolsa de produtividade.

REFERÊNCIAS

[1] Cai, J. Wang, J. Zhang, Q. Du, C. Meloni, M. Feng, J. State-of-the-art of mechanical properties of 3D printed concrete. **Case Studies in Construction Materials** Volume 21, e03847, 2024. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03847

[2] Hosseeini, E.; Zakertabrizi, M.; Korayem, A. H.; XU, G. A novel method to enchace the interlayer bonding of 3D printing concrete: An experimental and computacional invstigation. **Cemente and Concrete Composites** 99, 112-119, 2019. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.03.008

[3] Panda, B.; Tan, M. J.; Rheological behavior of high volume fly ash mixtures containing micro silica for digital construction application **Materials Letters** 237. 348–351. 2019. https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.11.131

[4] MOHAM, M. K. Rahul, A.V.; Schutter, G. D.; Tittelboom, K.V. Extrusion-based concrete 3D printing from a material perspective: A state-of-the-art review. **Cement and Concrete Composites**. 115, 17p, 2021. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103855

[5] Wolfs, R.; Bos, F. P.; Salet, T. A. M. Correlation between destructive compression tests and non-destructive ultrasonic measurements on early age 3D printed concrete. **Construction and Building Materials**. 181, Pages 447-454. 2018b. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.060

[6] ASTM, American Society For Testing and Materials - **D2166-13** Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil. West Conshohocken: ASTM International: 7 p. 2013.

[7] Bos F.P.; Kruger P.J.; Lucas S.S.; van Zijl G.P.A.G. Juxtaposing fresh material characterisation methods for buildability assessment of 3D printable cementitious mortars. **Cement and Concrete Composites**. 120. 2021. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104024

[8] Dulaj, A. Salet, T. Lucas S. S. O. A study of the effects of MWCNTs on the fresh and hardened state properties of 3D printable concrete. **Case Studies in Construction Materials** 20, e02913, 2024. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02913