

Influência da dosagem de aditivo espumante na resistência do concreto celular espumoso

Influence of foaming additive dosage on the strength of foamed cellular concrete

Influencia de la dosificación del aditivo espumante en la resistencia del hormigón celular espumoso

Resumo

O trabalho aborda a influência do aditivo incorporador de ar, na composição do concreto celular espumoso, e avalia, por meio de testes específicos, a sua influência nas propriedades de resistência mecânica à compressão, massa específica e absorção de água. A metodologia adotada inicialmente consistiu em uma pesquisa bibliográfica sobre os conceitos do concreto, sua evolução tecnológica e subclasses, como o concreto celular. Na sequência, foram realizados os testes e os ensaios no Laboratório de Materiais do curso de Engenharia Civil – no Centro Universitário Católica de Santa Catarina. Para isso, foram produzidos quatro traços diferentes do concreto celular, com variação no percentual de aditivo espumante. Para cada traço, foram moldados 15 corpos de prova, destinados aos ensaios realizados nas idades de 7, 14 e 28 dias, totalizando 60 corpos de prova. A amostra CC01, com a menor quantidade de aditivo espumante incorporado na amostra, apresentou maior resistência à compressão em todas as idades, com 8,85 Mpa aos 28 dias, maior densidade com 1511 kg/m³ e o menor percentual de absorção de água com 17,42%. Já para a amostra CC04, com a maior quantidade de aditivo espumante, apresentou a menor resistência à compressão em todas as idades, ou seja, com 0,29 MPa aos 28 dias, menor densidade com 545 kg/m³ e maior percentual de absorção de água com 72,63%. As amostras CC01 e CC02, que atingiram resistências à compressão de 8,85 MPa e 5,55 Mpa, respectivamente, estão dentro dos padrões exigidos pelas normas para aplicação na construção civil, em paredes de concreto moldadas no local. A quantidade de aditivo espumante influenciou significativamente nos resultados deste estudo, devido ao aumento do índice de vazios nas amostras.

Palavras-chave: concreto celular; resistência; aditivo.

Abstract

The work addresses the influence of the air-absorbing additive on the composition of foamed cellular concrete and evaluates, through specific tests, its impact on the properties of mechanical compressive strength, specific mass, and water absorption. The methodology initially adopted involved bibliographic research on the concepts of concrete, its technological evolution, and subclasses such as cellular concrete. Subsequently, tests and trials were conducted in the Materials Laboratory of the Civil Engineering course at the Catholic University Center of Santa Catarina. For this, four different formulations of cellular concrete were produced, varying the percentage of foaming additive, and 15 specimens were molded for each formulation for tests performed at ages of 7, 14, and 28 days, totaling 60 specimens. The CC01 sample, with the lowest amount of foaming additive incorporated, exhibited the highest compressive strength at all ages, measuring 8.85 MPa at 28 days, the highest density at 1511 kg/m³, and the lowest percentage of water absorption at 17.42%. Conversely, the CC04 sample, which contained the highest amount of foaming additive, presented the lowest compressive strength at all ages, with a measurement of 0.29 MPa at 28 days, the lowest density of 545 kg/m³, and the highest

Robison Negri

Centro Universitário -
Católica de Santa Catarina
Em Joinville
robisonnegri@gmail.com



Gislaine Arceno Martins

Centro Universitário -
Católica de Santa Catarina
Em Joinville
gislaine.martins@catolicasc.
edu.br



Joice Barcelo

Centro Universitário -
Católica de Santa Catarina
Em Joinville
joice.barcelo@catolicasc.
edu.br



percentage of water absorption at 72.63%. The CC01 and CC02 specimens, achieving compressive strengths of 8.85 MPa and 5.55 MPa, respectively, comply with the standards required for application in civil construction for concrete walls cast on site. The amount of foaming additive significantly influenced the results of this study due to the increase in the void index within the samples.

Keywords: cellular concrete; resistance; additive.

Resumen

El presente trabajo enfoca la influencia del aditivo incorporador de aire en la composición del hormigón celular espumoso y evalúa, mediante ensayos específicos, su efecto sobre las propiedades de resistencia mecánica a la compresión, densidad aparente y absorción de agua. La metodología adoptada consistió inicialmente en una revisión bibliográfica sobre los conceptos relacionados con el hormigón, su evolución tecnológica y subcategorías, como el hormigón celular. A continuación, se llevaron a cabo los ensayos en el Laboratorio de Materiales del curso de Ingeniería Civil del Centro Universitario Católica de Santa Catarina. Para ello, se elaboraron cuatro dosificaciones diferentes de hormigón celular, variando el porcentaje de aditivo espumante, y se moldearon 15 probetas para cada dosificación, totalizando 60 cuerpos de prueba. Los ensayos se realizaron a los 7, 14 y 28 días de edad. La muestra CC01, que contenía la menor cantidad de aditivo espumante, presentó la mayor resistencia a la compresión en todas las edades, alcanzando 8,85 MPa a los 28 días, la mayor densidad con 1511 kg/m³ y el menor porcentaje de absorción de agua con 17,42%. Por otro lado, la muestra CC04, con la mayor proporción de aditivo espumante, presentó la menor resistencia a la compresión (0,29 MPa a los 28 días), la menor densidad con 545 kg/m³ y el mayor porcentaje de absorción de agua con 72,63%. Las muestras CC01 y CC02, que alcanzaron resistencias a la compresión de 8,85 MPa y 5,55 MPa, respectivamente, cumplen con los estándares normativos para su aplicación en la construcción civil, específicamente en muros de hormigón colado in situ. La cantidad de aditivo espumante influyó de manera significativa en los resultados del estudio, debido al aumento del índice de vacíos en las muestras.

Palabras clave: hormigón celular; resistencia; aditivo.

1 Introdução

A história do concreto iniciou-se nas civilizações antigas, no entanto, o verdadeiro avanço tecnológico do concreto ocorreu no século XIX, com a descoberta do cimento Portland, um material produzido a partir de calcário e argila que, quando combinado com água, forma uma pasta que endurece e adquire resistência. Desde então, o concreto evoluiu significativamente, com o desenvolvimento de novos tipos de cimento, aditivos e técnicas de mistura (Kaefer, 1998).

É importante ressaltar que os tradicionais concretos, compostos por cimento Portland e agregados de densidade usual, são reconhecidos como materiais de construção de alta qualidade devido à sua durabilidade, com resistência satisfatória à compressão e rigidez, além de serem economicamente acessíveis. No entanto, é importante destacar algumas limitações encontradas nesse tipo de concreto, como o peso elevado, a falta ou inexistência de resistência à tração e a sensibilidade a agentes químicos (Cortelassi, 2005). Atendendo às demandas por aplicações específicas, o concreto passou por diversas melhorias em suas propriedades ao longo do tempo, resultantes de avanços tecnológicos e pesquisas (Silva, 2015).

Um exemplo dessa evolução tecnológica são os concretos celulares, cuja formulação envolve a combinação de cimento, agregados finos, água e aditivos que induzem a formação de bolhas de ar. Essas bolhas podem ser geradas por meio da reação química do alumínio ou zinco incorporados na mistura (concreto celular autoclavado), ou pela introdução de espumas durante o processo de mistura (concreto celular espumoso) (Melo, 2009).

O concreto celular espumoso é categorizado como um tipo de concreto leve com densidade aparente seca, variando entre 400 kg/m³ e 1.900 kg/m³. Nesta técnica, são introduzidas bolhas de ar à argamassa base, sendo estas consideradas como agregados graúdos de densidade zero. Convém ressaltar que a determinação

adequada da dosagem de aditivo é crucial para garantir não apenas a eficiência no processo construtivo, mas também a resistência mecânica adequada para suportar as cargas solicitantes (Silva *et al.*, 2018).

A resistência mecânica é um dos parâmetros mais críticos para a durabilidade e segurança das estruturas construídas com concreto celular espumoso, sendo fundamental entender como diferentes proporções de materiais afetam essa propriedade (Silva *et al.*, 2018). Em resumo, enquanto o concreto celular é valorizado por suas propriedades de isolamento térmico e leveza, o concreto tradicional é mais comum e versátil, utilizado em projetos de construção pela sua resistência e durabilidade.

Esta pesquisa justifica-se devido à crescente utilização do concreto celular na construção de edificações, principalmente em moradias populares de baixo custo, gerando economia em relação aos métodos construtivos convencionais, além de reduzir o tempo da construção (Silva, 2015).

Desta forma, este estudo contribui com o melhoramento da dosagem do concreto para sua produção, bem como para a análise dos fatores que influenciam a resistência mecânica do material. Ao compreender a relação entre dosagem e resistência mecânica do concreto celular espumoso, espera-se fornecer informações para a otimização dos processos construtivos e para o desenvolvimento de estruturas mais seguras e duráveis, contribuindo assim para avanços na indústria da construção civil.

O objetivo geral deste artigo foi investigar a influência do aditivo incorporador de ar na composição do concreto celular espumoso, e avaliar, por meio de testes específicos, a sua influência nas propriedades de resistência mecânica à compressão, massa específica e absorção de água, nos diferentes traços dosados neste estudo. Para atingir esse objetivo, foram formulados os seguintes objetivos específicos: moldar os blocos de concreto celular espumoso com diferentes dosagens em moldes cilíndricos; avaliar a resistência à compressão das diferentes dosagens de concreto; determinar a massa específica aparente para os traços estudados; determinar a absorção de água do concreto.

2 Fundamentação Teórica

O concreto é a mistura de cimento Portland e água para formar uma pasta, a qual envolve partículas de agregados de diversas dimensões, resultando em um material que pode ser moldado de várias formas quando ainda fresco. Com o tempo, essa mistura endurece, adquirindo resistência mecânica capaz de torná-lo um material de excelente desempenho estrutural, sob os mais diversos ambientes de exposição (Helene; Andrade, 2010).

Segundo a ABNT NBR 12655 (ABNT, 2015), o concreto de cimento Portland é um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo, grão e água, com ou sem a incorporação de aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos. Esse material desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento, composta por cimento e água.

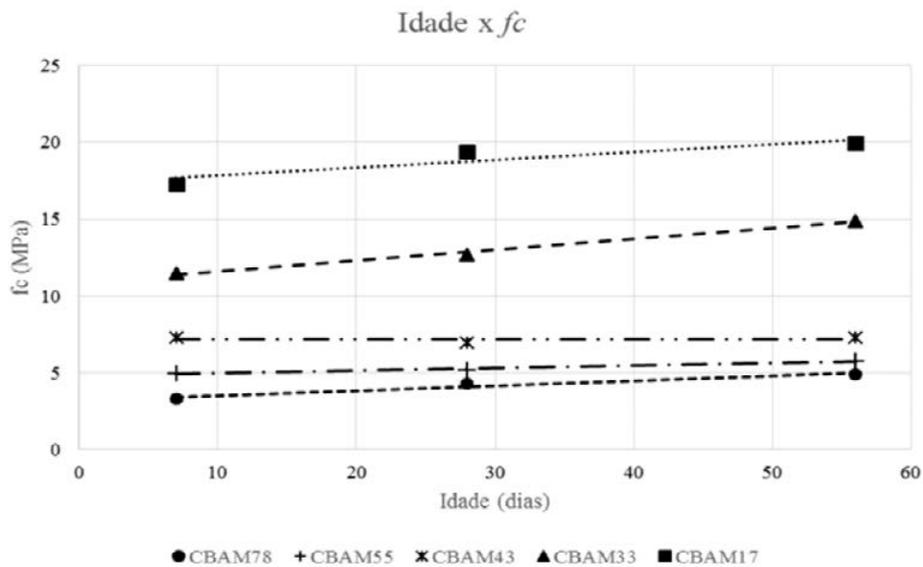
O concreto precisa atender às necessidades de resistências, trabalhabilidade e durabilidade, por isso, a tecnologia do concreto está em constante evolução. As inovações na tecnologia dos concretos resultaram no desenvolvimento e crescimento na utilização dos concretos especiais, como os concretos leves (Sousa; Vieira, 2017). A resistência à compressão do concreto leve é menor em comparação com o concreto convencional, porém este material tem como principal característica a baixa massa específica, gerando alívio nas estruturas e redução de custos (Scobar, 2016).

A ABNT NBR 12655 (ABNT, 2015) caracteriza os concretos leves pela redução da massa específica seca inferior a $2\,000\text{ kg/m}^3$, em relação aos concretos convencionais, compreendida entre $2\,000\text{ kg/m}^3$ e $2\,800\text{ kg/m}^3$. Segundo Sousa e Vieira (2017), a redução da massa específica é consequência da substituição de parte dos materiais sólidos por ar.

Existem diversos tipos de concreto no mercado, entre os quais há o concreto leve, cuja subclassificação, entre outros tipos, é o concreto celular espumoso (Varisco, 2014). O concreto celular é um concreto aerado que possui, em sua matriz sólida, células formadas por bolhas introduzidas por meio de processos químicos ou inseridas mecanicamente no processo de sua execução (Mota, 2001). Por outro lado, o concreto celular espumoso é obtido pela incorporação do aditivo espumante com a água, cuja diluição gera a espuma que é adicionada no traço do concreto convencional durante o processo de mistura dos materiais (Ayala, 2020). O uso de aditivos com o objetivo de aprimora o desempenho dos concretos não é recente, no entanto, seu uso tecnicamente controlado teve início no começo do século XX. (Negri *et al.*, 2023). Silva *et al.* (2018) analisaram

a influência de diferentes dosagens de aditivo espumoso nas propriedades de densidade e resistência do concreto celular aerado em três idades: 7, 28 e 56 dias (Figura 01 e Figura 02).

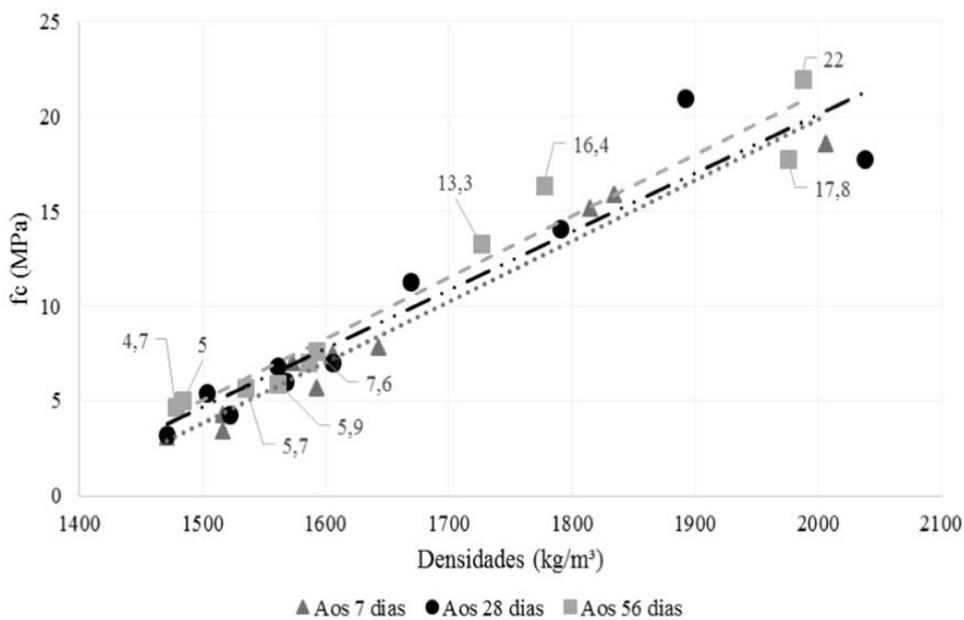
Figura 01. Evolução da resistência à compressão média dos concretos com bolhas de ar por ação mecânica (CBAMs) nas diferentes idades.



Fonte: Silva et al. (2018).

Na Figura 01 (Silva et al., 2018), demonstra-se que a dosagem do aditivo influenciou na resistência à compressão, para maiores dosagens de aditivo CBAM78, CBAM55 e CBAM43 resultou em menores resistências devido ao aumento do índice de vazios. No entanto, as diferenças de resistências não foram significantes, demonstrando que o aumento da dosagem de aditivo exerce influência até um determinado nível de índice de vazios. Já com menores dosagens do aditivo CBAM17 e CBAM33 resultou em ganhos consideráveis de resistência, uma vez que o teor de ar incorporado diminui significativamente. As denominações de cada CBAM estão em função da porcentagem de dosagem do aditivo em relação à massa do cimento, como, por exemplo, CBAM78 é o concreto com 0,078% de aditivo em relação à massa do cimento.

Figura 02. Relação entre densidade e resistência à compressão dos CBAM para cada idade de ensaio.



Fonte: Silva et al. (2018).

Na Figura 02 (Silva *et al.*, 2018), observa-se que a relação entre resistência e densidade independe da idade de ensaio. Em todas as idades do concreto, o comportamento da relação entre densidade e resistência é direta, ou seja, o aumento da densidade tende a resultar em maior resistência.

Os resultados do estudo realizado por Silva *et al.* (2018) demonstraram que, de acordo com a ABNT/CEE 185, o CBAM78 não atende às especificações para concreto celular espumoso (CCE) com fins estruturais para paredes de edificações, pois o valor de resistência à compressão, obtido aos 28 dias, foi menor que 5 MPa. Os CBAM 55 e CBAM43, com resistência à compressão aos 28 dias de 5,2 e 7,0 MPa, podem ser aplicados com fins estruturais em paredes de edificações de até dois pavimentos. E os CBAM33 e CBAM17, com resistência à compressão de 12,7 MPa e 19,4 MPa, aos 28 dias, podem ser aplicados para fins estruturais em paredes de edifícios, moldadas *in loco*, para edificações com mais de cinco pavimentos.

Lima Neto, Paiva e Pinheiro (2022) analisaram a absorção de água em concretos celulares produzidos com aditivos espumante comercial e outro alternativo, os quais foram fabricados com surfactantes aplicados como um aditivo espumante. A Figura 03 demonstra os resultados obtidos onde o concreto celular com o aditivo comercial (CEC) obteve maiores valores de absorção de água, índice de vazios e massa específica do que o concreto celular com o aditivo alternativo (CEA), sendo que para ambas as amostras o percentual de aditivo aplicado foi idêntico.

Figura 03. Absorção, Índice de Vazios e Massa Específica do CEC e CEA no estado endurecido

CONCRETOS	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)	Massa Específica (kg/m ³)
CEC	33,63	38,37	1872,16
CEA	22,39	27,94	1732,01

Fonte: Lima Neto, Paiva e Pinheiro (2022).

Os ensaios de absorção de água por imersão total servem para prever quão duráveis serão os concretos, ao serem expostos às diversas intempéries e ao contato direto com águas que possuam agentes agressivos, que tendem a ter sua estrutura físico-química alterada (Lima Neto, Paiva e Pinheiro, 2022).

3 Materiais e Métodos

Este trabalho avaliou a influência do aditivo espumante nas propriedades do concreto celular, como densidade, absorção de água e resistência mecânica à compressão. Todos os testes e ensaios foram realizados no Centro Universitário Católica de Santa Catarina em Joinville, no Laboratório de Materiais do curso de Engenharia Civil, pelas próprias acadêmicas com supervisão de laboratorista e professor orientador.

Os materiais utilizados para a elaboração do concreto celular foram: cimento Portland CP IV 32 RS, agregado miúdo (areia fina), aditivo químico espumante para concreto celular e água de amassamento.

3.1 Caracterização dos materiais

3.1.1 Cimento

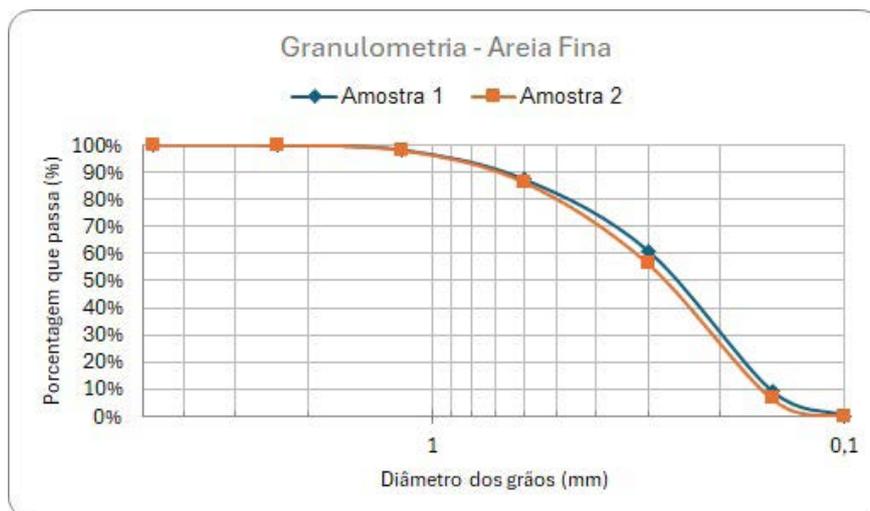
Os parâmetros da caracterização do cimento Portland CP IV 32 RS foram obtidos pelo boletim de ensaios do cimento do lote 008 – fabricação março 2024 realizado pelo fabricante. Observou-se, no boletim, que a finura, representada pelo resíduo retido na peneira de 75µm, ficou entre 0,30% e 0,70%. A resistência à compressão do lote ficou entre 27,20 MPa e 29,30 MPa com idade de 7 dias. De acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018), o cimento encontra-se dentro dos requisitos físicos e mecânicos necessários para seu tipo e classe.

3.1.2 Areia

Para o agregado miúdo, foram realizados os ensaios de determinação da composição granulométrica, conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003) e a determinação da massa específica aparente do agregado miúdo, utilizando o picnômetro, baseado na NBR 16916 (ABNT, 2021b).

A Figura 04 apresenta a curva granulométrica da areia com as porcentagens retidas nas peneiras da série normal, conforme a NM-ISO 3310-1 (ABNT, 2011), com aberturas de malha mostradas no eixo x do gráfico a seguir:

Figura 04. Curva de Granulometria



O módulo de finura foi calculado a partir dos dados da análise granulométrica, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Dessa forma, a areia utilizada foi classificada como areia fina, com módulos de finura entre 2,15 e 2,30.

A fim de diferenciar agregados miúdos de peso leve, médio e pesado, o material utilizado foi submetido ao teste de determinação da massa específica do agregado miúdo (por meio do picnômetro). Com base na norma ABNT NBR 16916 (ABNT, 2021b), foi determinada a massa específica do agregado seco (γ) por meio da fórmula [1]:

$$\gamma = \frac{M_1}{M_1 + M_2 - M_3} \quad [1]$$

Assim, obteve-se o resultado mostrado na Tabela 01:

Tabela 01. Massa específica da areia

	Amostra 1	Amostra 2
M1 = massa total da amostra seca (g)	200,0	200,0
M2 = massa do picnômetro + água (g)	665,5	665,5
M3 = massa do picnômetro + água + amostra do agregado (g)	789,7	789,4
γ = massa específica aparente do agregado seco (g/cm ³)	2,639	2,628

De acordo com a NBR 16916 (ABNT, 2021b), o agregado em questão é classificado como agregado de peso médio, pois sua massa específica aparente seca ficou entre 2 g/cm³ e 3g/cm³.

3.1.3 Água

Foi utilizada água proveniente da concessionária local, Águas de Joinville, tanto para a produção do concreto base quanto para a diluição dos aditivos utilizados para fabricar a espuma incorporada ao concreto celular.

3.1.4 Aditivo

O aditivo químico espumante utilizado foi o CQ Celmix, desenvolvido para concretos celulares, argamassas e concretos leves, uma vez que permite a obtenção de concretos com densidade variada, dependendo da aplicação. Ele atende aos requisitos das normas brasileiras NBR 11768-1, classificado como IA-L (Incorporador de ar para concreto leve). Dentre as principais propriedades que este aditivo possui, estão a produção de espuma durável e de alta densidade, conforme dados informados pelo fabricante.

3.2 Traço adotado

O traço inicialmente adotado para a produção do concreto celular foi indicado pelo fabricante do aditivo espumante e, a partir desse traço, foram produzidos outros três traços de concreto celular, variando-se o percentual de aditivo espumante, conforme consta na Tabela 02.

Tabela 02. Composição dos traços de concretos adotados

CONCRETOS (kg/m ³)	AREIA (kg/m ³)	CIMENTO (kg/m ³)	ÁGUA (kg/m ³)	ADITIVO (kg/m ³)	ADITIVO (%)
CC01	512	415	267	2,69	0,65
CC02	512	415	267	4,05	0,98
CC03	512	415	267	5,38	1,30
CC04	512	415	267	6,08	1,47

Foram produzidos 20 litros de concreto celular de cada traço para a moldagem das amostras. Cada traço exigiu 15 corpos de prova, destinados aos ensaiados nas idades de 7, 14 e 28 dias, totalizando, portanto, 60 corpos de prova.

3.3 Moldagem e cura

Para a produção do concreto celular, foi utilizado um misturador mecânico, conforme Figura 05.

Figura 05. Misturador mecânico



A sequência de produção e tempos de mistura do concreto celular seguiram o procedimento adotado por Silva *et al.* (2018). Primeiramente, misturou-se o agregado miúdo com o cimento por 60 segundos. Em seguida, adicionou-se a água e misturou-se por mais 60 segundos. Posteriormente, foi realizada a limpeza das paredes do recipiente por 30 segundos e misturou-se novamente por 60 segundos. A produção da espuma com o aditivo foi realizada em outro recipiente durante 3,5 minutos. Por fim, misturou-se a argamassa com o aditivo por mais 5 minutos com velocidade alta.

A fim de definir as características de cada traço de concreto celular, foram moldados 15 corpos de prova cilíndricos de 50mm x100mm, totalizando 60 amostragens, conforme as diretrizes estabelecidas na NBR 7215 (ABNT, 2025).

No que concerne aos concretos especiais, a NBR 5739 (ABNT, 2018) estabelece que a moldagem e o procedimento de adensamento podem ser modificados. Neste trabalho, adotou-se uma modificação do procedimento de compactação do concreto celular. Foram aplicados cinco leves golpes nas laterais da forma, em cada camada, até que o concreto se acomodasse, com o objetivo de evitar o rompimento das bolhas de ar (Silva *et al.*, 2018).

A cura dos corpos de prova, preparados com concreto celular após o desmolde, nos primeiros 7 dias, foram com as amostras imersas em água e, depois de retiradas da água, foram conservadas ao ar até o momento do ensaio, conforme diretrizes estabelecidas na NBR 5739 (ABNT, 2018) para concretos leves.

3.4 Ensaio de compressão

O ensaio de compressão dos corpos de prova cilíndricos foi executado conforme NBR 5739 (ABNT, 2018), com faces retificadas, apresentado na Figura 06, conforme procedimento utilizado em Negri, Steil e Negri (2024).

Figura 06. Ensaio de resistência à compressão



Os corpos de prova foram rompidos com a idade de 7, 14 e 28 dias, e foram ensaiados 5 corpos de prova em cada idade. No dia anterior ao rompimento, estes corpos de prova foram secados em estufa.

3.5 Massa específica aparente do concreto celular

A densidade dos traços ensaiados foi calculada nos corpos de prova com idades entre 20 e 28 dias, por meio da fórmula [2]:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad [2]$$

Onde: ρ = massa específica aparente (kg/m^3), m = massa seca do CP (kg) e v = volume total do CP (m^3)

O volume total foi obtido através das dimensões dos corpos de prova, obtidas pela medição direta com um paquímetro. Já as massas dos corpos de prova foram medidas na balança do laboratório de materiais com capacidade para até 6 quilogramas. Para o cálculo da massa específica aparente, foi considerada a média de três corpos de prova para cada traço.

3.6 Absorção de água do concreto celular

O ensaio de absorção de água foi realizado através da amostra seca e após a imersão em água por tempo preestabelecido, conforme ABNT NBR 9778 (ABNT, 2009). Ver Figura 07.

A absorção foi medida através da média dos três corpos de prova, antes do ensaio de compressão com idades entre 20 e 28 dias.

As amostras secas tiveram as massas medidas em balança no laboratório e permaneceram imersas na água por um período de 72h.

Figura 07. Ensaio de absorção de água do concreto celular.



4 Resultados e Discussão

A apresentação e análise dos resultados obtidos neste estudo estão dispostas nos itens a seguir.

4.1 Ensaio de Compressão

A Figura 08 e a Tabela 03 apresentam os resultados do ensaio de compressão das amostras com as idades de 7, 14 e 28 dias.

Figura 08. Resistência à Compressão

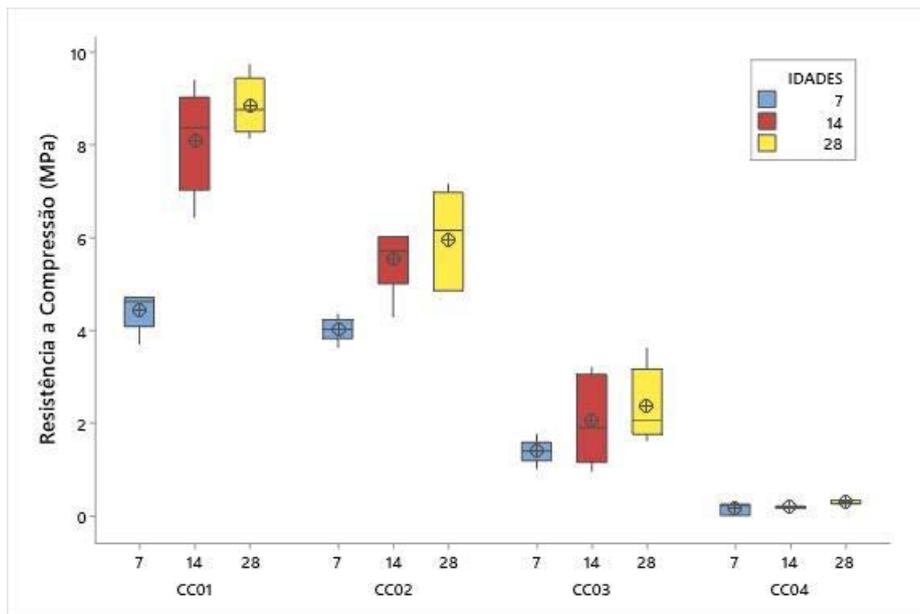


Tabela 03. Resultados dos Ensaios de Compressão

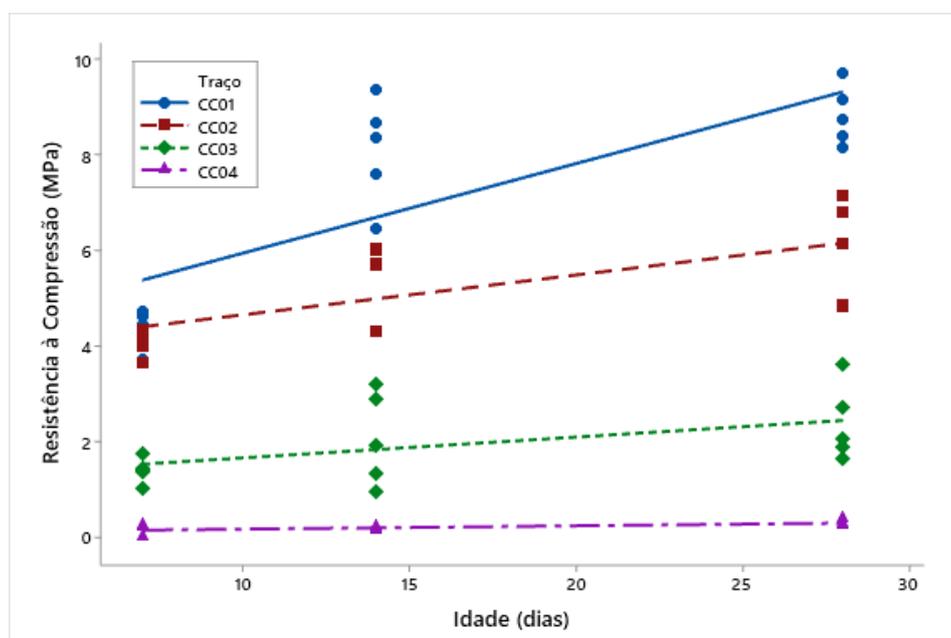
	Resistência a compressão (Mpa)											
	CC01			CC02			CC03			CC04		
	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
AM01	4,45	6,45	9,73	4,02	5,71	7,15	1,35	3,20	3,61	0,00	0,23	0,39
AM02	4,74	9,39	8,76	3,64	6,00	6,80	1,42	1,34	2,05	0,00	0,16	0,26
AM03	4,62	7,61	9,16	4,34	4,30	4,84	1,01	1,90	1,88	0,26	0,17	0,27
AM04	4,68	8,67	8,42	4,00	5,72	6,16	1,74	2,89	2,70	0,23	0,15	0,25
AM05	3,71	8,37	8,16	4,12	6,04	4,87	1,39	0,96	1,62	0,22	0,17	0,26
Média	4,44	8,10	8,85	4,02	5,55	5,96	1,38	2,06	2,37	0,14	0,18	0,29
Desvio Padrão	0,42	1,12	0,62	0,25	0,72	1,07	0,26	0,97	0,80	0,13	0,06	0,03

Conforme a Tabela 03, a amostra CC01 obteve a maior resistência à compressão com 8,85 MPa aos 28 dias, 8,10 MPa em 14 dias e 4,44 MPa em 7 dias. Nesta amostra, foi incorporado 0,65% de aditivo espumante. Na amostra CC04, na qual foi incorporado 1,47% de aditivo espumante, obtiveram-se as menores resistências à compressão com 0,14 MPa nos 7 dias, 0,18 MPa nos 14 dias e 0,29 MPa nos 28 dias. Já a amostra CC02, com 0,98% de aditivo espumante, ficou com 4,02 MPa com 7 dias, 5,55 MPa com 14 dias e 5,96 MPa com 28 dias de resistência à compressão. E a amostra CC03, que respectivamente tinha a porcentagem de aditivo espumante maior que a amostra CC02 com 1,30%, ficou com 1,38 MPa com 7 dias, 2,06 MPa com 14 dias e 2,37 MPa com 28 dias de resistência à compressão.

Silva *et al.* (2023) apresentaram, em estudo similar, que os concretos com as maiores dosagens do aditivo incorporador de bolhas de ar apresentam as menores resistências à compressão, pois o índice de vazios é maior. Porém, observou também que, ao elevar as dosagens de aditivos, as diferenças de resistências não são significantes.

A amostra CC01, com resistência à compressão aos 28 dias de 8,85 MPa, e a amostra CC02, com 5,96 MPa, podem ser aplicadas em paredes de concreto celular espumoso moldadas no local. Já a amostra CC03, que atingiu a resistência de 2,37 Mpa, e a CC04, com 0,29 MPa aos 28 dias, não podem ser aplicadas, pois a resistência mínima exigida tem que atingir 2,5 MPa, conforme NBR 12646 (ABNT, 1992).

Figura 09. Relação entre Resistência à compressão e idade de ensaio



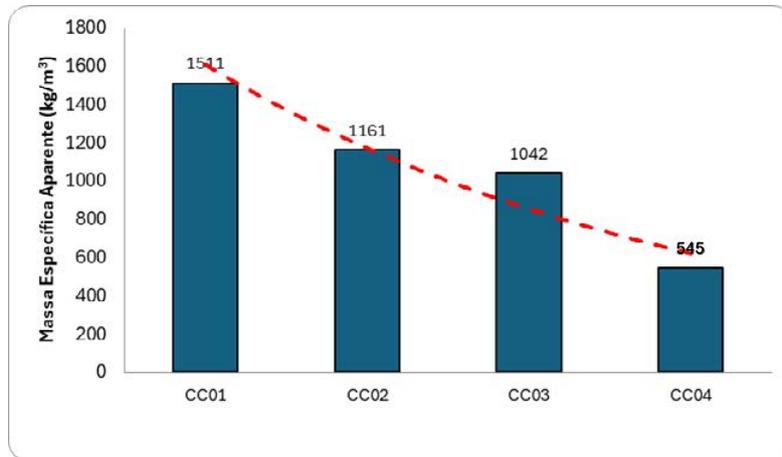
Na Figura 09, observa-se a relação entre resistência à compressão e a idade das amostras ensaiadas. Verifica-se que o ganho de resistência ao longo das idades foi maior CC01. Enquanto as amostras CC02 e CC03 apresentaram comportamentos similares, na amostra CC04 o aumento da resistência não teve significância com o aumento da idade.

Corroborando com os resultados apresentados neste estudo, Silva *et al.* (2023) constataram que, em menores dosagens de aditivo, o ganho de resistências ao longo das idades é maior do que em amostras com maiores dosagens. Ou seja, a variação do ganho de resistência entre as idades é inversamente proporcional à quantidade de aditivo aplicada. Em amostras com os maiores teores de aditivo, o aumento de resistência foi insignificante, o que caracteriza que, num determinado nível de índice de vazios, o aumento da dosagem de aditivo não exerce influência.

4.2 Massa Específica Aparente

A Figura 10 apresenta os resultados da massa específica aparente no estado endurecido.

Figura 10. Massa Específica Aparente

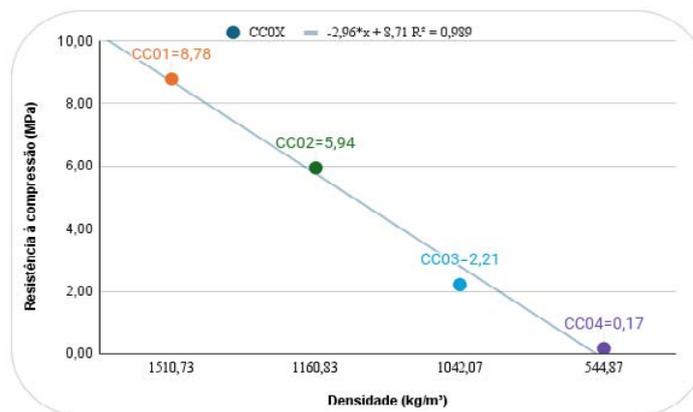


A amostra CC01 apresentou a maior massa específica aparente, ou seja, 1.511 kg/m³. Nesta amostra, foi incorporada a menor quantidade de aditivo deste estudo e registrada a maior resistência à compressão. Para a amostra CC02, a densidade ficou em 1.161 kg/m³. Nesta amostra, tanto a quantidade de aditivo aplicada na mistura quanto a resistência aplicada na compressão foram inferiores à amostra de CC01.

A amostra CC04 apresentou o menor registro de densidade, de 545 kg/m³, sendo também a que recebeu a maior quantidade de aditivo incorporado à mistura. Dessa forma, obteve a menor resistência à compressão do estudo. Já a amostra CC03 apresentou densidade de 1.042 kg/m³, com menor quantidade de aditivo incorporado e resistência à compressão superior à da amostra CC04.

Na Figura 10, a equação linear obtida $y = 2205,1e^{-0,317x}$ ($R^2 = 0,907$) mostra que os resultados são confiáveis, pois a correlação das equações ficou muito próximo de 1.

Figura 11. Resistência à compressão x Densidade



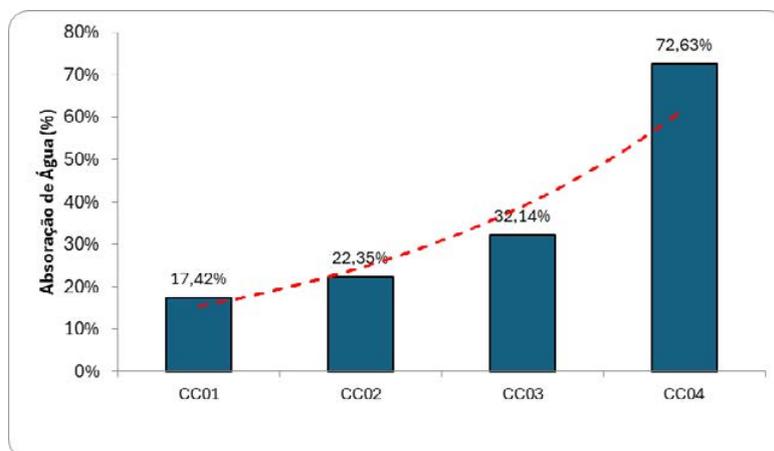
Na Figura 11, a equação linear obtida $y = -2,96*x + 8,71$ ($R^2 = 0,989$) está demonstrando também que os resultados são confiáveis, pois a correlação das equações ficou muito próximo de 1.

Silva *et al.* (2018), ao confeccionarem nove composições com diferentes dosagens de aditivo, encontraram densidades variando aproximadamente de 1.350 kg/m³ a 1.410 kg/m³, e com resistências à compressão entre 19,40Mpa a 4,30Mpa aos 28dias. Constatou-se que a relação entre resistência e densidade independe em qualquer idade, e o comportamento da relação entre densidade e resistência é direta, ou seja, quando aumenta a densidade há o aumento da resistência.

4.3 Absorção de água

A Figura 12 demonstra os resultados obtidos no ensaio de absorção de água após 72h das amostras imersas em água.

Figura 12. Percentual de Absorção de Água



A amostra CC04, que tem a maior quantidade de aditivo incorporado na sua mistura e a menor resistência à compressão, teve o maior percentual de absorção de água, com 72,63%, seguida pela amostra CC03, com 32,14%, cuja quantidade de aditivo é inferior à amostra CC04.

Já a amostra CC01 teve o menor percentual de absorção de água, com 17,42%. Ela teve também a menor quantidade de aditivo e a maior resistência à compressão. A amostra CC02, que ficou com 22,35%, tem quantidade de aditivo superior à amostra CC01.

Lima Neto, Paiva e Pinheiro (2022), utilizando o mesmo aditivo espumante para concreto celular deste estudo, constataram uma porcentagem de absorção de água de 33,63%, confirmando que, ao utilizar o aditivo de concreto celular, este demonstrou maiores valores de absorção de água, índice de vazios e massa específica.

5 Conclusão

Este trabalho analisou a influência do aditivo incorporador de ar na composição do concreto celular espumoso, por meio de ensaios realizados no laboratório de materiais do Centro Universitário Católica de Santa Catarina. Por meio dos experimentos, constatou-se que o aumento da dosagem do aditivo incorporador de ar apresentou variações significativas nas propriedades do concreto.

A amostra CC01, que apresentou os maiores valores de resistência à compressão e massa específica aparente, foi justamente a que teve a menor quantidade de aditivo incorporador de ar na mistura. Consequentemente, também apresentou uma menor absorção de água, em razão da menor quantidade de vazios na amostra.

Como se pode constatar, esse resultado foi inversamente proporcional ao observado na amostra CC04, que, por ter recebido a maior quantidade de aditivo incorporador de ar na mistura, apresentou as menores resistências à compressão e densidade, além de maior absorção de água, em decorrência do aumento da quantidade de vazios na amostra.

E, por fim, as amostras CC01 e CC02, que atingiram resistências à compressão de 8,85 MPa e 5,96 Mpa, respectivamente, estão dentro dos padrões exigidos por norma para serem utilizados na construção civil em paredes de concreto moldadas no local.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248**: agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 16973**: agregados – determinação do material fino que passa pela peneira de 75 um por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2021a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 16916**: agregado miúdo – determinação da densidade e absorção de água. Rio de Janeiro, 2021b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 7215**: cimento portland – determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 5738**: concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 5739**: concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 9778**: argamassa e concreto endurecido – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 12655**: concreto de cimento portland – preparo, controle, recebimento e aceitação – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 17071**: paredes de concreto celular espumoso moldadas no local - especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 12646**: paredes de concreto celular espumoso moldadas no local – compress. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO NM 3310-1**: peneiras de ensaio - requisitos técnicos e verificação - parte 1: peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- AYALA, F. D. R. **Diseño y elaboración de concreto ligero utilizando aditivo espumante aplicado a unidades de albañilería de tipo no estructural**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Nacional de Engenharia, Lima, 2020. Disponível em: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_27a_e98ff3a986e99e0ecbedb7b4e9cdb/Details. Acesso em: 06 mar. 2024.
- CAMARGO QUÍMICA. **Manual do fabricante CQ CELMIX – incorporador de ar para argamassa e concreto**. Blumenau: CQ Celmix, 2024. Disponível em: <https://camargoquimica.com.br/wp-content/uploads/2024/04/CQ-CELMIX.pdf>. Acesso em: 23 mar 2024.
- CORTELASSI, E. M. **Avaliação do comportamento de concretos celulares espumosos de alto desempenho**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/402688723/Avaliacao-Do-Comportamento-de-CCE-de-AD-Cortelassi-2005>. Acesso em: 23 mar 2024.
- HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de cimento portland. *In*: ISAIA, G. C. (ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 905-944.
- KAEFER, L. F. **A evolução do concreto armado**. São Paulo: 1998.
- LIMA NETO, A. P. de; PAIVA, O. A.; PINHEIRO, S. C. Concretos celulares produzidos aditivos espumantes comercial e alternativo: uma análise no estado fresco e endurecido. **Revista FT**, [s. l.], v. 26, n. 114, set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7046816>
- MELO, G. F. **Concreto celular polimérico: influência da adição de resíduo poliéster insaturado termofixo**. 2009. Tese (Doutorado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos; Processamento de Materiais a part.) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/items/d3496971-52f3-406e-bbb1-911883514449>. Acesso em: 23 mar 2024.

MOTA, J. A. R. **Influência da junta vertical na resistência a compressão de prismas em alvenaria estrutural de blocos de concreto celular autoclavados**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/PASA-8ALJGZ>. Acesso em: 06 mar. 2024.

NEGRI, R.; BOSCO, A. F.; FERREIRA, D. G.; RAISER, L. S. Análise da trabalhabilidade e resistência do concreto com adição de superplastificante. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 44, p. 1–16, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5020/23180730.2023.14181>

NEGRI, R.; STEIL, T. L.; NEGRI, D. Ensaios não destrutivos de ultrassom e esclerometria para estimar a resistência à compressão do concreto. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 2, p. 1-20, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2024-0056>

SCOBAR, R. L. **Concreto leve estrutural**: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/6314>. Acesso em: 06 mar. 2024.

SILVA, C. A. O. **Estudo de dosagem e avaliação de concreto leve com fins estruturais**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2015. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/1335>. Acesso em: 23 mar 2024.

SILVA, C. A de O.; GOMES, P. C. C.; CARNAÚBA, T. M. G. V.; FALCÃO, V. B.; BINAS JÚNIOR, F. de A. V. Influência do aditivo espumogeneo na dosagem e nas propriedades do concreto celular aerado. **Revista Matéria**, [s. l.], v. 23, n. 1, e11989, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620170001.0325>

SILVA, E. A. B.; FERRO, A. P. A.; BINAS JÚNIOR, F. A. V.; GOUVEIA, L. P. ; BARBOZA, A. S. R. Estudo de caso da estimativa da resistência à compressão confinada de rochas com base em dados geofísicos e parâmetros operacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSTRUÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO E GÁS, 9., 2023, Paraná. **Anais** [...]. Paraná: ENAHPE, 2023.

SOUSA, C. V. M; VIEIRA, T. dos S. Concreto celular e seu uso na construção civil. In: COLÓQUIO ESTADUAL DE PESQUISA MULTIDISCIPLINAR, 2., 2017. **Anais** [...]. Goiás: UNIFIMES, 2017. Disponível em: <https://publicacoes.unifimes.edu.br/index.php/coloquio/article/view/195>. Acesso em: 06 mar. 2024.

VARISCO, M. Q. **Análise do desempenho de blocos de concreto celular autoclavado em um sistema de vedação externa**. 2014. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: https://mestrado.lactec.com.br/wp-content/uploads/2021/09/110_PT.pdf. Acesso em: 06 mar. 2024.

Sobre os autores

Robison Negri

Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná; Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade do Estado de Santa Catarina; Especialista em Saneamento Básico e Ambiental; Graduado em Engenheiro Civil pela Universidade do Estado de Santa Catarina; Experiência profissional nas áreas de Construção Civil e Infraestrutura, atuando principalmente nas seguintes especialidades: Construção Civil, Estradas, Saneamento Básico, Recursos Hídricos e Meio Ambiente.

Gislaine Arceno Martins

Engenheira Civil com formação pela Católica de Santa Catarina e experiência consolidada em planejamento e gestão de obras. Com atuação em obras verticais, portuária e industriais.

Joice Barcelo

Graduada em Engenharia Civil pela Faculdade Católica de Santa Catarina. Atua com projetos executivos de arquitetura de interiores e acompanhamento de obras. Possui experiência também em regularização fundiária e liderança voluntária, com interesse em inovação e desenvolvimento técnico na construção civil.

Como citar:

NEGRI, Robison; MARTINS, Gislaine Arceno; BARCELO, Joice. A influência da dosagem de aditivo espumante na resistência do concreto celular espumoso. **Rev. Technol.**, Fortaleza, v. 45, p. 1-15, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5020/23180730.2024.15411>

Aceito em: 20/12/2024

Avaliado em: 13/11/2024