



ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO LEVE COM DIFERENTES ADITIVOS EXPOSTOS A ALTAS TEMPERATURAS

CAROLINE PETERNELA¹; MARIA VÂNIA NOGUEIRA DO NASCIMENTO PERES²

¹Discente, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel-PR, carolinepeternela@gmail.com;

²Mestre em Estruturas, Prof. Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel-PR, vaniaperes@gmail.com.

RESUMO: Com o passar dos anos, diversas falhas vêm sendo constatadas em relação ao concreto convencional, levando em conta que a maior parte das ações na edificação é decorrente do peso próprio do concreto. Ao tentar solucionar estes problemas, vêm sendo desenvolvidos diversos novos tipos de concreto. Dentre eles, destacam-se os concretos leves, que são confeccionados com agregados leves, os quais apresentam densidades menores que 1120 kg/m³; o concreto confeccionado com os mesmos deve ter densidade inferior a 2000 kg/m³ para ser leve. Para o melhor desempenho desses concretos, é necessário que se utilize aditivos que auxiliem na coesão dos materiais, evitando assim sua segregação. Com todos estes novos estudos e com o desenvolvimento de novos concretos, faz-se necessário o entendimento de como as estruturas confeccionadas com esse concreto irão se comportar ao serem expostas a altas temperaturas, no caso de um incêndio. Para melhor entendimento do questionamento, o presente trabalho teve como objetivo realizar ensaios de resistência à compressão em concreto leve com adição de EPS e aditivos, antes e após a exposição de temperatura, bem como analisar a perda de massa, além de verificar, das porcentagens utilizadas, qual teve melhor desempenho ao ser exposta ao calor. Os resultados obtidos mostraram que o concreto sofreu variação de 300-360g de perda de massa e que a resistência do concreto leve é diretamente ligada com a porcentagem de substituição e aditivo utilizado, os quais mostraram perda de resistência entre 81% e 91%, pois ao combiná-los de formas diferentes, o concreto também se comportou de forma distinta.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto leve, EPS, resistência, temperatura.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, vêm sendo constatadas diversas deficiências em relação ao concreto normal, feito com cimento Portland e agregado natural, ocasionando diversas tentativas de desenvolver concretos com diferentes adições e substituições para suprir as falhas encontradas (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Segundo Catoia (2012), nas obras de concreto convencional, as ações referentes ao peso próprio do concreto são grande parte do esforço total. Logo, torna-se de grande interesse o estudo desses novos concretos leves que estão sendo largamente utilizados de várias formas nos setores da construção civil.

O peso próprio, em estruturas de concreto, tem alta representatividade no que se refere à carga total da estrutura. Com isso, torna-se extremamente vantajoso reduzir a densidade do concreto, pois, ao reduzir o seu peso próprio, tem-se a diminuição da carga de diversos elementos ao longo da estrutura (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Estruturas de concreto apresentam boa resistência quando expostas a situações de altas temperaturas, se comparadas com outros tipos de estrutura. Todavia, a exposição do material a este fenômeno acarreta em perda de resistência, degradação precoce da estrutura e perda de estabilidade, o que pode levar a estrutura ao colapso (COSTA, 2002).

Apesar do potencial calorífico do poliestireno expandido ser de 40MJ/kg, somente 1,5% a 2,5% do seu material é combustível, ou seja, ainda que seu potencial calorífico seja considerável, possui menos materiais para contribuir com o incêndio, se comparado com outros materiais. Além disso, o material não sofre expansão ao ser submetido a altas temperaturas (ISOFÉRES, 2012).

Com base nessas informações, a razão deste trabalho acadêmico é cooperar com pesquisas referentes ao comportamento mecânico do concreto leve confeccionado com EPS (poliestireno expandido) em situações de altas temperaturas, visto que, com o surgimento de novos métodos de confecção de concretos leves, há necessidade de estudo e entendimento de seu comportamento para futuras melhorias e melhor aplicação destes.

Sendo assim, o presente trabalho pretende realizar as análises de resistência à compressão antes e após o ensaio de temperatura, determinar as perdas de massa dos concretos leves e também identificar a combinação de porcentagem de EPS e aditivo que melhor resistiu à exposição de altas temperaturas.

2 CONCRETO LEVE

Segundo Mehta e Monteiro (1994), o concreto estrutural leve tem esse nome pelo fato de ser confeccionado com agregados leves, fazendo com que seu peso específico seja de aproximadamente dois terços do peso do concreto convencional e, conseqüentemente, apresentando menor resistência. Todavia, o objetivo é o baixo peso da estrutura, e não a resistência. Para ser considerado concreto leve estrutural, faz-se necessário que aos 28 dias ele tenha atingido resistência à compressão acima de 17 MPa.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) define, no item 8.2.2 densidade, que concretos com massa específica normal ficam entre 2.000 kg/m³ e 2.800 kg/m³, ou seja, valores abaixo destes podem ser classificados como concretos leves.

De acordo com Neville e Brooks (2013), a resistência do concreto leve está diretamente relacionada ao agregado utilizado, consumo de cimento, relação água/cimento e grau de adensamento dele. As resistências mais elevadas conseguem ser atingidas principalmente aumentando e ajustando o consumo de cimento, tendo em vista que, para uso estrutural, o concreto leve deve ter 17 MPa ou mais, variando de acordo com sua aplicação.

O concreto leve apresenta bom desempenho quanto ao isolamento térmico e à durabilidade. No entanto, apresenta custo elevado, se comparado ao concreto convencional, e exige maior cuidado em relação à sua confecção e execução. Apesar das desvantagens, o concreto leve pode acarretar inúmeras vantagens e economias, devido à diminuição de peso próprio dos elementos estruturais. Com isso, o concreto leve tem sido utilizado cada vez mais e também com função estrutural (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Um dos materiais largamente utilizados na construção civil para a produção do concreto leve é o poliestireno expandido (EPS), principalmente no formato de pérolas, que é um ótimo material isolante, leve, resistente e fácil de manusear. Essas pérolas servem como elementos de enchimento e, agrupadas com cimento e areia, resultam em um concreto com boa resistência após a cura (CASTRO, RODRIGUES e STOCCO, 2009).

Catoia (2012) complementa que o concreto leve com EPS tem como base os mesmos materiais utilizados no concreto convencional, exceto pelo EPS que pode substituir o agregado graúdo ou miúdo. Os materiais utilizados podem ser qualquer tipo de cimento, água, areia, aditivos, brita e o EPS, que pode ser em flocos ou pérolas, substituindo todo ou parte de um dos agregados.

2.1 EPS como agregado leve

Agregados leves são agregados com massa unitária menor que 1120 kg/m^3 , podem ser aplicados na produção de vários tipos de concreto leve. Essa diminuição de massa deve-se à estrutura do agregado. Os agregados leves sintéticos podem ser fabricados a partir de tratamento térmico ou expansão de materiais (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

O poliestireno expandido é um agregado leve sintético termoplástico com comportamento mecânico plástico e dúctil. Quando exposto a temperaturas, amolecem e fundem. É importante que se entenda essas características para melhor utilizar e proteger o agregado leve (ASKELAND e PHULÉ, 2008).

O EPS deve ser utilizado juntamente com outros materiais de maior peso, como cimento e areia, possibilitando melhor resistência. Pode-se utilizar o EPS também no concreto

convencional obtendo um ótimo conjunto na questão resistência e peso final da estrutura confeccionada (CASTRO, RODRIGUES e STOCCO, 2009).

Ainda de acordo com os autores supracitados, desde que bem entendidas as características em relação à necessidade de utilização de materiais que isolem bem e impeçam a segregação dos flocos de EPS, torna-se um material extremamente econômico e de desempenho satisfatório.

2.2 Uso de aditivos no concreto leve

Bauer (2001) define aditivo como um componente indispensável para a finalidade do concreto, que pode ser adicionado na betoneira antes ou durante a mistura do concreto, no geral bem homogeneizado e em pouca quantidade.

Um dos maiores problemas apresentados nos concretos em geral é a interface entre agregado e pasta, sendo que essa zona de transição é em geral mais fraca, o que interfere diretamente no comportamento mecânico do concreto. Devido a isso, faz-se necessário o uso de aditivos na mistura do concreto para evitar a exsudação e segregação dos materiais (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

A respeito dos aditivos, Mehta e Monteiro (1994) complementam que há diversas composições químicas que agem das mais diversas formas, uma delas refere-se às substâncias que agem de forma rápida, interferindo no sistema água/cimento, modificando a tensão superficial da água. Com base nas informações acima, os aditivos plastificantes reduzem a água de amassamento, melhoram a coesão e diminuem a segregação, evitando assim a floculação do material.

Segundo NBR 11768 (ABNT, 2011), o aditivo plastificante contribui também para reduzir a quantidade de água empregada na mistura, ou seja, mesmo utilizando menos água, não há modificação na consistência do concreto no estado fresco. Ajuda também a evitar segregação, melhorando a coesão e reduzindo a água de amassamento.

No caso do concreto leve, a Abrapex (2006) sugere que se misture material adesivo, como a cola branca, na composição do concreto leve, para que melhore a aderência entre o agregado EPS e o concreto, pois com a melhor aderência, ocorre a diminuição dos vazios e, conseqüentemente, melhora a resistência do material.

2.2 Comportamento do concreto exposto a altas temperaturas

Os estragos causados pelo fogo nas estruturas de concreto variam de acordo com a temperatura alcançada pelo material durante o incêndio e também conforme a duração do incêndio. Porém, uma estrutura de concreto sofre menos com a ação do fogo devido à sua baixa condutividade térmica (BAUER, 2001).

O ambiente com submissão a altas temperaturas pode ocasionar danos físicos, químicos e mecânicos nas estruturas de concreto. O físico, por exemplo, é devido ao efeito da temperatura nesses elementos, que causa degradação do concreto, interferindo nos agregados e na pasta de cimento, podendo levar à perda de resistência e, conseqüentemente, deformação dos elementos de concreto. Além de sofrerem danos pela ação do fogo, alguns materiais podem se tornar agentes combustíveis, que irão contribuir para a propagação do incêndio (BERTOLINI, 2010).

Sobre a resistência do concreto exposto ao fogo, Bertolini (2010), apresenta que a resistência ao fogo de um elemento varia com a sua capacidade de permanecer resistente, estável e com capacidade de isolamento térmico. O concreto, por exemplo, não conduz facilmente o fogo, ou seja, a superfície que mais sofre é a que está em contato direto com ele.

Em relação ao comportamento do poliestireno expandido exposto ao fogo, este varia de acordo com o seu local de aplicação e superfície que esteja protegendo esse material. Após o material passar para a fase líquida ($\pm 150^{\circ}\text{C}$), ele se funde e ainda resistirá até os 370°C , quando poderá se autoextinguir. Por outro lado, se estiver protegido por argamassa ou outro material de revestimento que o proteja da chegada do oxigênio, ele não irá entrar em combustão (ISOFÉRES, 2012).

A vulnerabilidade em relação à queima de materiais poliméricos, como o EPS, torna importante o estudo do seu comportamento exposto a um incêndio. Cabe lembrar que, ao levar em consideração sua alta contribuição para a combustão, o uso do polímero com um material que ajude a inibir a sua combustão é de extrema importância, logo, a combinação com o concreto pode ser satisfatória (BERTOLINI, 2010).

Outro fator importante sobre o comportamento do concreto exposto a altas temperaturas é que, devido à elevada presença de água no concreto, nem sempre ela consegue evaporar por completo, fazendo com que as partículas de água presentes internamente no concreto sofram com a ação da temperatura, aumentando a pressão dentro do concreto, ocasionando o lascamento superficial desse material (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

No que se refere à resistência à compressão do concreto, aquele submetido a uma exposição brusca ao fogo apresentará resistividade variável devido às condições de exposição e composição, podendo ter início de perda de resistência a partir dos 300°C e chegando aos

900°C, com perda total de sua resistência, dependendo da sua composição, conforme Tabela 1 (BAUER, 2001).

Tabela 1: Comportamento do concreto em relação às temperaturas

TEMPERATURAS °C	RESISTÊNCIA E OBSERVAÇÕES
200	100% da resistência mecânica
300-600	60% da resistência (bastante são)
600-900	30% da resistência(friável)
900	Sem resistência

Fonte: Adaptado de Bauer (2001).

Tendo conhecimento de todos os efeitos de incêndio em estruturas de concreto, há necessidade de conhecimento para entendermos as possíveis causas e reparos que possam ser necessários no futuro (BAUER, 2001).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi limitada a um experimento elaborado em laboratório, realizado com concreto leve substituindo parte do agregado graúdo por flocos de EPS e diferentes aditivos que melhorem a aderência do EPS com o concreto. O objetivo geral foi analisar a resistência do concreto leve com aditivos após uma simulação de situação de incêndio.

Após a coleta de dados do ensaio experimental, foi analisado o comportamento do concreto quando exposto a altas temperaturas, que foram comparadas entre si e com bibliografias pertinentes, comparação da massa antes e depois do ensaio e também a análise de resistência à compressão.

3.1 Moldagem e cura dos corpos de prova

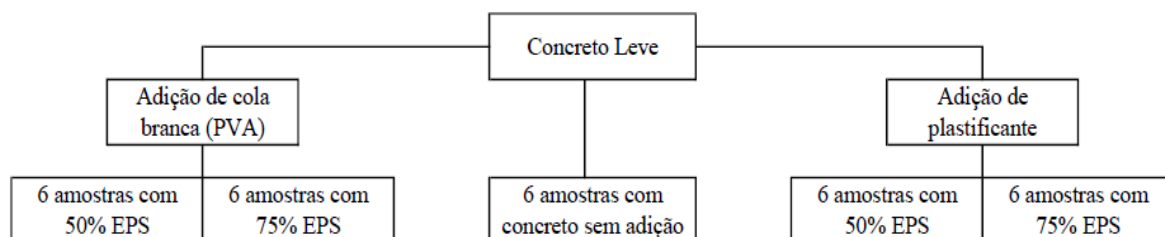
Foram confeccionados 30 corpos de prova cilíndricos, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, todos com Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), flocos de poliestireno expandido reciclado, padronizado e produzido para uso em confecção de elementos de concreto, areia média e brita 1.

Para a confecção do concreto leve, segundo ACI 211.2-98 (1998) *apud* Catoia (2012), recomendam-se consumos de cimento acima de 300 kg/m³ para melhor durabilidade, trabalhabilidade e resistência. Para evitar a segregação dos materiais, recomenda-se a utilização de aditivos que permitam a redução da relação água/cimento (ROSSIGNOLO e AGNESINI, 2005).

O traço utilizado foi adaptado de Ozório (2016), em que se destacam relações água/cimento de aproximadamente 0,3, devido à utilização de aditivos. Logo, combinando uma baixa relação água/cimento, com os materiais utilizados, chegou-se a um consumo de cimento da ordem de 473,5 kg/m³ e um traço de 1:1.5:2.6:0,3:1% (cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, relação água/cimento e aditivos), que foi adaptado para adição parcial do agregado graúdo e outros aditivos. As quantidades de materiais utilizados na confecção dos concretos estão apresentadas no Apêndice A.

Os corpos de prova foram produzidos a partir de variáveis, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1: Fluxograma do total de amostras pelo tipo de composição e caracterização



Fonte: Autor (2019).

A confecção das amostras foi realizada segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015) em duas etapas. Na primeira, foram confeccionados 12 corpos de prova, trabalhando com substituição de 50% e 75% de flocos de EPS no agregado graúdo e adesivo PVA, e na segunda etapa, mais 12 corpos de prova, com 50% e 75% de substituição, porém com aditivo plastificante, conforme Figura 2.

Figura 2: Corpos de prova moldados.



Fonte: Autor (2019).

O concreto foi confeccionado com o traço adaptado, com o auxílio de uma betoneira, respeitando a ordem de colocação dos materiais em todos os procedimentos, sendo: Brita 1 e EPS, 50% da água com aditivo, espera de 1 minuto com a betoneira ainda ligada, cimento, areia e os outros 50% da água, aguardando mais 3 minutos para homogeneizar todos os materiais. Após a confecção do concreto, foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015), com a finalidade de verificar se a consistência do concreto está dentro das diretrizes normativas.

Concluído o processo de confecção do concreto, os corpos de prova foram moldados e posteriormente colocados em uma superfície horizontal durante 24 horas para o início do processo de cura. Após este período, os corpos de prova foram desformados e colocados em câmara úmida disponível na instituição, mantendo controle de temperatura entre 23 ± 2 °C e umidade relativa do ar 95%. Ressalta-se que, de acordo com o estabelecido pela NBR 5738 (ABNT, 2015), norma para concretos leves, os corpos de prova deveriam ser retirados da câmara aos sete dias e a umidade relativa do ar ideal seria de $50 \pm 15\%$, mas devido à impossibilidade de alteração da umidade, foi utilizada a cura convencional.

Os corpos de prova permaneceram durante 28 dias na câmara úmida para que atingissem sua resistência característica.

3.2 Ensaio de temperatura, massa específica e perda de massa

Após retirar os corpos de prova da câmara úmida, antes de dar início ao ensaio de temperaturas, foram feitas as pesagens dos corpos de prova para realizar o cálculo de massa específica do concreto e, também, para que após a simulação de incêndio fosse possível comparar a massa dos corpos de prova antes e depois do ensaio.

Para realizar o cálculo da massa específica dos corpos de prova, utilizou-se a massa encontrada de cada corpo de prova em temperatura ambiente e o volume conhecido do molde, que é aproximadamente 0,0015708 m³, que foram relacionados na Equação 01.

(1)

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Onde:

ρ : Massa específica (kg/m³)

m: Massa (kg)

V: Volume (m³)

Após o processo de cura e pesagem do concreto concluído, foi realizado o ensaio de temperatura. Segundo Bauer (2001), o concreto perde sua resistência quando atinge os 900°C, sendo assim, o concreto foi aquecido até a temperatura de 900°C e teve seu resfriamento lento, ou seja, os corpos de prova foram retirados do forno e deixados em uma superfície até que chegassem à temperatura ambiente. Posteriormente, realizou-se a pesagem deles para comparar com a massa antes de serem submetidos ao ensaio de temperatura, conforme Figura 3.

Figura 3: Corpos de prova durante ensaio de temperatura e sua posterior pesagem.



Fonte: Autor (2019).

3.3 Ensaios de resistência à compressão

Com o ensaio de temperatura finalizado, deu-se início aos ensaios de compressão, de acordo com NBR 5739 (ABNT, 2007), em que foram rompidos 3 corpos de prova de cada dosagem em seu estado natural e 3 corpos de prova de cada dosagem após o ensaio de temperatura para que fosse possível realizar a comparação deles (Figura 4).

Figura 4: Corpo de prova com 50% EPS + PVA já ensaiado, à esquerda em estado natural e à direita após o ensaio de temperatura



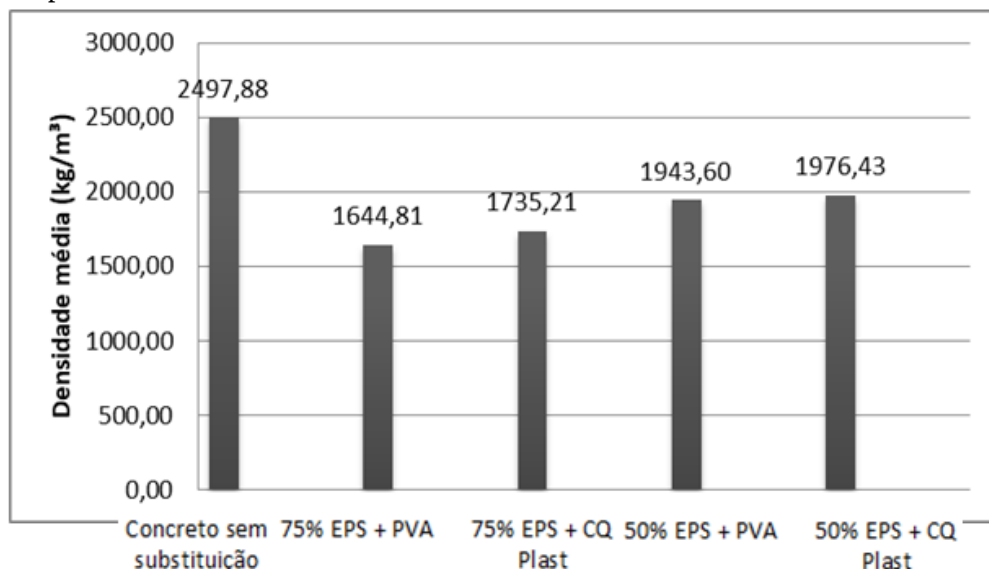
Fonte: Autor (2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização do concreto

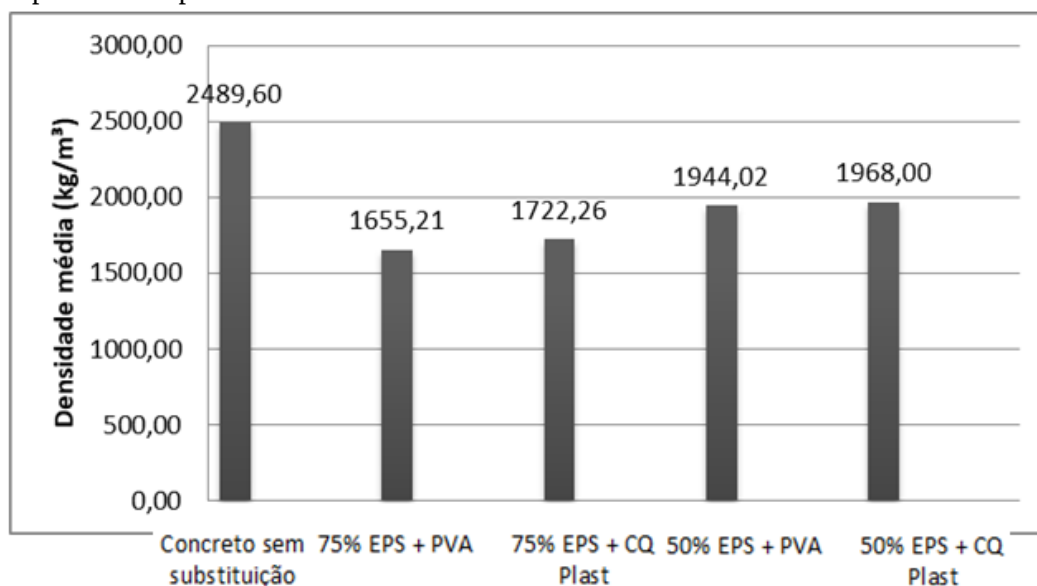
Nos Gráficos 1 e 2 são apresentados os valores médios em relação à massa específica. Todos os demais valores necessários para o cálculo dela estão expostos no apêndice B.

Gráfico 1: Massa específica média dos corpos de prova utilizados no ensaio de resistência em temperatura ambiente.



Fonte: Autor (2019).

Gráfico 2: Massa específica média dos corpos de prova utilizados no ensaio de resistência após serem expostos à temperatura de 900 °C.



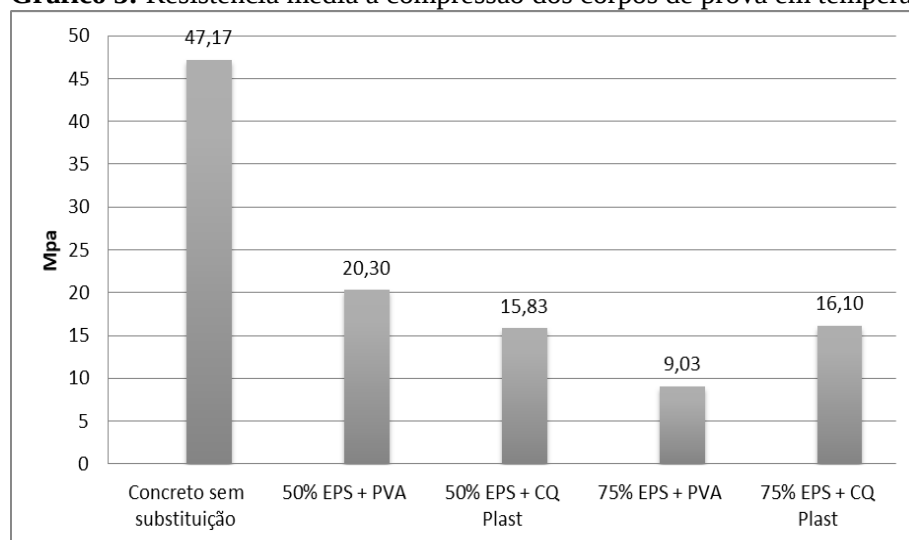
Fonte: Autor (2019).

Com base nos resultados dos gráficos 01 e 02, constatou-se que, com exceção dos corpos de prova de concreto convencional, todos os demais se caracterizam como concretos leves. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), concreto convencional tem massa específica de 2000kg/m³ ou mais, ou seja, os concretos que ficaram com massa específica inferior a este podem ser classificados como concretos leves.

4.2 Resistência à compressão em temperatura ambiente

Após o processo de 28 dias de cura, os corpos de prova foram retificados e posteriormente rompidos. Com o ensaio de compressão, obteve-se os seguintes resultados de resistências do concreto convencional ou com substituição em temperatura ambiente, conforme pode-se observar no Gráfico 3.

Gráfico 3: Resistência média à compressão dos corpos de prova em temperatura ambiente.



Fonte: Autor (2019).

Pode-se observar, com o Gráfico 3, que o concreto com aditivo se comporta de forma distinta entre as porcentagens, pois o concreto com 50% de EPS e PVA obteve resistência maior que a mesma porcentagem com adição de plastificante, porém a porcentagem de 75% de EPS e plastificante resistiu mais do que a mesma porcentagem com PVA.

Observou-se também que o concreto sem adições apresentou um resultado discrepante em relação aos demais, isso se deve ao fato de que o traço utilizado é para concretos leves, ou seja, ao utilizá-lo em um concreto convencional, torna-o mais resistente pelo fato do alto consumo de cimento e a baixa relação a/c.

O concreto com 50% de EPS+PVA atingiu a resistência de 20,3 MPa e massa específica apresentada no Gráfico 2, 1943,59 kg/m³, a qual, segundo Mehta e Monteiro (1994) e Neville e Brooks (2013), caracteriza-o como concreto leve estrutural, podendo ser utilizado como forma de diminuir o peso das estruturas.

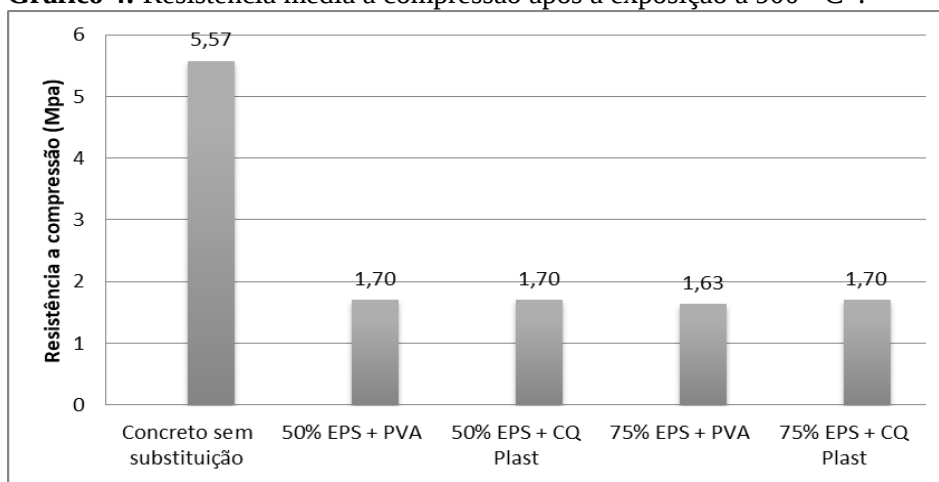
Os demais concretos que não foram classificados devido ao seu elevado peso próprio podem ser utilizados como concreto estrutural podem ser utilizados segundo Moncayo (2017)

para outros fins que solicitem uma resistência menor, tais como blocos, elementos de vedação, elementos para isolamento térmico e acústico, regularizações, entre outras.

4.3 Resistência à compressão após exposição de temperatura

No Gráfico 4, pode-se observar os dados de resistência após os concretos serem expostos a altas temperaturas.

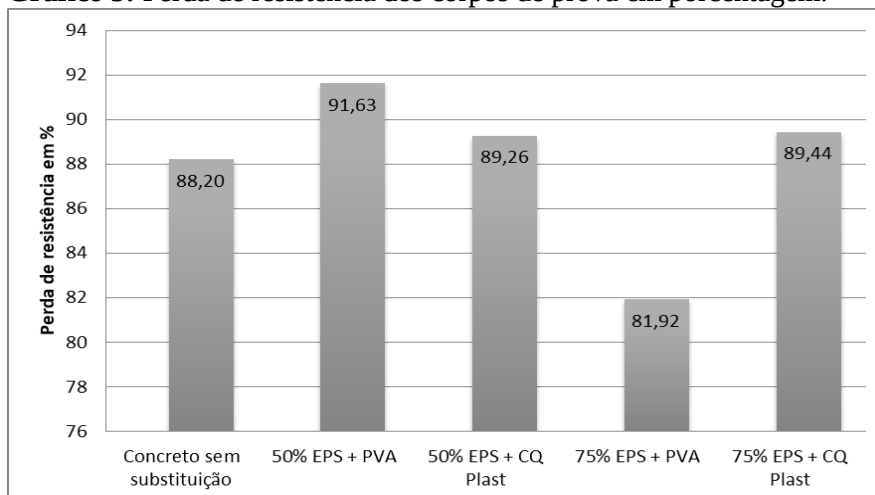
Gráfico 4: Resistência média à compressão após a exposição a 900 °C .



Fonte: Autor (2019).

Apesar dos valores apresentados no Gráfico 4, exceto do concreto sem substituição, apresentarem resultados semelhantes de resistência, no Gráfico 5, que apresenta os resultados de comparação descritos no Apêndice C, que se referem ao concreto em estado natural, pode-se analisar que houve variação na resistência de acordo com as substituições.

Gráfico 5: Perda de resistência dos corpos de prova em porcentagem.



Fonte: Autor (2019).

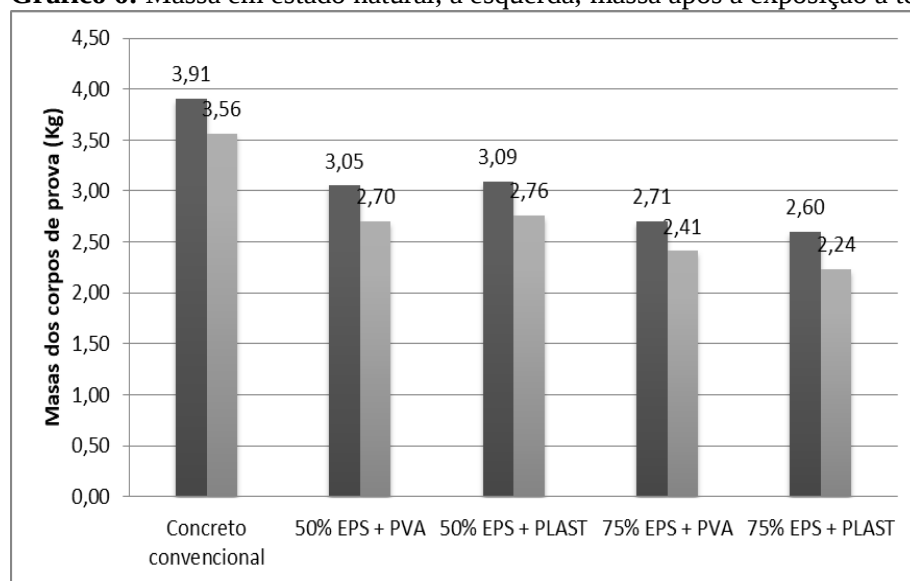
Os concretos, diferentemente do citado por Bauer (2001), não perderam completamente sua resistência, porém, perderam sua função estrutural. Houve também uma nova variação entre as substituições, pois apesar dos concretos serem compostos por diferentes porcentagens e aditivos, apresentaram resultados de resistência parecidos entre si, diferente do ocorrido no estado natural.

4.4 Perda de massa

Os corpos de prova foram retirados da câmara úmida e retificados, assim como os do item 4.2. Após a retificação, foram pesados e levados a um forno mufla a 900°C, pois segundo Costa (2008), um incêndio tem o seu pico de temperatura entre 900-1200° C.

Os corpos de prova foram pesados antes e após o ensaio de temperatura para que fosse possível realizar a comparação com seu peso antes de serem colocados na mufla, obtendo os resultados expostos no Apêndice D, plotados no Gráfico 6.

Gráfico 6: Massa em estado natural, à esquerda; massa após a exposição à temperatura, à direita



Fonte: Autor (2019).

De acordo com o Gráfico 6, constata-se que os corpos de prova perderam entre 360g e 300g de massa. conforme a Figura 5, o EPS se autoextinguiu, deixando apenas vazios no corpo de prova, ou seja, pelo fato de não ter ocorrido lascamento durante o ensaio de temperatura, essa perda de peso possivelmente seja proveniente de perda de água e massa de EPS, combinados.

Na figura 5 podemos observar o comportamento do EPS quando exposto a temperatura.

Figura 5: Corpos de prova antes do ensaio de temperatura, à esquerda, e após o ensaio, à direita.



Fonte: Autor (2019).

Conforme a Figura 5, o EPS se autoextinguiu, deixando apenas vazios no corpo de prova, ou seja, pelo fato de não ter ocorrido lascamento durante o ensaio de temperatura, essa perda de peso possivelmente seja proveniente de perda de água e massa de EPS, combinados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão dos dados coletados no programa experimental permite que se levantem as seguintes conclusões: a resistência à compressão do concreto pode variar de acordo com o aditivo e a porcentagem de EPS utilizado durante a confecção do concreto. O aditivo também nem sempre se comporta da mesma maneira, pois com o mesmo aditivo incorporado em diferentes substituições pode haver ou não ganho de resistência.

Destaca-se ainda que, apesar de o EPS estar protegido pelo concreto, ele ainda assim se autoextinguiu. Verificou-se também que a perda de massa variou entre 300 – 360g, de modo que podemos constatar que, diferente do citado por Mehta e Monteiro (1994) não houve o lascamento do concreto, ou seja, essa perda de massa possivelmente seja decorrente da

perda de água que ainda restava no corpo de prova, e também a perda de massa do EPS que se autoextinguiu.

O concreto composto por 50% EPS + PVA pode ser classificado segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) como concreto leve estrutural, pois apresentou resistência de 20,3 MPa e massa específica de 1943,59 kg/m³. E o traço que teve menor perda de resistência foi o de 75% EPS + PVA que, apesar de não apresentar um resultado tão elevado de resistência no estado natural, perdeu 81,91% de sua resistência, a menor perda entre todos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Disponível em: <<https://goo.gl/9htMEj>>. Acesso em: 28 de mar. de 2019.

ABRAPEX; **Manual de utilização EPS na construção civil**. São Paulo: Pini, 2006.

ASKELAND, D.R.; PHULÉ P.P. **Ciência e engenharia dos materiais**. 1. ed. São Paulo, SP. 2008. 579p.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. Ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2001.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

CATOIA, T. (2012). **Concreto ultraleve® estrutural com pérolas de EPS**: caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes unidirecionais. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos.

COSTA, C. N. (2002). **Estruturas de concreto armado em situação de incêndio**. Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Brasília, maio 2002.

COSTA, C. N. (2008). **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, abr. 2008.

ISOFÉRES (2012). **Comportamento do Poliestireno Expandido EPS ao fogo**. Disponível em:<<http://www.isoferes.com.br/imagens/ARQUIVOS%20PDF%20SITE/Comportamento%20do%20EPS%20ao%20fogo.pdf>>. Acesso em: 19 de mar. de 2019.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: Estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.

MONCAYO, W. J. Z. **Comportamento residual do concreto leve com pérolas de EPS após situação de incêndio**. Tese Doutorado (Pós Graduação em Engenharia de Estruturas) – USP. São Carlos, SP. 2017.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. Tradução: Ruy Alberto Cremonini – 2. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013.

OZÓRIO, B. P. M. (2016). **Concreto leve com pérolas de EPS**: estudo de dosagens e de características mecânicas. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos.

ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C. **Concreto estrutural leve**. In: Concreto: Ensino, Pesquisas e Realizações. IBRACON, São Paulo, SP. 2005.

STOCCO, W. et. **Concreto leve com uso de EPS**. Disponível em: <[www.abenge.org.br/CobengeAnteriores artigos .pdf](http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores%20artigos.pdf)>. Acesso em: 03 de abr. de 2019.

APÊNDICE A - TABELA DE TRAÇO E CONSUMO DE MATERIAIS

AMOSTRAS	cimento (kg)	areia (kg)	brita (kg)	agua (l)	EPS (l)	ADITIVO (g)
traço (6 cps)	1	1,56	2,65	0,3	Subst.	1%
Convencional	5,2	8,12	13,79	1,56	0	0
75% EPS+COLA	5,2	8,12	3,45	1,56	7,6	52 g
50% EPS+COLA	5,2	8,12	6,90	1,56	5,06	52 g
75% EPS+adt	5,2	8,12	3,45	1,56	7,6	52 g
50%EPS+ADT	5,2	8,12	6,90	1,56	5,06	52 g
TOTAL	26	40,6	34,48	7,8	25,32	208

* CONSUMO DE CIMENTO = 473,5 Kg/m³

APÊNDICE B - TABELAS DE MASSA ESPECÍFICA DOS CORPOS DE PROVA

MASSA ESPECÍFICA DOS CORPOS DE PROVA (ensaio de resistência)

CORPO DE PROVA	Massa (Kg)	Massa média (Kg)	Massa específica (kg/m³)	Massa específica média (kg/m³)
CP1	3,911		2489,81	
CP2	3,926	3,924	2499,36	2497,88
CP3	3,934		2504,46	
CP 1 75% EPS + PVA	2,589		1648,20	
CP 2 75% EPS + PVA	2,563	2,584	1631,65	1644,81
CP 3 75% EPS + PVA	2,599		1654,57	
CP 1 75% EPS + CQ Plast	2,762		1758,34	
CP 2 75% EPS + CQ Plast	2,736	2,726	1741,79	1735,21
CP 3 75% EPS + CQ Plast	2,679		1705,50	
CP 1 50% EPS + PVA	3,071		1955,05	
CP 2 50% EPS + PVA	3,032	3,053	1930,23	1943,60
CP 3 50% EPS + PVA	3,056		1945,51	
CP 1 50% EPS + CQ Plast	3,031		2017,00	
CP 2 50% EPS + CQ Plast	3,169	3,154	1835,00	1976,43
CP 3 50% EPS + CQ Plast	3,263		2077,29	

MASSA ESPECÍFICA DOS CORPOS DE PROVA (ensaio de temperatura e massa)

CORPO DE PROVA	Massa (Kg)	Massa média (Kg)	Massa específica (kg/m³)	Massa específica média (kg/m³)
CP1	3,942		2509,55	
CP2	3,9	3,911	2482,81	2489,60
CP3	3,89		2476,45	
CP 1 75% EPS + PVA	2,581		1643,11	
CP 2 75% EPS + PVA	2,624	2,600	1670,49	1655,21
CP 3 75% EPS + PVA	2,595		1652,02	
CP 1 75% EPS + CQ Plast	2,709		1724,60	
CP 2 75% EPS + CQ Plast	2,687	2,705	1710,59	1722,26
CP 3 75% EPS + CQ Plast	2,72		1731,60	
CP 1 50% EPS + PVA	3,066		1951,87	
CP 2 50% EPS + PVA	3,054	3,054	1944,23	1944,02
CP 3 50% EPS + PVA	3,041		1935,96	
CP 1 50% EPS + CQ Plast	3,264		2077,92	
CP 2 50% EPS + CQ Plast	3,127	3,091	1990,71	1968,00
CP 3 50% EPS + CQ Plast	2,883		1835,37	

APÊNDICE C - TABELAS DE RESISTÊNCIA DOS CORPOS DE PROVA

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA		
Concreto convencional	fck 28 dias (MPa)	fck 28 dias exposto 900°C(MPa)
CP 1	50,2	5,7
CP 2	49,5	6,4
CP 3	41,8	4,6
Média	47,17	5,57

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA		
75% EPS + PVA	fck 28 dias (MPa)	fck 28 dias exposto 900°C (MPa)
CP 1	8,4	1
CP 2	9,8	2,3
CP 3	8,9	1,8
Média	9,03	1,70

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA		
50% EPS + CQ Plast	fck 28 dias (MPa)	fck 28 dias exposto 900°C (MPa)
CP 1	20,5	3,3
CP 2	15,1	0,8
CP 3	11,9	1
Média	15,83	1,7

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DO CONCRETO AOS 28 DIAS (MPa)	
Concreto sem substituição	47,17
50% EPS + PVA	20,30
50% EPS + CQ Plast	15,83
75% EPS + PVA	9,03
75% EPS + CQ Plast	16,10

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA		
50% + PVA	fck 28 dias (MPa)	fck 28 dias exposto 900°C (MPa)
CP 1	22,3	1,8
CP 2	21,6	1,5
CP 3	17	1,8
Média	20,3	1,70

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DO CONCRETO AOS 28 DIAS (MPa)	
Concreto sem substituição	5,57
50% EPS + PVA	1,70
50% EPS + CQ Plast	1,70
75% EPS + PVA	1,63
75% EPS + CQ Plast	1,70

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA		
75% EPS+ CQ Plast	fck 28 dias (MPa)	fck 28 dias exposto 900°C (MPa)
CP 1	18,7	1,8
CP 2	15,5	1,3
CP 3	14,1	1,8
Média	16,1	1,63

ANÁLISE DA PERDA DE RESISTÊNCIA DO CONCRETO AOS 28 DIAS (Mpa)			
AMOSTRA	Natural	900 °C	Perda em %
Concreto sem substituição	47,17	5,57	88,20
50% EPS + PVA	20,30	1,70	91,63
50% EPS + CQ Plast	15,83	1,70	89,26
75% EPS + PVA	9,03	1,63	81,92
75% EPS + CQ Plast	16,10	1,70	89,44

APÊNDICE D - TABELAS DE PERDA DE MASSA DOS CORPOS DE PROVA

ANALISE DA PERDA DE MASSA		
Concreto convencional	Massa em estado natural (Kg)	Massa após a exposição a temperatura (Kg)
CP1	3,942	3,597
CP2	3,9	3,555
CP3	3,89	3,531
MÉDIA	3,911	3,561

ANALISE DA PERDA DE MASSA		
50% EPS+PVA	Massa em estado natural (Kg)	Massa após a exposição a temperatura (Kg)
CP1	3,066	2,716
CP2	3,054	2,681
CP3	3,041	2,703
MÉDIA	3,054	2,700

ANALISE DA PERDA DE MASSA		
50% EPS+ CQ Plast	Massa em estado natural (Kg)	Massa após a exposição a temperatura (Kg)
CP1	3,264	2,949
CP2	3,127	2,778
CP3	2,883	2,555
MÉDIA	3,091	2,761

ANALISE DA PERDA DE MASSA		
75% EPS+ PVA	Massa em estado natural (Kg)	Massa após a exposição a temperatura (Kg)
CP1	2,709	2,393
CP2	2,687	2,414
CP3	2,72	2,427
MÉDIA	2,705333333	2,411

ANALISE DA PERDA DE MASSA		
75% EPS+ CQ Plast	Massa em estado natural (Kg)	Massa após a exposição a temperatura (Kg)
CP1	2,581	2,227
CP2	2,624	2,228
CP3	2,595	2,257
MÉDIA	2,6	2,237

ANALISE DA PERDA DE MASSA (médias)		
AMOSTRAS	Massa em estado natural (Kg)	Massa após a exposição a temperatura (Kg)
Concreto convencional	3,91	3,561
50% EPS + PVA	3,05	2,700
50% EPS + PLAST	3,09	2,761
75% EPS + PVA	2,71	2,411
75% EPS + PLAST	2,60	2,237