



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

ESTUDO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO EM ALTAS TEMPERATURAS UTILIZANDO CINZA DA QUEIMA DE MADEIRA

*Marlon Hable, Olaf Graupmann and ³Susan Hatschbach Graupmann

¹Acadêmico no Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Contestado campus Maфра (UNC)

²Professor no Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Contestado campus Maфра (UNC) e Doutorando em Engenharia Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Ecoville Curitiba PR(UTFPR)

³Mestranda em engenharia civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Ecoville Curitiba PR(UTFPR)

ARTICLE INFO

Article History:

Received 14th May, 2019

Received in revised form
21st June, 2019

Accepted 20th July, 2019

Published online 30th August, 2019

Key Words:

Wood Ash, Fire,
Compressive strength,
Concrete.

*Corresponding author: Marlon Hable

ABSTRACT

The objective of this work was to study the compressive strength of test specimens with sand percentages substituted by wood ash under normal conditions and in periods of exposure to high temperatures. As currently the amount of waste deposited in nature is high, and these residues can be used as additives for concrete, reducing the disposal of these materials in nature, when added to the concrete can reduce the need for sand without affecting the mechanical properties, also reduce the demand for the extraction of sand from the natural deposits, thus reducing the environmental impact. We performed bibliographic research related to the subject to create a procedure to test the samples. Traces with replacement of 0, 2, 5, 8 and 10% of concrete sand by ash, submitted to ambient temperature and 500, 821, 927 and 1029 ° C in times of 30 min, 1hr and 2hr. Subsequently the samples passed the compression test indicating that under ambient temperature conditions any substitution percentage of 2 to 10% of the sand per ash becomes advantageous. For high temperatures the traces that had better and similar performance in the compressive strength were those of 0 and 5% of substitution of sand by ash.

Copyright © 2019, Marlon Hable and Olaf Graupmann. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Marlon Hable and Olaf Graupmann, 2019. "Estudo da resistência do concreto em altas temperaturas utilizando cinza da queima de madeira", International Journal of Development Research, 09, (08), 29224-29230.

INTRODUCTION

Para ASHLEY [1], a resistência ao fogo é definida como a capacidade do membro estrutural de suportar a exposição a um incêndio sem perda de função de carga ou a capacidade de agir como uma barreira para espalhar um incêndio. Também podemos caracterizar a resistência ao fogo como a resistência à compressão do concreto depois de um período de exposição a altas temperaturas, a NBR 15200 [2] trata essas definições como função corta-fogo onde a estrutura tem a capacidade de isolante térmico e de estanqueidade de passagem de chamas, e a função de suporte onde ela se mantém estável evitando o colapso parcial ou global da estrutura. Segundo UMASABOR Eokovido [3], podemos dividir a resistência ao fogo em duas zonas. A zona normal com até uma hora de exposição ao fogo e a zona de segurança com até duas horas de exposição ao fogo. Desta forma as obras precisam ser pensadas e projetadas de maneira que em uma ocorrência de incêndio a estrutura se mantenha segura tempo suficiente para saída de todos os usuários. Para a NBR 15200 [2] o objetivo da verificação ao fogo é que a estrutura deve limitar o risco a vida humana, o risco a vizinhança, da própria sociedade e o risco da

propriedade exposta ao fogo. Entretanto, a compreensão do real comportamento de estruturas expostas ao fogo, bem como testes experimentais estão sendo aprimoradas com o passar dos anos, a fim de aumentar a segurança aos usuários. GEORGALI e TSAKIRIDIS [4] e HANDOO *et al.* [5], relatam que altas temperaturas são muito prejudiciais ao concreto afetando sua densidade, elasticidade, aparência superficial e a resistência à compressão. DEMIRBOĞA *et al.* [6], WANG [7] e AYDIN [8] relatam que a melhor maneira de melhorar a resistência ao fogo do concreto é fazer a substituição do cimento por materiais pozolânicos dentre estes a escória granulada de alto forno, cinza volante, cinza de casca de arroz, sílica ativa são os aditivos minerais comumente mais usados no concreto. YÜZER *et al.* [9], realizou um estudo das propriedades do concreto quando exposto a temperaturas de 100, 200, 300, 600, 900 e 1200°C, em concretos com e sem sílica ativa. O autor concluiu que até 300°C a resistência a compressão das amostras praticamente não tiveram alterações, de 300°C 600°C iniciaram-se as diminuições da resistência a compressão, a 900°C as perdas de resistência já estavam na ordem de 55% para concretos normais, para concretos com sílica ativa as perdas de resistência foram evidentes a partir de 600°C, porém

em temperaturas de 900°C a perda de resistência foi de 75%, e segundo seus estudos não houveram mudanças significativas entre 900 e 1200°C. LI *et al.* [10], fez estudos sobre as propriedades dos concretos de diferentes resistências características expostos a altas temperaturas. As amostras foram expostas a temperaturas de 200, 400, 800 e 1000°C e resfriados a temperatura ambiente. Ele concluiu que a resistência a compressão mantida das amostras com resistência característica de 70 Mpa, foram de 82,3%, 63,2%, 58,1% e 27,3% para as temperaturas de 200, 400, 800 e 1000°C respectivamente. Também concluiu que, quanto maior a resistência característica do concreto maior a perda de resistência em altas temperaturas. A NBR 5628 [11] prevê uma curva padrão de temperatura-tempo que especifica a qual temperatura se encontra o incêndio devido ao tempo em que ele está ocorrendo, já a NBR 15200 [2], apresenta um fator de redução, tanto de resistência como também módulo de elasticidade para o concreto conforme a temperatura em que a estrutura foi exposta. Nos estudos realizados por LI *et al.* [10] na microestrutura do concreto danificada pelo fogo, foram feitas observações que mostraram que o processo de fissuração da superfície do concreto por desidratação iniciou-se a partir de 100°C e terminou em 540°C onde toda a água livre foi removida. O craqueamento e amolecimento da superfície do concreto ocorreu entre 450 e 500°C devido a decomposição do $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Fissuras profundas no concreto indicaram temperaturas superiores a 700°C, a cor cinza apontou temperaturas maiores que 800°C. Como não é viável se estudar estruturas de concreto em alta temperatura pois existe uma demanda de equipamentos específicos, LUCCIONI *et al.* [12], SANAD *et al.* [13], e XIAO e KÖNIG [14], elaboraram modelos numéricos e computacionais para análise de estruturas que sofreram algum evento de exposição a alta temperatura, podendo apontar o seu grau do dano. Esses métodos foram comparados junto a ensaios em amostras reais e garantidos a sua eficácia. No entanto, levando em consideração a finalidade da estrutura a mesma deve atender certas exigências de resistência ao fogo, e os materiais devem ser empregados a fim de suprir tal necessidade. Para isso muitas vezes existe a necessidade de melhorar algumas das propriedades dos concretos, e alguns elementos minerais podem fazer isso.

O aumento da população, a expansão da urbanização, o aumento do modo de vida, devido às inovações tecnológicas exigiram uma enorme quantidade de recursos naturais na indústria da construção, o que resultou na escassez de recursos. Essa escassez motiva os pesquisadores a utilizarem os resíduos sólidos gerados pelas atividades industriais, de mineração, domésticas e agrícolas, retrata PRUSTY *et al.* [15]. BOUZOUBAA *et al.* [16], usaram misturas minerais, como sílica ativa, cinza volante e escória de alto forno, para verificar os ganhos nas propriedades do concreto, GRAUMPMANN *et al.* [17] relata que substituições de 5% do agregado miúdo do concreto por cinza de aterro sanitário confere ao concreto maior resistência a compressão em idades iniciais. A adição de materiais pozolânicos ao cimento para melhorar as propriedades de argamassa e concreto tornou-se recentemente uma questão emergente nas indústrias de cimento e construção afirma TULASHIE *et al.* [18]. Muitos materiais pozolânicos são obtidos dos resíduos industriais e agrícolas, o que acaba tornando muito viável a sua utilização. Pozolânicos de resíduos agrícolas estão recebendo mais atenção agora, já que seus usos geralmente melhoram as propriedades do cimento misturado e reduzem os problemas ambientais, segundo

CHINDAPRASIRT *et al.* [19]. A utilização desses materiais na construção civil acaba se tornando uma saída para ajudar o meio ambiente, pois o rejeito que não é mais útil, deixa de ser depositado diretamente na natureza, evitando contaminações no solo, água, ar e da população, e passa a melhorar as propriedades das estruturas de concreto em que são aplicados. Segundo IGARASHI *et al.* [20], a explicação para a melhora das propriedades dos concretos com adições pozolânicas, se resume na reação do cimento com a pozolana, assim são formados mais hidratos de silicato de cálcio o que confere ao concreto maior durabilidade e resistência. Está bem documentado que a capacidade de fortalecimento de uma mistura mineral não depende apenas da reatividade pozolânica, mas também do efeito de preenchimento, segundo BUI *et al.* [21]. A escória granulada de alto forno, um subproduto industrial da indústria siderúrgica, serve como um material cimentício suplementar ao formar um gel adicional de hidrato de silicato de cálcio (C-S-H) de baixa densidade, assim, aumenta a densidade da matriz através de um preenchimento de poros segundo WANG [7]. Partículas mais finas tendem a se concentrar perto da interface agregado-matriz, levando à redução da porosidade e aumentando a capacidade de ligação interna comenta BUI *et al.* [21]. Mas algumas pesquisas apontam que devemos ter cuidados quanto ao uso dos materiais pozolânicos em concretos para elevadas temperaturas, pois o aumento da densidade da mistura deixa ela mais sensível a variações de temperatura segundo HERTZ [22]. Levando em consideração as referências estudadas, este estudo pretende analisar a resistência a compressão do concreto antes e depois da exposição a altas temperaturas de concretos padrões e com a substituição de porcentagens do agregado miúdo (areia) por cinza proveniente da queima da madeira, resíduos de uma caldeira que fornece vapor para uma empresa de papelão ondulado localizada na cidade de Rio Negro, Paraná.

MATERIAIS E MÉTODOS

Pela revisão bibliográfica da literatura sobre o assunto seguindo para a caracterização dos materiais, elaboramos um apanhado dos conceitos para criar um procedimento de ensaio em laboratório, para no fim fazer uma análise dos resultados.

Materiais utilizados: Para a pesquisa foram empregados os seguintes materiais: cimento CP II-Z, areia, brita e cinza resultante da queima de pinus e eucalipto. A substituição da areia por cinza se deu em diferentes teores dentre eles, 0%, 2%, 5%, 8%, 10%.

Areia: A areia utilizada na pesquisa tem origem quartzosa, seu módulo de finura é de 2,52, com diâmetro máximo do agregado de 2,36 mm massa específica é de 2,6 g/cm³. Os resultados do módulo de finura e diâmetro máximo do agregado seguiram as determinações da NBR NM 248 [23], a massa específica teve origem do ensaio de Chapman prescrito na NBR 9776 [24]. Para classificação da areia utilizada na pesquisa quanto a zona de graduação, usamos como padrão as orientações da NBR 7217 [25] e NBR 7211 [26], no ensaio a amostra foi devidamente seca em uma estufa a 105°C por um período de 24hs. A próxima etapa foi a pesagem da amostra, seguido do peneiramento mecânico com a sequência de peneiras prevista na norma, dado o peneiramento da areia, foram pesadas as quantidades retidas em cada peneira e verificado a porcentagem que ficou retida em cada uma. Logo os valores foram comparados com a tabela da NBR 7211 [26]

e caracterizado a areia da pesquisa na zona 3 (areia média). A curva granulométrica da areia está representada na Figura 1.

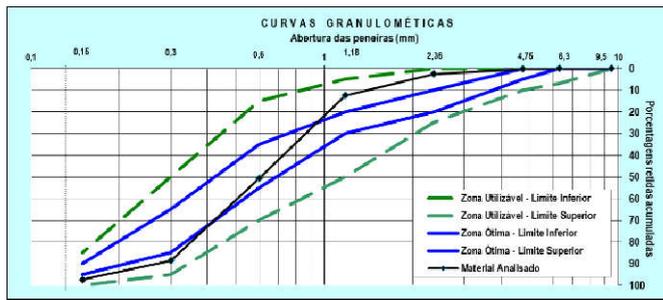


Figura 1. Curva granulométrica do agregado miúdo utilizada na pesquisa

Brita: A brita, sua origem é granítica, seu módulo de finura é de 6,90, o diâmetro máximo do agregado é de 12,5mm obtidos pela NBR NM 248[23], tem por massa específica e absorção os valores de 2,88 g/cm³ e 0,21% respectivamente obtidos pela NBR NM 53 [27], a caracterização da brita na zona de graduação, teve por base os padrões da NBR 7211[26] e NBR 7217 [25] que da mesma forma foram secas, pesadas, peneiradas e posteriormente pesado e transformado em porcentagem o quanto ficou retido em cada peneira, a próxima etapa contemplou a caracterização junto a NBR 7211 [26] que atendeu os valores da Graduação 1. A representação da curva granulométrica é apresentada na Figura 2.

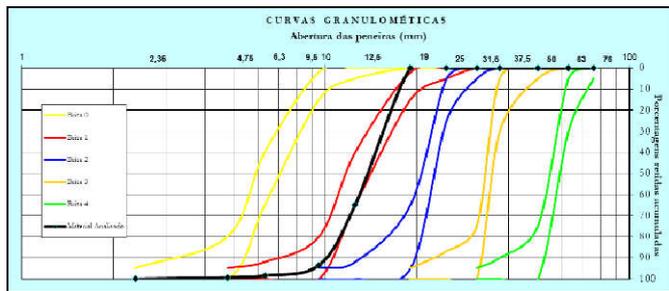


Figura 2. Curva granulométrica do agregado graúdo utilizado na pesquisa

Cimento: Para a presente pesquisa foi utilizado o Cimento Portland Composto CP II-Z classe 32, que segundo a NBR 11578 [28], “é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem do clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores especificados”. Este cimento segundo ABCP apud POUHEY [29], tem teores de pozolana que variam de 6 a 14% da sua massa, a classe 32 significa que a sua resistência característica aos 28 dias é de 32 Mpa e pode ser aplicado a vários tipos de obras.

Cinza: O material para substituição da areia, foi a cinza proveniente da queima de madeira combustível para uma caldeira de vapor de uma empresa de papelão ondulado. As madeiras queimadas no processo da empresa, são tanto de pinus como de eucalipto, não tendo proporções exatas, pois a empresa não faz o controle do tipo do material que é queimado. Quando coletada a cinza, notamos uma granulometria bem heterogênea com partículas muito grandes e também bastante impurezas, então para utilizar esse material na pesquisa como substituição da areia, houve a necessidade

de peneirar esse material para a retirada das partículas grandes e das impurezas, foi utilizado uma peneira manual com abertura da malha de 2,79mm, então foi obtido o material para ser usado na pesquisa. Uma amostra foi separada para ser classificada quanto a sua granulometria, os valores retidos nas peneiras estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores das massas e porcentagem amostra de cinza retido em cada peneira

Abertura mm	Peso Retido (g)	%	Σ %
2,36	42,80	8,56%	8,56%
1,18	72,36	14,47%	23,03%
0,600	226,42	45,28%	68,32%
0,300	118,91	23,78%	92,10%
0,150	11,87	2,37%	94,47%
Fundo	27,64	5,55%	100,00%
	500,00	100,00%	

O resultado do módulo de finura da cinza estabeleceu o valor de 2,86, com diâmetro máximo do agregado de 2,36mm seguindo o ensaio da NBR NM 248[23], o resultado da massa específica foi de 2,3 g/cm³ obtido pelo ensaio de Picnômetro descrito no DNER-ME 084[30]. Para obter a zona de graduação da cinza comparamos os resultados da Tabela 1, com a NBR 7211 [26], apenas com a retirada dos materiais de grande granulometria o restante das cinzas atendeu os valores da zona 3, granulometria média, assim permitindo a substituição das porcentagens do agregado miúdo por cinza por serem classificados na zona 3 (média). A curva granulométrica da cinza está representada na Figura 3.

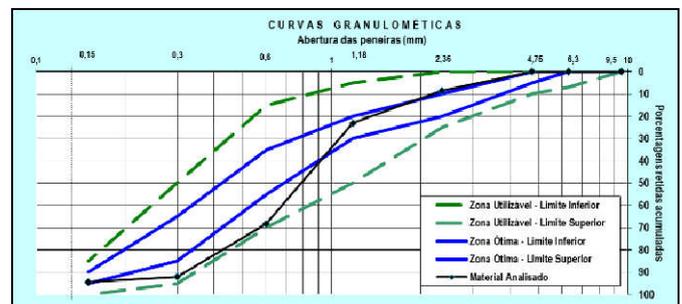


Figura 3. Curva granulométrica da cinza que substituiu o agregado miúdo da pesquisa

Traço do concreto: Para a definição do traço foram feitas verificações junto a norma NBR 6118 [31] que impõem como resistência mínima a compressão do concreto considerando uma classe de agressividade CAA III (Forte) é de C30 (30 Mpa), e para chegar a resistência estabelecida foi utilizado o traço de concreto apresentado pela tabela SINAPI [32] do ano de 2016, este traço resulta na resistência característica necessária de 30 Mpa na compressão, as proporções para o mesmo se dão na ordem de 1 : 2,1 : 2,5 (Cimento : Areia média : Brita 1) com o preparo mecânico em betoneira. Na moldagem do traço padrão, o qual não é contemplado com a adição de cinza foi utilizado um fator a/c (água/cimento) de 0,55 para classe de agressividade CAA III que é previsto na NBR 6118 [31], fator a/c que foi mantido para a moldagem de todos os corpos de prova. A umidade dos agregados o qual poderia influenciar na alteração do fator a/c foi desconsiderada, pois todos os agregados utilizados na pesquisa passaram por um processo de secagem, os mesmos eram submetidos a um período de 24 horas em um forno a 105°C de temperatura retirando toda a umidade dos mesmos, garantindo a moldagem uniforme de todas as amostras.

Método de dosagem dos concretos: As variadas misturas de concreto foram dosadas em uma betoneira de eixo inclinado de capacidade para mistura de 150 litros. O tempo de mistura de cada amostra na betoneira era de 5 minutos. A sequência de mistura dos agregados na betoneira foi a seguinte: brita, 70% da água, cinza (quando utilizada), cimento, areia, e o restante da água. Decorridos 5 minutos misturando na betoneira era realizado o ensaio de troco de cone (*slump test*) seguindo as orientações da NBR NM 67 [33] a fim de verificar a consistência da amostra e verificar se seria necessário algum ajuste no traço. A amostra padrão apresentou um abatimento no *slump* de 70mm então utilizamos este valor como referência e estipulamos uma tolerância de ± 10 mm.

Moldagem dos corpos de prova : Os diferentes traços de concreto produzidos foram moldados em corpos de prova cilíndricos de dimensões 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura, e foram conduzidos segundo a NBR 5738 [34], a primeira etapa consistia na preparação nos moldes, que contemplava a limpeza e a aplicação de desmoldante para facilitar desforma dos corpos de prova, assim se iniciava a moldagem realizando o preenchido da metade do molde com concreto, então se adensava com 12 golpes esta camada sendo eles 1 golpe por segundo, então era disposto o concreto da camada restante ultrapassando brevemente a superfície do molde e assim era realizado o último adensamento de 12 golpes, com a colher de pedreiro se executava uma leve regularização da superfície do molde.

Cura dos corpos de prova : Decorridas 24 horas da moldagem dos corpos de prova o próximo passo era efetuar a desmoldagem desmontando os moldes e retirando os corpos de prova. Os corpos de prova eram submetidos a cura úmida que implica na imersão em água como sugere a NBR 5738 [34], porém a imersão foi somente em água sem misturas, o intuito era reproduzir o mais próximo possível o ambiente do canteiro de obras. As amostras de referência de cada traço, as que não foram expostas a temperatura tiveram a sua cura em 7, 14 e 28 dias submersas em água, para cada período e traço se tinham 3 corpos de prova que posteriormente foram rompidos, a resistência adotada foi a resultante da média dos 3 corpos de prova de cada período de cada traço. Já as amostras que tiveram a sua exposição a temperatura sua cura se deu de forma diferente, seguindo o seguinte procedimento, após passadas as 24 horas da moldagem do corpo de prova, era feita a desmoldagem e a alocação dos corpos de prova no tanque submersos em água, porém o tempo de submersão se estendia por 15 dias, após esse tempo o corpo de prova era retirado do tanque e o restante da cura era feito nas condições ambiente pelos seguintes motivos, para retratar o mais próximo possível o ambiente do canteiro de obras onde o concreto não passa por toda sua idade de cura submerso em água e também para garantir que o corpo de prova portasse o mínimo de umidade possível, pois ao ser elevada a temperatura a umidade presente no interior do CP (Corpo de Prova) tende a fazer pressão interna podendo levar a ruína do CP.

Preparação para queima namufla: Antes das amostras serem levadas à mufla, elas passaram pelo processo de retificação das faces de contato segundo NBR 5738 [34], pois como já era esperado a acentuada perda de resistência, poderia haver o risco de as amostras romperem se fossem submetidas a retifica após a exposição a elevadas temperaturas. Então as amostras foram levadas a mufla e posicionadas conforme a Figura 4, com cada traço posicionado em linhas, também foram

instaladas placas de cerâmica Figura 5 para evitar o contato muito próximo com as resistências laterais da mufla, o que poderia gerar resultados divergentes entre as amostras.



Figura 4. Representação da disposição dos traços



Figura 5. Placas de cerâmicas instaladas nas laterais

Mufla: Para a aplicação das altas temperaturas nos corpos de prova foi utilizado uma mufla elétrica da marca jung com dimensões da área de aquecimento 800x800x800 (altura x largura x profundidade) com capacidade máxima de aquecimento de 1100° C, neste foram elaborados programas para secagem dos corpos de prova e posteriormente a queima deles.

Queima dos corpos de prova: Antes da queima por haver o risco de explosão do concreto todas as amostras foram secadas por um período de 24h a uma temperatura de 105° C, pois segundo a redução da umidade a teores menores de 3% resultaram numa diminuição da explosão das amostras HERTZ [22]. Decorrido o tempo de secagem, a mufla iniciava automaticamente a rampa de aquecimento para as temperaturas de simulação do fogo, aquecendo cerca de 5° C por minuto, ao chegar às temperaturas de 521, 821, 927 e 1029° C, as amostras ficavam o período de 30 min, 1h ou 2h então o forno era desligado automaticamente e deixado esfriar até ficar a temperatura ambiente.

Rompimento dos corpos de prova: Para o rompimento dos corpos de prova foi utilizada uma máquina universal de ensaios e como especificado na NBR 5739 [35] o ensaio transcorreu 24hs após o período de queima. A unidade de medida dos resultados obtidos na prensa eram em Ton/Força que posteriormente foram transformados para Mpa que é a unidade mais usual para este tipo de resultado.

RESULTADOS

Concluídos os ensaios e anotados os resultados, pode ser feita uma análise local com cada faixa de temperatura e posteriormente uma análise global, também foi possível comparar os resultados obtidos com o que as normas vigentes preveem.

Amostras Padrão (Sem exposição ao Fogo): Os resultados obtidos nas amostras padrão estão apresentados na Figura 6 na análise dos resultados podemos comprovar que todas as amostras com adições se sobressaíram em relação ao traço sem substituição.

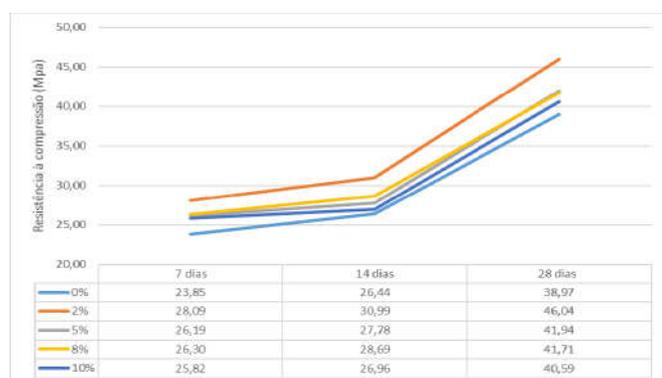


Figura 6. Resistência à compressão nas diferentes idades de cura (Sem exposição a elevada temperatura)

BOUZOUBAA *et al.* [16] comenta sobre a adição de cinza para obter ganhos nas propriedades do concreto, o ganho na resistência a compressão está envolvido com as reações pozolânicas, que aumentam a capacidade ligante da amostra e também na densidade, onde a adição de cinza preenche melhor os vazios do concreto assim melhorando a homogeneidade e consequentemente a resistência.

Faixa de temperatura de 521°C: Segundo a NBR 5628 [11] um fogo de 5 min de duração já apresenta temperaturas superiores a 500° C, logo esta foi uma das temperaturas adotadas para analisar o dano na resistência do concreto, os resultados são expressados no Figura7.

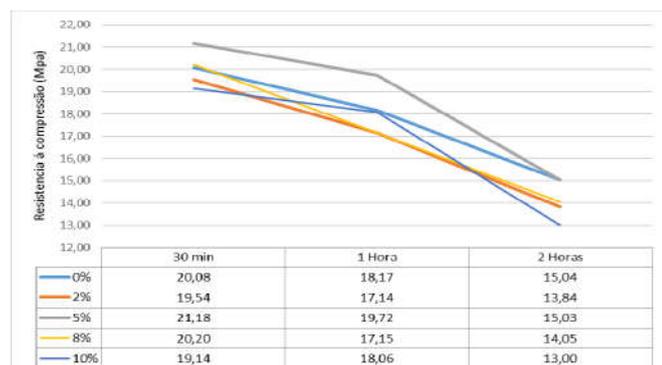


Figura 7. Resistência/Tempo faixa de temperatura de 521°C

Como podemos observar o primeiro impacto na perda de resistência do concreto é muito elevado, mas temos que levar em consideração que a diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura de fogo é grande também justificando a queda brusca de resistência, mas em comparação das amostras podemos verificar que a amostra de substituição de 5% foi a que teve melhores resultados os quais foram muito parecidos com a amostra 0%, já as amostras 2%, 8% e 10% apresentaram uma resistência retida menor, podendo ser justificado o estudo de LI *et al.* [10] que afirma, quanto maior a resistência característica do concreto maior a sua perda devida a sua maior pressão interna.

Faixa de temperatura de 821°C: Na amostras de 821° C como mostra a Figura 8, não ocorreram grandes perdas quando a temperatura foi mantida constante e o tempo de exposição prolongado, já em relação ao desempenho das amostras as que se sobressaíram foram as amostras de 0% e 5% tendo desempenho muito parecido, com exceção do tempo de 30 min, pois elas apresentam uma resistência um pouco abaixo das demais amostras porém quanto maior o tempo de exposição mais elas retêm resistência em relação as demais amostras.

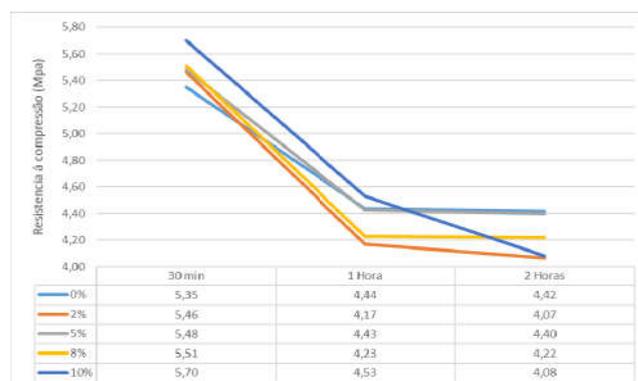


Figura 8. Resistência/Tempo faixa de temperatura de 821°C

Verificando os resultados das amostras e em relação a demais trabalhos semelhantes, a resistência retida das amostras se apresenta menor, explicações para os resultados abaixo pode ser traduzido nos materiais e os métodos de ensaio não tenham sido feito de maneira igual, principalmente em relação aos agregados graúdos pois os agregados utilizados na pesquisa são de origem granítica e este material tem uma dilatação maior a temperatura, então os corpos de prova apresentam fissuras em uma temperatura menor que os demais agregados.

Faixa de temperatura de 927°C: Em temperaturas de 927°C pode notar o que foi comentado na pesquisa YÜZER *et al.* [9], que aponta que o concreto já não apresenta perdas significativas de resistência, pois já perdeu a maioria de suas propriedades os resultados da resistência são mostrados na Figura 9. Podemos notar também pouca perda na resistência retida dos corpos de prova quando a temperatura é mantida e o tempo de exposição prolongado. Falando dos desempenhos entre as amostras as que se sobressaíram foram as de 2% e 0% com desempenho muito parecido ao fim das 2 horas de exposição ao fogo, seguidos das amostras de 8, 5 e 10% respectivamente, porém ser uma diferença gritante na resistência.

Faixa de temperatura de 1029°C: Nas temperaturas de 1029°C ficou ainda mais evidente a comprovação do estudo de YÜZER *et al.* [9], nesta pesquisa obtivemos as mesmas

condições de resultados onde não houveram diferenças significativas entre 927 e 1029°C e também quando a temperatura foi mantida e o tempo de exposição elevado os resultados estão apresentados na Figura 10.

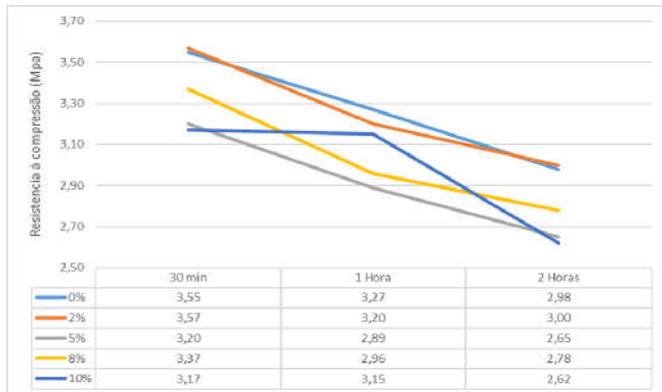


Figura 9. Resistência/Tempo faixa de temperatura de 927°C



Figura 10. Resistência/Tempo faixa de temperatura de 1029°C

Podemos ver a mínima variação de resistência entre as amostras aponta a ausência quase que total da capacidade resistente das amostras, e pode ser associado as fissuras do concreto e também dos agregados e das perdas de capacidade ligante do concreto devida a elevada temperatura, as amostras que se destacaram nessa exposição de temperatura foram as de 0% e 5% acumulando 2,12 e 2,16 Mpa respectivamente, seguido das amostras de 2 e 8% com valor de 2,08 Mpa e pôr fim a amostra de 10% com 2,05 Mpa com muito pouca diferença entre a amostra que reteve maior resistência. Para fazer uma análise dos resultados de resistência das amostras a NBR 15200 [2] prevê um fator de redução para cada temperatura que o concreto foi exposto então foi elaborado uma tabela junto de um gráfico para analisar os resultados obtidos na pesquisa, como para algumas temperaturas não havia valores na tabela foi feito a interpolação para obter os valores necessários, como a NBR 5628 [11] associa um tempo a cada temperatura de incêndio pegamos esse valor correspondente e o dividimos pela resistência do traço aos 28 dias, assim obtivemos o quanto de resistência que cada amostra reteve a determinada temperatura, os valores estão expressados na Tabela 2. Analisando os resultados da Tabela 2 e visualizando na Figura 11 podemos notar que nas temperaturas iniciais as amostras de concreto ultrapassam o fator de redução especificado em norma, com exceção da amostra 0% que já retêm mais resistência que o previsto a partir de 821°C, as demais amostras reterão maior resistência do que o previsto a partir dos 927°C. Nos estudos elaborados por SAVVA et al. [36] são retratados uma perda maior de resistência dos concretos com substituições pozolânicas e

agregados siliciosos na faixa de temperatura de 300 a 600°C, comenta também que nesta faixa de temperatura ocorre a decomposição do Ca (OH)₂ e ao chegar a temperatura de 600°C o concreto já se apresenta totalmente desidratado.

Tabela 2. Resistência retida conforme temperatura

Temperatura do Concreto °C	fc,θ/fck (Norma 15200/200)	0%	2%	5%	8%	10%
521	0,5685	0,5151	0,4244	0,5050	0,4843	0,4715
821	0,1353	0,1372	0,1186	0,1307	0,1321	0,1404
927	0,0692	0,0839	0,0695	0,0689	0,0710	0,0776
1029	0,0313	0,0544	0,0457	0,0515	0,0499	0,0505

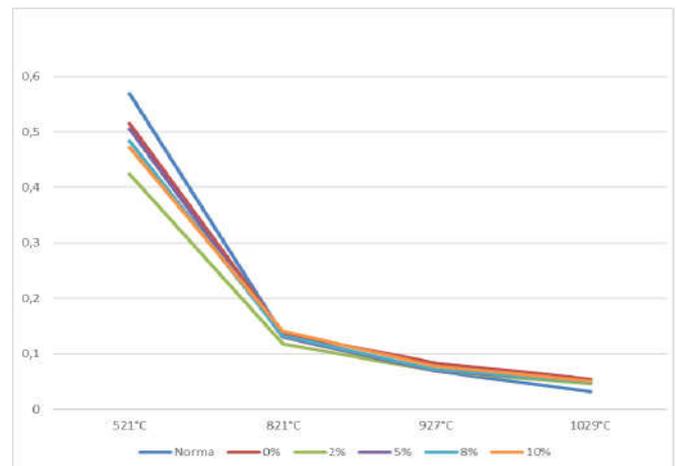


Figura 11. Fator de redução conforme temperatura atingida

Conclusão

Com os resultados da pesquisa podem ser feitas as seguintes considerações finais, a cinza utilizada na pesquisa para substituição do agregado miúdo tem uma boa capacidade pozolânica, pois formou uma maior quantidade de hidrato de silicato de cálcio (CSH) o que conferiu ao concreto maior resistência a compressão como pode ser observado nas amostras que não foram expostas a elevadas temperaturas. O traço de substituição de 2% da areia por cinza, aos 28 dias de cura e sem exposição a alta temperatura, apresentou uma resistência a compressão de quase 120% em relação ao traço sem substituição. As amostras com substituição de 5% da areia por cinza e expostas a alta temperatura, apresentaram um desempenho de resistência a compressão muito parecido com as amostras sem substituição por cinza, podendo ser aplicado na construção civil. Apesar da adição da cinza no concreto melhorar as suas propriedades mecânicas, as amostras sofreram maiores perdas dessas propriedades quando expostas a elevadas temperaturas como pode ser observado nas Figuras 7, 8, 9 e 10, condizendo com os resultados encontrados pelo autor LI et al. [10]. Todas as amostras em temperaturas iniciais tiveram perda de resistência maior do que previsto em norma, o que se reverteu em temperaturas a partir de 927°C onde a resistência retida ficou sendo maior que a prevista como apresentado na Figura 11. Para concretos sem exposição a altas temperaturas, a substituição da areia em teores de 2 a 10% por cinza, melhoraram a qualidade do concreto, bem como suas propriedades mecânicas, evidente na Figura 6. A utilização da cinza no concreto se torna viável, pois as propriedades mecânicas do concreto podem ser mantidas quanto expostas a altas temperaturas ou melhoradas quando não exposta a temperatura, e com essa utilização, a extração de areia do meio ambiente e o aterro de resíduos no caso a cinza seriam reduzidos.

Agradecimentos: O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade do Contestado – Fundo de Apoio a Pesquisa (FAP-UnC).

REFERENCES

- ASHLEY, E. Fire resistance of concrete structures. *J. Concr. Focus* (2007), p. 67-72
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- UMASABOR, R. I.; OKOVIDO, J. O. Fire resistance evaluation of rice husk ash concrete. *Heliyon*, v. 4, n. 12, pp. e01035, 2018.
- GEORGALI, B.; TSAKIRIDIS, P. E. Microstructure of fire-damaged concrete. A case study. *Cement and Concrete Composites*, v. 27, n. 2, pp. 255-259, 2005.
- HANDOO, S. K.; AGARWAL, S.; AGARWAL, S. K. Physicochemical, mineralogical, and morphological characteristics of concrete exposed to elevated temperatures. *Cement and Concrete Research*, v. 32, n. 7, pp. 1009-1018, 2002.
- DEMIRBOĞA, Ramazan; TÜRKMEN, İbrahim; KARAKOÇ, Mehmet Burhan. Thermo-mechanical properties of concrete containing high-volume mineral admixtures. *Building and Environment*, v. 42, n. 1, pp. 349-354, 2007.
- WANG, H. Y. The effects of elevated temperature on cement paste containing GGBFS. *Cement and Concrete Composites*, v. 30, n. 10, pp. 992-999, 2008.
- AYDIN, Serdar. Development of a high-temperature-resistant mortar by using slag and pumice. *Fire safety journal*, v. 43, n. 8, pp. 610-617, 2008.
- YÜZER, Nabi; AKÖZ, Fevziye; ÖZTÜRK, Leyla Dokuzer. Compressive strength–color change relation in mortars at high temperature. *Cement and Concrete Research*, v. 34, n. 10, pp. 1803-1807, 2004.
- LI, Min; QIAN, ChunXiang; SUN, Wei. Mechanical properties of high-strength concrete after fire. *Cement and concrete research*, v. 34, n. 6, pp. 1001-1005, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 5628: Componentes Construtivos Estruturais – Determinação da resistência ao Fogo. Rio de Janeiro, 2001.
- LUCCIONI, B. M.; FIGUEROA, M. I.; DANESI, R. F. Thermo-mechanic model for concrete exposed to elevated temperatures. *Engineering Structures*, v. 25, n. 6, pp. 729-742, 2003.
- SANAD, A. M. *et al.* Structural behaviour in fire compartment under different heating regimes—Part 1 (slab thermal gradients). *Fire Safety Journal*, v. 35, n. 2, pp. 99-116, 2000.
- XIAO, Jianzhuang; KÖNIG, Gert. Study on concrete at high temperature in China—an overview. *Fire safety journal*, v. 39, n. 1, pp. 89-103, 2004.
- PRUSTY, Nyanendra Kumar; PATRO, Sanjaya Kumar; BASARKAR, S. S. Concrete using agro-waste as fine aggregate for sustainable built environment—A review. *International Journal of Sustainable Built Environment*, v. 5, n. 2, pp. 312-333, 2016.
- BOUZOUBAA, Nabil *et al.* Mechanical properties and durability of concrete made with high-volume fly ash blended cement produced in cement plant. *Materials Journal*, v. 99, n. 6, pp. 560-567, 2002.
- GRAUPMANN, Olaf *et al.* Análise da resistência à compressão de concretos com adição de cinza de aterro sanitário. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 24, n. 2, 2019.
- TULASHIE, Samuel Kofi *et al.* Investigation of the compressive strength of pit sand, and sea sand mortar prisms produced with rice husk ash as additive. *Construction and Building Materials*, v. 151, pp. 383-387, 2017.
- CHINDAPRASIRT, P.; RUKZON, S.; SIRIVIVATNANON, V. Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash. *Construction and Building Materials*, v. 22, n. 5, pp. 932-938, 2008.
- IGARASHI, Shin-ichi; WATANABE, Akio; KAWAMURA, Mitsunori. Evaluation of capillary pore size characteristics in high-strength concrete at early ages. *Cement and Concrete Research*, v. 35, n. 3, pp. 513-519, 2005.
- BUI, D. D.; HU, Jing; STROEVEN, Piet. Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded Portland cement concrete. *Cement and concrete composites*, v. 27, n. 3, pp. 357-366, 2005.
- HERTZ, Kristian Dahl. Limits of spalling of fire-exposed concrete. *Fire safety journal*, v. 38, n. 2, pp. 103-116, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 9776: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7217: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7211: Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 11578: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.
- POUEY, Maria Tereza Fernandes. Beneficiamentos da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico. 2006.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER-ME 084 – Agregado miúdo – Determinação da densidade real. Brasil, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA
- CONSTRUÇÃO CIVIL – SINAPI: CADERNOS TÉCNICOS DE COMPOSIÇÕES PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO, p.16, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.
- SAVVA, A.; MANITA, P.; SIDERIS, K. K. Influence of elevated temperatures on the mechanical properties of blended cement concretes prepared with limestone and siliceous aggregates. *Cement and Concrete Composites*, v. 27, n. 2, pp. 239-248, 2005.