CENTRO UNIVERSITÁRIO FG - UNIFG

ENGENHARIA CIVIL

LEYLIANE MAGALHÃES COTRIM
LÚCIO APARECIDO NOGUEIRA DA SILVA

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO SOB INFLUÊNCIA DE TEMPERATURAS A 250 °C

Guanambi-BA
2021

LEYLIANE MAGALHÃES COTRIM
LÚCIO APARECIDO NOGUEIRA DA SILVA

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO SOB INFLUÊNCIA DE TEMPERATURAS A 250 °C

Artigo apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário FG – UNIFG, como requisito para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II.

Orientador: Otacísio Gomes Teixeira, MSc.

Guanambi-BA
2021

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO SOB INFLUÊNCIA DE TEMPERATURAS A 250 °C

LEYLIANE MAGALHÃES COTRIM
LÚCIO APARECIDO NOGUEIRA DA SILVA

Aprovado em __/__/____

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof.
Centro Universitário UNIFG

_____

Prof.
Centro Universitário UNIFG

_____

Prof.
Centro Universitário UNIFG

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO SOB INFLUÊNCIA DE TEMPERATURAS A 250 °C

Leyliane Magalhães Cotrim[1], Lucío Aparecido Nogueira Da Silva[1], Otacísio Gomes Teixeira[2]

[1] Graduandos do curso de Engenharia Civil. Centro Universitário FG – UNIFG

[2] Docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário FG – UNIFG

RESUMO

O concreto é formado pela junção de aglomerantes hidráulicos com agregados, o aglomerante utilizado é o cimento, sendo ele de vários tipos. Já, os agregados são classificados em dois tipos: Agregados miúdos, que são a areia natural e/ou pó de pedra, e agregados graúdos, sendo a pedra britada usualmente utilizada. (MOREIRA,2004)

Quando submetidos a situações extraordinárias, essa estrutura perde resistência mecânica a compressão, levando a estrutura a ter série de problemas, podendo chegar ao colapso. Procurando alternativas que aumente a resistência do concreto quando este está sob ação de temperaturas mais elevadas, o presente trabalho foi desenvolvido. Para um possível ganho de resistência, o concreto foi aditivado com dois componentes: a Sílica ativa e o Metacalim, onde os mesmos foram submetidos a temperatura de 250 ºC por um período de tempo de 24 horas, tendo por fim, sua resistência a compressão testada. Foram analisados 12 corpos de provas feitos de concreto com FCk igual a 20 MPa. Onde os corpos de prova, que teve maior resistência foram os corpos de prova composto por concreto simples, sem exposição a temperatura de 250°C no qual suportaram a tensão média de 28,66 MPa e o que teve menor desempenho foi o concreto aditivado com Metacaulim alcançando sua tensão máxima de apenas 12,6 MPa.

Palavras-chave: Temperatura; metacalim; sílica ativa.

ABSTRASCT

Concrete is formed by joining hydraulic binders with aggregates, the binder used is cement, which is of various types. On the other hand, aggregates are classified into two types: fine aggregates, which are natural sand and/or stone dust, and coarse aggregates, where crushed stone is usually used. (MOREIRA, 2004) When subjected to extraordinary situations, this structure loses its mechanical resistance to compression, causing the structure to have a series of problems, which may even collapse. Looking for alternatives that increase the strength of concrete when it is under the action of higher temperatures, the present work was developed. For a possible gain in strength, the concrete was added with two components: silica fume and Metacalim, where they were subjected to a temperature of 250 °C for 24 hours, and finally, their compressive strength was tested. Twelve specimens made of concrete with FCk equal to 20 MPa were analyzed. Where the specimens, which had the greatest strength were the specimens composed of plain concrete, without exposure to a temperature of 250°C in which supported an average tension of 28.66 MPa and which had the lowest performance was concrete with additives Metakaolin reaching its tension average of just 12.6 MPa.

Keywords: Temperature; metakaolin; sílica fume.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é formado pela junção de aglomerantes hidráulicos e agregados, sendo utilizado o cimento como aglomerante, o qual pode ser de vários tipos. Já os agregados são classificados em dois tipos: agregados miúdos, que são a areia natural e/ou pó de pedra, e agregados graúdos, sendo a pedra britada usualmente utilizada (MOREIRA, 2004).

As estruturas de concreto são reconhecidas pela boa resistência ao incêndio em virtude das características térmicas do material, tais como incombustibilidade e baixa condutividade térmica, o concreto não exalar gases tóxicos ao ser aquecido e as peças de concreto apresentarem maior massa e volume se comparados aos elementos metálicos (COSTA et al., 2002).

Porém, assim como qualquer outro material, o concreto sofre devido à elevação da temperatura. As transformações físico-químicas do concreto manifestam-se por meio da redução das propriedades mecânicas (COSTA. Et. al 2003) podendo assim, levar a estrutura a um colapso, expondo vidas e patrimônios ao risco. Para que não haja essa exposição, é necessário que um sistema de segurança contra incêndio esteja implantado nas construções em geral. Segundo VARGAS,et al (2003):

> Sistema de segurança contra incêndio consiste em um conjunto de meios ativos (detecção de calor ou fumaça, chuveiros automáticos, brigada contra incêndio, etc.) e passivos (resistência ao fogo das estruturas, compartimentação, saídas de emergência, etc.) que possam garantir a fuga dos ocupantes da edificação em condições de segurança, a minimização de danos a edificações adjacentes e à infraestrutura pública e a segurança das operações de combate ao incêndio, O quando essas forem necessárias.

O presente trabalho visa abordar a respeito da segurança contra incêndio de meios passivos, em especial no que diz a respeito à resistência mecânica a compressão de estruturas de concreto quando expostas a elevadas temperaturas, buscando alternativas para melhorar e aumentar sua resistência quando estas se encontram sob ação de temperaturas de até 250°C, temperatura máxima que a estufa utilizada para o estudo pode atingir.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a análise experimental do referido artigo, o primeiro passo foi a escolha dos materiais, realizada de acordo com a disponibilidade no laboratório em que foram moldados os corpos de prova, sendo utilizados os seguintes: Cimento CP V RS Montes Claros, areia lavada do rio São Francisco, brita 0 da pedreira Guanambi, brita 1 da pedreira Guanambi, água potável, sílica ativada Ferbasa e metacaulim HP Ultra.

O segundo passo foi a realização da análise granulométricas dos agregados, seguindo-se as orientações da ABNT **NBR NM 248** (2003). Nessa etapa, as amostras dos agregados foram colocadas nas peneiras em ordem crescente, executando o peneiramento (agitação das peneiras) por cerca de 1 minuto. Após isso foi conferido a material passante em cada peneira, e posteriormente pesou-se todo material, como pode ser visto nas imagens 1 e 2 e os seus resultados constam na tabela 1 a seguir:

Figura 1: Peneiras utilizadas para a análise granulométrica

Fonte: Autores, 2021

Figura 2: Pesagem do material passante nas peneiras

Fonte: Autores, 2021

Tabela 1: Resultados da análise granulométrica

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA				
Componentes	Modulo de finura (%)	Massa unit. solta (g/dm^3)	Massa específica (g/dm^3)	Diâmetro máx. (mm)
Cimento	-	-	3	-
Areia natural	2,57	1,57	2,67	-
Brita 0	6	1,413	2,75	9,5
Brita 1	6,99	1,482	2,76	19

Fonte: Autores, 2021.

Em seguida foi adotado o traço de 1:3:5:0,5 que tem resistência característica a compressão de 20 MPa. Constando na tabela 2: Planilha do traço de concreto, os valores referentes a dosagem em quilograma por metro cúbico de concreto.

Tabela 2*:* Planilha resumo do traço de concreto

PLANILHA RESUMO DO TRAÇO DE CONCRETO (KG/M^3)		
Material	Pesos (kg/m^3)	Umidade %
Cimento CP V ARI RS montes claros	285 kg	-
Areia lavada	837 kg	0,03
Brita 0	505 kg	0,03
Brita 1	617 kg	0,03
Metacaulim	28,5 kg	-
Sílica ativa	28,5 kg	-
Água	185 kg	-

Fonte: Autores, 2021

Foram feitos três traços de concreto, 1 traço com concreto simples, que é junção do aglomerante com agregados graúdo e miúdos, sem a adição de aditivos, 1 traço de concreto aditivado com sílica ativa e 1 traço com concreto aditivado com metacaulim. onde suas dosagens se encontram nas tabelas 3,4 e 5:

Tabela 3: Quantitativo de material usado para o traço do concreto simples.

QUANTITATIVO DE MATERIAL USADO PARA O TRAÇO DE CONCRETO SIMPLES		
Material	Pesos(kg)	Umidade%
Cimento CPV ARI RS montes claros	3,42 kg	-
Areia lavada	10,044 kg	0,03
Brita 0	6,06 kg	0,03
Brita 1	7,404 kg	0,03
Água	2,38 kg	-

Fonte: Autores, 2021.

Tabela 4*:* Quantitativo do material usado para o traço do concreto aditivado com metaculim

QUANTITATIVO DE MATERIAL USADO PARA O TRAÇO DE CONCRETO ADITIVADO COM METACAULIM		
Material	Pesos (kg)	Umidade %
Cimento CP V ARI RS montes claros	1,71 kg	-
Areia lavada	5,022 kg	0,01
Brita 0	3,03 kg	0,01
Brita 1	3,702 kg	0,01
Metacaulim	0,171 kg	-
Água	1,19 kg	-

Fonte: Autores, 2021

Tabela 5: Quantitativo do material usado para o traço de concreto aditivado com sílica ativa

QUANTITATIVO DE MATERIAL USADO PARA O TRAÇO DE CONCRETO ADITIVADO COM SILÍCA ATIVA		
Material	Pesos (kg)	Umidade %
Cimento CP V ARI RS montes claros	1,71 kg	-
Areia lavada	5,02 kg	0,03
Brita 0	3,03 kg	0,03
Brita 1	3,7 kg	0,03
Sílica ativada	0,17 kg	-
Água	1,19 kg	-

Fonte: Autores, 2021

Foram moldados um total de 12 corpos de provas, dos quais 6 foram feitos com concreto simples contendo cimento CP V ARI Montes Claros, areia lavada, brita 0, brita 1, água potável, 3 com concreto aditivado com metacaulim e os outros 3 aditivados com sílica ativa.

O primeiro traço foi feito com o concreto simples, onde foi adicionado primeiramente a brita 0 e a brita 1, em seguida foi adicionado a água, depois o cimento e por fim, a areia. Para o concreto aditivado, primeiramente adicionou-se a brita 0 e a brita 1, em seguida a água, logo após o cimento, depois o aditivo e por fim, a areia. Foram feitos dois traços de concreto aditivado, o primeiro foi aditivado com metacaulim e o segundo com sílica ativa.

Antes da modelagem dos corpos de prova, foi realizado o slump test, que é o ensaio de abatimento, onde o concreto é colocado em um molde com formato de cone oco. Sua base tem diâmetro inferior de 200 mm, superior de 100 mm e sua altura é de 300 mm, tendo como base uma placa metálica quadrada.

O concreto foi colocado em três camadas e cada camada sofreu 25 golpes com auxílio de uma haste de compactação. Posteriormente retirou-se cuidadosamente o cone e mediu a diferença entre a altura do molde e da altura do corpo de prova (ABNT, 1998) sendo obtido um concreto com abatimento de 10 mm.

Figura 3: Adensamento do concreto para realização do slump test

Fonte: Autores, 2021

Figura 4: Medição do resultado do Slump test

Fonte: Autores, 2021

Baseou-se na ABNT NBR 5738 (2018), intitulada Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, para moldar os corpos de prova, onde o processo de adensamento foi realizado com três camadas de concreto em cada corpo de prova e a cada camada aplicou-se 25 golpes. Os corpos de prova ficaram 24 horas nas formas, depois desse período houve a retirada das formas e iniciou-se o processo de cura, nesse processo os corpos de provas ficaram submergido em um tanque de água durante o período de 28 dias.

Figura 5: Corpos de prova moldados, em suas respectivas formas

Fonte: Autores, 2021

Figura 6: Corpos de prova em processo de cura

Fonte: Autores, 2021

Após o tempo de cura, os 12 corpos de prova foram retirados do tanque de água, dos quais 9 foram levados diretamente a uma estufa MED CLAVE modelo 3 com capacidade de 85 litros e temperatura de 250 °C, onde ficaram 24 horas sobre a temperatura máxima constante. Ao término das 24 horas na estufa os corpos de provas foram retirados e ficaram descansando por um período de mais 24 horas e logo após testou-se sua resistência à compressão em uma prensa hidráulica manual com indicador digital, com capacidade de até 70 tf. As figuras 7 e 8 ilustram os corpos de prova em estufa e sendo testados na prensa, respectivamente.

Figura 7: Corpos de prova alocados em estufa

Fonte: Autores, 2021

Figura 8: Testagem de um corpo de prova em prensa

Fonte: Autores, 2021

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas tabelas 6,7,8 e 9 pode-se acompanhar os resultados dos ensaios de compressão sofridos pelos corpos de prova e a figura 9 apresenta como estes corpos de prova ficaram pós rompimento e a figura 10 apresenta um gráfico com os resultados do comparativo de resistência dos corpos.

Tabela 6: Resultados do rompimento do concreto simples sem exposição a temperatura de 250°C

TABELA DE ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA COM CONCRETO ADITIVADO									
Tabela contendo resultados do ensaio de compressão do concreto simples sem exposição a temperatura de									
Corpos	Data da concretagem	Data de ruptura	Slump (mm)	Ø. C.P. (mm)	Fck (Mpa)	Cura (dias)	Ruptura		
							Carga (ton)	MPa	Média
1	26/10/2021	23/11/2021	10	100	20	28	24,4	30,5	
2	26/10/2021	23/11/2021	10	100	20	28	24,8	31,0	28,66
3	26/10/2021	23/11/2021	10	100	20	28	19,7	24,5	

Fonte: Autores 2021

Resistencia em Mpa é dada por = $\frac{F(N)}{A(mm^2)}$

Tabela 7: Resultado do rompimento do concreto simples com exposição a temperatura de 250°C

TABELA DE ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA COM CONCRETO ADITIVADO											
Tabela contendo resultados do ensaio de compressão do concreto simples com exposição a temperatura de 250°C											
Corpos	Data da concret.	Data de expo. a temperatura de pré-incêndio	Data de ret. dos cps. de prova da estufa e inic. do peri. de descanso	Data de ruptura	Slump (mm)	Ø. C.P. (mm)	Fck (Mpa)	Cura (dias)	Ruptura		
									Carga (ton)	MPa	Média
1	26/10/2021	22/11/2021	23/11/2021	24/11/2021	10	100	20	28	17,16	21,43	
2	26/10/2021	22/11/2021	23/11/2021	24/11/2021	10	100	20	28	14,13	17,65	20,46
3	26/10/2021	22/11/2021	23/11/2021	24/11/2021	10	100	20	28	17,86	22,3	

Fonte: Autores, 2021

Tabela 8: resultado do rompimento do concreto aditivado com metaculim exposto a temperatura de 250°C

TABELA DE ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA COM CONCRETO ADITIVADO											
Tabela contendo resultados do ensaio de compressão do concreto aditivado com metaculim com exposição a temperatura de 250°C											
Corpos	Data da concret.	Data de expo. a temperatura de pré-incêndio	Data de ret. dos cps. de prova da estufa e inic. do peri. de descanso	Data de ruptura	Slump (mm)	Ø. C.P. (mm)	Fck (Mpa)	Cura (dias)	Ruptura		
									Carga (ton)	MPa	Média
1	26/10/2021	22/11/2021	23/11/2021	24/11/2021	10	100	20	28	10,24	12,79	
2	26/10/2021	22/11/2021	23/11/2021	24/11/2021	10	100	20	28	9,3	11,61	12,6
3	26/10/2021	22/11/2021	23/11/2021	24/11/2021	10	100	20	28	10,73	13,4	

Fonte: Autores, 2021

Tabela 9*:* Resultado do rompimento do concreto aditivado com sílica ativa exposto a temperatura de 250°C

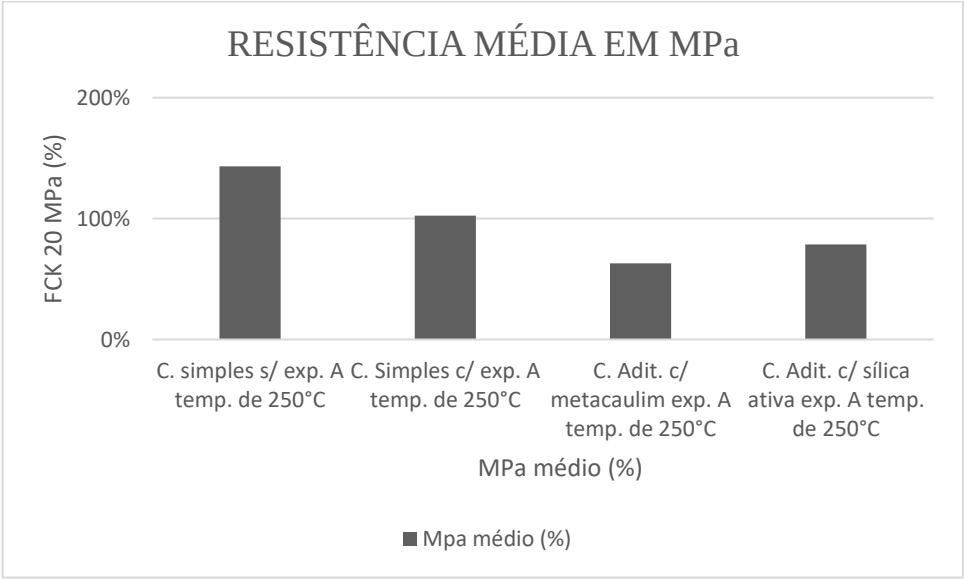
TABELA DE ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA COM CONCRETO ADITIVADO											
Tabela contendo resultados do ensaio de compressão do concreto aditivado com sílica ativa com exposição a temperatura de 250°C											
Corpos	Data da concret.	Data de expo. a temperatura de pré-incêndio	Data de ret. dos cps. de prova da estufa e inic. do peri. de descanso	Data de ruptura	Slump (mm)	Ø. C.P. (mm)	Fck (Mpa)	Cura (dias)	Ruptura		
									Carga (ton)	MPa	Média
1	26/10/2021	22/11/2021	23/11/2021	24/11/2021	10	100	20	28	15,03	18,77	
2	26/10/2021	22/11/2021	23/11/2021	24/11/2021	10	100	20	28	12,34	15,41	15,73
3	26/10/2021	22/11/2021	23/11/2021	24/11/2021	10	100	20	28	10,43	13,03	

Fonte: Autores, 2021

Figura 9: Corpos de prova após rompimento

Fonte: Autores, 2021

Figura 10: Resultado do comparativo de resistência



Fonte: Autores, 2021

Dos quatro testes que foram realizados, dois alcançaram resistência superior ao Fck que o traço do concreto exige, que foram eles: o concreto simples sem exposição à temperatura de 250°C (concreto de referência), que obteve resistência média de 28,66 MPa e o concreto simples com exposição à temperatura de 250°C, que apresentou resistência inferior ao concreto simples

sem exposição à temperatura elevada, mas que ainda assim obteve uma resistência superior ao Fck de 20 MPa, sendo ambos aprovados.

Já os concretos aditivados quando em contato com temperaturas de 250°C obtiveram um desempenho inferior ao Fck, sendo reprovada a resistência do concreto aditivado tanto com sílica quanto com metacaulim. Destes, o concreto aditivado com metaculim apresentou o pior desempenho, alcançando apenas a média de 12,6 MPa apresentando uma perda significativa de sua resistência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve o intuito de testar o uso de aditivos para melhoria da resistência do concreto quando estiver sob ação de uma temperatura de 250°C, no entanto foi comprovado que sob essa temperatura o concreto perde sua resistência à compressão, mas, apesar de perder resistência, o concreto simples ainda atende a resistência necessária. Já o concreto aditivado teve sua resistência comprometida, não atendendo ao fck do concreto, sendo o pior caso o concreto aditivado com metaculim, onde sua resistência a compressão média foi de apenas 12,6 MPa.

Pode-se explicar essa redução da resistência do matacaulim através da sua análise química, devido ao seu arranjo ser destruído pela perda de água continua, ou seja, pela desidroxilação, (ARAUJO, 2016) se apresentando em estrutura amorfa, estrutura essa que não possui simetria e seus arranjos atômicos são aleatórios (Lopes ,2011) quando estiver submetido a temperaturas mais elevadas. Quanto à sílica ativa, pode-se atribuir a sua baixa resistência à sua utilização em 10% do volume de cimento, já que em quantidades menores demostram maior resistência até os 400°C (LIMA, 2005).

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Everton Henrique Andrade de. **Estudo da amorfização do caulim para aplicação como material pozolânico**. 2016. 104 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-Rn, 2016. Cap. 2.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR NM 67**: Concreto-Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998. 8 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **5739**: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018. 13 p.

COSTA, Carla Neves *et al*. **ASPECTOS TECNOLÓGICOS DOS MATERIAIS DE CONCRETO EM ALTAS TEMPERATURAS.** 2002. 13 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de e Engenharia Civil de Estruturas e Fundações, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

COSTA, Carla Neves *et al*. Dimensionamento de estruturas de concreto armado em situação de incêndio. Métodos tabulares apresentados em normas internacionais. In: SIMPÓSIO EPUSP, 5., 2003, São Paulo. **Dimensionamento de estruturas de concreto armado em situação de incêndio. Métodos tabulares apresentados em normas internacionais.** São Paulo: 2003. v. 5, p. 1-21.

COSTA, Carla Neves. **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio.**: 2008. 74 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de e Engenharia Civil de Estruturas e Fundações, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Cap. 1.

LIMA, Rogério Cattelan Antocheves de. **Investigação do comportamento de concretos em temperaturas elevadas**. 2005. 257 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Cap. 5

LOPES, Jorge Teófilo de Barros. **Estrutura e propriedades dos materiais**: estruturas amorfas. 7. ed. Curitiba: 2011. 8 p.

MOREIRA, Amacin Rodrigues. **Apostila de tecnologia do concreto**. 2004. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica do Parana, Curitiba-Pr, 2004

REVISTA MULTIDISCIPLINAR. Montes Claros: Editorial, v. 11, 18 dez. 2013. Semestral.

VARGAS, M.R.; SILVA, V.P**. Resistência ao fogo das estruturas de aço**. Rio de Janeiro: IBS, 2003.