XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DE CONCRETO COM BORRACHA DE PNEU PARA APLICAÇÃO EM PAINÉIS DE VEDAÇÃO[1]

ALVES, C. R. (1); SALOMÃO, M.C.F (2); MOTTA, L.A.C. (3)

(1) Universidade Federal de Uberlândia, camiladralves@gmail.com
(2) Universidade Federal de Uberlândia, maria.salomao@ufu.br
(3) Universidade Federal de Uberlândia, lacastro@ufu.br

RESUMO

A presente pesquisa produziu concretos com substituição parcial do agregado natural miúdo por borracha de pneu para aplicação em painéis de vedação. A substituição foi realizada em relação ao volume de agregado, sendo um concreto referencial com 0% de substituição e outros dois traços com teores de 12,5% e 15% de borracha de pneu. As propriedades higrotérmicas dos materiais foram utilizadas como dados de entrada para simulação higrotérmica dos painéis de concreto. A partir da simulação foi possível concluir que os concretos produzidos com resíduos de borracha de pneu apresentam maior facilidade de secagem e benefícios com relação isolamento térmico no período seco comparados ao concreto referência. Apesar dos concretos com resíduo estudados possuírem propriedades higrotérmicas distintas, eles resultam em painéis com comportamento semelhante.

Palavras-chave: *Concreto com resíduo, Concreto com borracha de pneu, Comportamento higrotérmico.*

ABSTRACT

The present research produced concretes with partial replacement of the small natural aggregate by tire rubber for application in sealing panels. The substitution was made in relation to the aggregate volume, with a reference concrete with 0% replacement and two others with 12.5% and 15% tire rubber content. The hygrothermal properties of the materials were used as input data for hygrothermal simulation of the concrete panels. From the simulation it was possible to conclude that the concrete produced with tire rubber residues presents easier drying and benefits regarding thermal insulation in the dry period compared to reference concrete. Although the studied concretes have different hygrothermal properties, they result in panels with similar behavior.

Keywords*: Concrete with waste, Concrete with tire rubber, Hygrothermal behavior.*

---

[1] ALVES, C.R.; SALOMÃO, M. C. F.; MOTTA, L. A. C. Comportamento higrotérmico de concreto com borracha de pneu para aplicação em painéis de vedação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil, existe uma variedade de alternativas para utilização de pneus e fragmentos destes, um importante esforço para a resolução do problema ambiental e de saúde pública ligados ao descarte de pneus inservíveis e dos resíduos de pneu gerados pela raspagem mecânica no processo de recauchutagem. Albuquerque (2009) verificou que o aproveitamento de partículas de pneus inservíveis no concreto pode melhorar propriedades como a tenacidade e isolamento térmico e acústico. Pelisser et al. (2011) produziram concretos com substituição de 10% de areia por borracha de pneu reciclado e verificaram uma redução do módulo de elasticidade e da resistência à compressão. Resultados semelhantes foram encontrados por Eiras et al. (2014), Silveira et al. (2016) e Medina et al. (2017), em que o incremento de borracha de pneu provocou uma redução da resistência à compressão.

No que se refere a migração de umidade, Thomas e Gupta (2015) observaram uma tendência decrescente para absorção de água em misturas contendo até 7,5% de borracha de pneus descartados, porém, além de 7,5% de borracha houve um incremento na absorção de água do concreto. Para concretos com borracha utilizando cimento de alta resistência Thomas e Gupta (2016) verificaram que houve uma redução na absorção de água para misturas com até 12,5% de borracha, a partir deste teor de substituição foi observado um aumento gradual. Em relação as propriedades térmicas, Albuquerque (2009) observou que o concreto com 10% de partículas de borracha apresenta equivalência para coeficiente de expansão térmica e calor específico quando comparado ao concreto convencional, enquanto a condutividade térmica e difusividade são menores. Esta tendência foi confirmada nas verificações de Eiras et al. (2014) e Medina et al. (2017).

Neste contexto, este trabalho é parte de uma dissertação de mestrado e faz uma contribuição para o estudo da aplicação de painéis de concreto com resíduos em edificações habitacionais. Por meio de uma comparação do comportamento higrotérmico de um concreto convencional e concretos com substituição parcial do agregado natural miúdo por resíduo de borracha de pneu, o objetivo apresentado é verificar a viabilidade de utilização destes materiais em painéis de vedação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram avaliados três traços de concretos. Os traços adotados são baseados em estudo de dosagem previamente desenvolvido por Queiroz (2018) e considerando a aplicação em painéis de vedação, com abatimento de 230 ± 30 mm. Os concretos foram produzidos com cimento Portland de alta resistência inicial CP V ARI; areia natural fina (massa específica = 2460 kg/m³, dimensão máxima característica (DMC)=1,18 mm e módulo de finura (MF) = de 1,50); areia natural média (massa específica = 2530 kg/m³, DMC = 2,36 mm e MF = 2,20); agregado graúdo natural britado de origem basáltica (massa específica = 2950 kg/m³, DMC = 12,5 mm e MF = 5,88); borracha de pneu proveniente da raspagem de pneus (massa específica = 1050,4 kg/m³, DMC = 6,3 mm e MF = 4,42); e aditivo superplastificante à base de éter policarboxilato. A Tabela 1 apresenta o consumo de materiais para produção de 1m³ de concreto, bem como os resultados de resistência à compressão aos 28 dias, em que CR é o concreto referência com 0% de substituição, CB1 tem teor de 12,5% de substituição do agregado miúdo por borracha de pneu CB2 tem 15% de substituição.

Tabela 1- Consumo de materiais para produção dos concretos e resistência à compressão aos 28 dias

Traço	Cimento (kg)	Areia Fina (kg)	Areia média (kg)	Brita 0 (kg)	Borracha de pneu (kg)	Água (kg)	Aditivo (kg)	Resistência à compressão média aos 28 dias (MPa)
CR	384,6	199,99	799,97	769,2	0	207,68	2,15	44,1
CB1	384,6	199,99	699,97	769,2	43,86	207,68	1,58	17,2
CB2	384,6	199,99	679,97	769,2	52,64	207,68	1,35	11,9

Fonte: Os autores

2.1 Simulação Higrotérmica

Para avaliar o comportamento higrotérmico utilizou-se o *software* WUFI® Pro 6.3, considerando os aspectos climáticos da cidade selecionada para estudo (Uberlândia-MG). Os dados de entrada utilizados na simulação foram definidos de acordo com o local de estudo e fundamentados na EN 15026:2007. O monitoramento da camada única de concreto foi feito em três posições, sendo uma na superfície externa, uma na posição central e uma na superfície interna, considerou-se painéis com 10 cm de espessura.

As propriedades do material necessárias para a simulação higrotérmicas são: massa específica aparente (ρ); porosidade (ξ); calor específico (c); condutividade térmica (λ); resistência à difusão de vapor de água (μ); coeficiente de capilaridade (A) e curva higroscópica. De posse destes valores, do teor de umidade de saturação livre (Wf), e da umidade do material à 80% de UR do ambiente (Wref), obtidos a partir da curva higroscópica do material, o WUFI® calcula automaticamente dois coeficientes de transferência de água líquida, denominados de sucção (Dws) e de redistribuição (Dww). A Tabela 2 apresenta a relação das propriedades higrotérmicas dos concretos utilizadas como dados de entrada.

Tabela 2 – Propriedades higrotérmicas para os diferentes concretos

	Massa específica aparente	Porosidade	Calor Específico	Condutivide térmica	Fator de resistência à difusão de vapor de água	Teor de umidade de referência	Umidade de saturação livre	Coeficiente de absorção de água
Símbolo	ρ	ξ	c	λ	μ	Wref	Wf	Avalor
Unidade	kg/m³	m³/m³	J/kg.K	W/m.K	-	kg/m³	kg/m³	kg/m².√s
CR	2228	0,1518	1000	1,457	172	132,23	139,77	0,01455
CB1	1908	0,1667	1000	0,977	60	111,06	136,03	0,00908
CB2	1744	0,2047	1000	0,927	55	124,15	136,82	0,00891

Fonte: Os autores

Utilizou-se a inclinação de 90° e edificações com altura até 10m. Parâmetros de transferência à superfície, tais como, resistência superficial externa (Rse) e interna (Rsi), absortância (a) e refletividade foram definidos segundo recomendações e padrões estabelecidos pelo software e pela ABNT NBR 15220:2005. Para o clima exterior foi utilizado o arquivo climático Typical Meteorological Year (TMY) com base na medição da estação meteorológica do Instituto Nacional de Metereologia (INMET) na cidade selecionada para estudo entre os anos de 2000 e 2010 (RORIZ, 2012). O clima interior foi obtido com base na norma DIN EN 15026: 2007. A simulação foi realizada considerando um período de três anos. Foram definidas, conforme estabelece a ANSI/ASHRAE 160: 2009, a condição inicial de temperatura

de 20°C e a umidade inicial de 80% de UR, que corresponde à umidade de construção.

2.2 Dados de saída e pós-processamento

Os dados de saída do WUFI® Pro 6.3 são fundamentados na EN 15026:2007 e os resultados das simulações são apresentados na forma de relatório de dados, de acordo com o passo de tempo selecionado pelo usuário e no período desejado (ZANONI, 2015). Neste estudo, os dados de saída utilizados na análise foram irradiação solar na superfície; precipitação; fluxos de temperatura e umidade; e teor de umidade. O estudo pós-processamento teve como foco as condições de exposição aos agentes climáticos e a análise da resposta higrotérmica dos painéis de concreto.

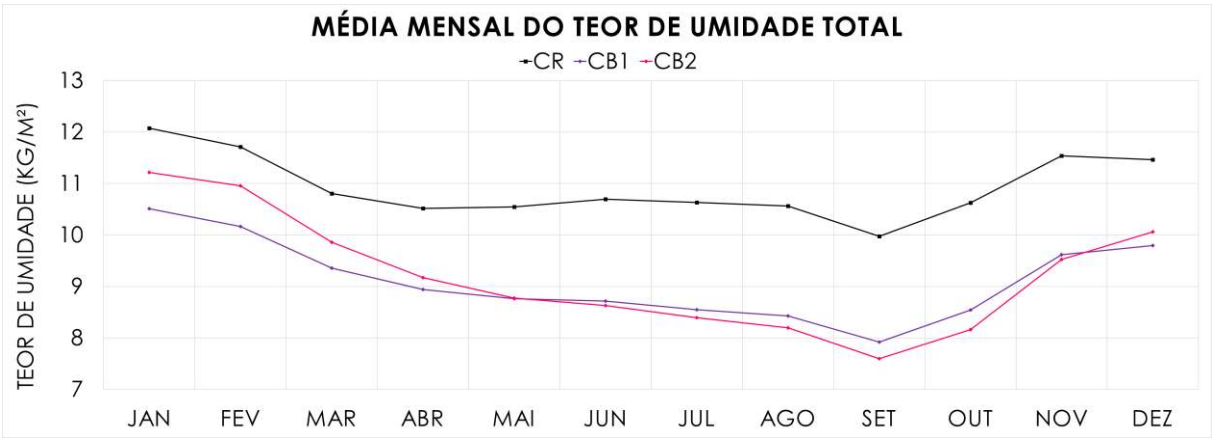
De acordo com o arquivo climático utilizado na simulação, o dia 19/03 é o mais chuvoso (5,71 L/m²) e a maior temperatura (34,40°C) ocorre no dia 23/09. Estas duas datas foram selecionadas para avaliar o comportamento dos painéis de concreto no período chuvoso e seco.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

Para o clima exterior da cidade simulada, a maior intensidade de chuva e a maior irradiância solar ocorrem na orientação Norte. Diante disso, os resultados apresentados neste trabalho se referem a esta orientação.

Nos dados de saída da simulação higrotérmica, os resultados de teor de umidade total do sistema representam a massa de água (kg) em 1m² de área do sistema. O comportamento médio mensal do teor de umidade total (kg/m²) de cada concreto estudado são apresentados na Figura 1. Os concretos com borracha de pneu apresentaram menor conteúdo de umidade ao longo do ano, comparados com o concreto referência. É possível observar uma mudança de comportamento das curvas CB1 e CB2 nos períodos chuvoso e seco. O traço CB1 tem menor conteúdo de umidade no período de dezembro a maio, nos outros meses apresenta maior conteúdo de umidade que o traço CB2.

Figura 1 - Média mensal da umidade total nas paredes de concreto (kg/m²)



Fonte: Os autores

O concreto CR apresenta menor porosidade entre os concretos simulados e sua capilaridade é maior que a dos traços com borracha de pneu. Verifica-se que,

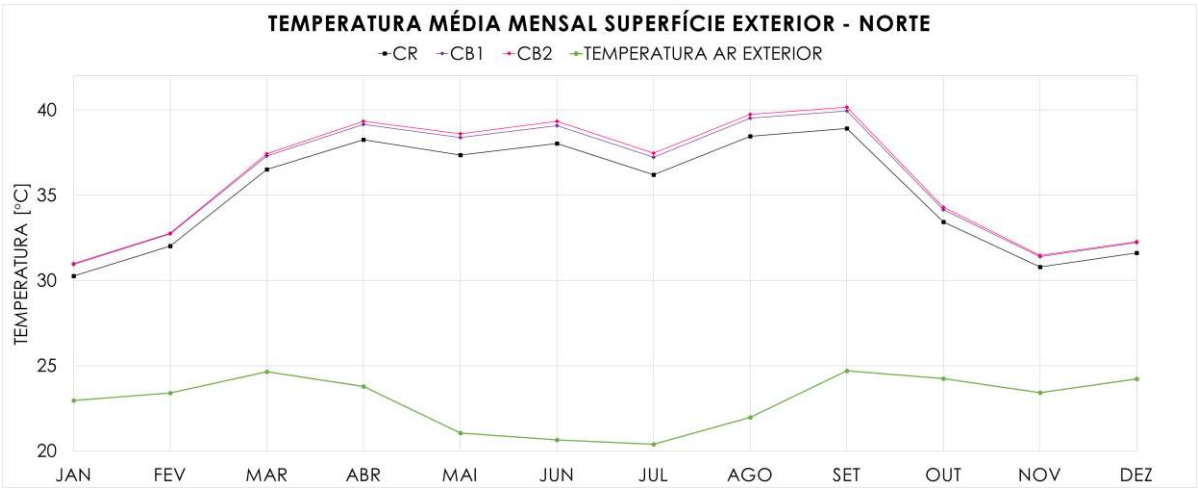
mesmo no período mais seco, não foi observada grande diminuição do conteúdo de umidade no painel com este concreto. Diante disto, uma vez que, a umidade é um dos principais agentes de degradação das edificações, a longo prazo, este acumulo de água no interior do painel pode afetar a durabilidade do elemento construtivo.

Por outro lado, os paineis de concretos CB1 e CB2, que são mais pororos e mais permeáveis ao vapor de água, apresentam os menores teores de umidade . Uma observação importante é a de que o concreto mais poroso (CB2) armazena maior conteúdo de umidade nos meses chuvosos, mas perde mais água que CB1 e apresenta os menores teores nos meses mais secos. Isto pode indicar que o incremento de borracha de pneu beneficia o fenômeno de secagem. Outro ponto positivo, em termos de profundidade de penetração de água, é a baixa absorção capilar, pois, a chuva dirigida é a principal forma de ingresso de umidade neste sistema.

Para avaliar a influência da temperatura nos painéis determinou-se a temperatura média mensal para as superfícies exterior (Figura 2) e interior (Figura 3) dos painéis de concreto. Na superfície exterior os concretos têm comportamento parecido, temperatura superficial maior que a temperatura do ar exterior. O concreto CR apresentou as menores médias mensais, as maiores foram apresentadas em CB2. Com relação a temperatura da superfície interna, observou-se valores muito próximos para as médias mensais. Todos eles são superiores à média da temperatura exterior.

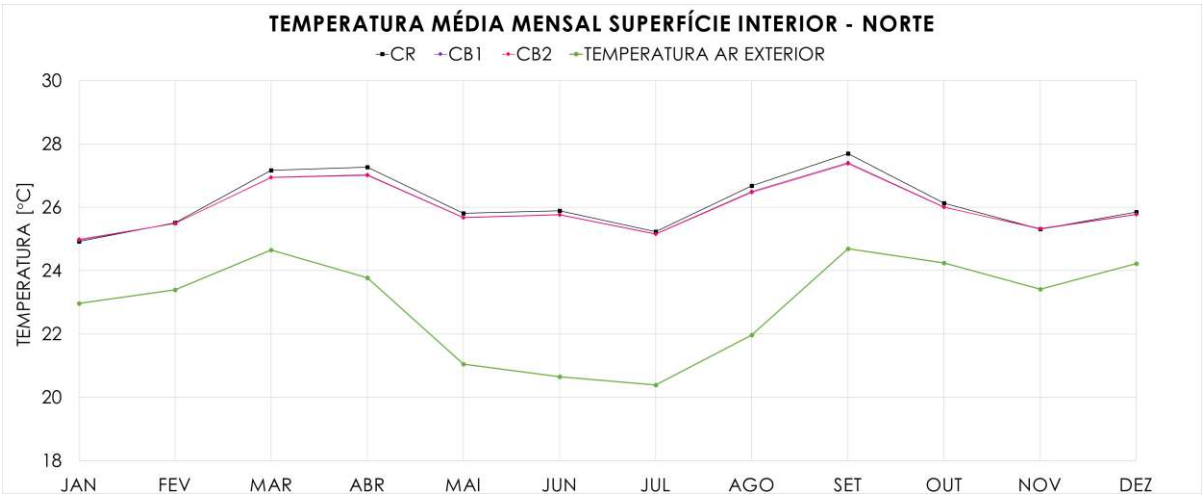
De maneira geral, o comportamento dos painéis de concreto no período chuvoso e no período seco mostram que a condição de umidade dos elementos construtivos influenciam as transferências de calor. Comparando as temperaturas externas e internas, no período seco o isolamento térmico dos paineis de concreto é mais eficiente.

Figura 2 - Temperaturas médias (°C) mensais para a superfície exterior



Fonte: Os autores

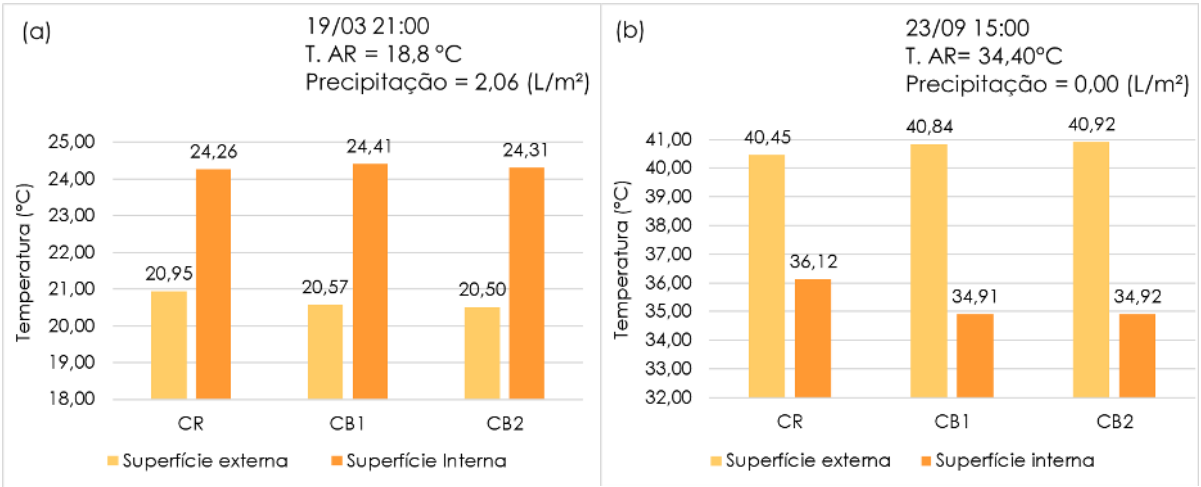
Figura 3 - Temperaturas médias (°C) mensais para a superfície interior



Fonte: Os autores

A Figura 4 apresenta as temperaturas para a hora de maior chuva do dia mais chuvoso do ano e para a hora de maior temperatura do dia mais quente do ano. Durante a chuva (Figura 4-a), a temperatura na superfície externa para todos os concretos é muito parecida, entre 20,50°C (CB2) e 20,95°C (CR). Na superfície interior são observadas as maiores temperaturas, 24,26°C (CR), 24,41°C (CB1) e 24,31°C (CB2). Na hora de maior temperatura (Figura 4-b), os concretos com borracha têm as maiores temperaturas para a superfície externa, 40,84°C (CB1) e 40,92°C (CB2), mas muito semelhantes ao CR. Na superfície interna, observa-se que a parede com concreto CR tem a maior temperatura (36,12°C). Os concretos CB1e CB2 apresentam as menores temperaturas de 34,91°C e 34,92°C, nesta ordem.

Figura 4 - Temperatura (°C) superficial para a hora de maior chuva (a) e temperatura (°C) superficial para a hora de maior temperatura(b).



Fonte: Os autores

Ainda que a diferença seja pequena, os painéis de concretos com resíduos apresentaram melhor comportamento térmico em comparação ao painel de CR. Na hora de maior chuva, a maior diferença de temperatura entre as superfícies externa e interna ocorre no painel de concreto CB1 (3,84°C). Na hora de maior temperatura, a maior diferença foi verificada no painel de concreto CB2 (6°C). Ressalta-se que

para outras aplicações, é preciso considerar que os concretos dosados com borracha de pneu apresentaram valores inferiores de resistência à compressão (Tabela 1).

5 CONCLUSÕES

Este estudo analisou o comportamento higrotérmico de concretos com borracha, proveniente do processo de recauchutagem de pneus, como substituto do agregado natural miúdo, para aplicação em painéis de vedação. Diante dos resultados obtidos foi possível chegar as seguintes conclusões:

Apesar dos concretos com borracha de pneu serem mais porosos, mesmo no período de maior chuva, as médias mensais do teor de água total dos painéis com estes concretos são as menores. O concreto mais poroso (CB2) armazena maior conteúdo de umidade nos meses chuvosos, porém perde maior quantidade de água que CB1, apresentando menores teores nos meses mais secos. Este comportamento pode indicar menor penetração de água proveniente de chuva dirigida devido à baixa absorção capilar destes concretos e que, além disso, o incremento de resíduo confere maior facilidade de secagem aos concretos com borracha de pneu.

Ainda que as diferenças de temperaturas observadas nos painéis de concreto referência e concretos com resíduos seja muito pequena, foram os concretos com resíduos que registraram maior isolamento térmico, como resultado das suas características físicas e menor condutividade térmica. Além disso, os resultados analisados no pós-processamento indicaram uma pequena mudança no período seco, com melhor isolamento, confirmando a interferência do teor de umidade no comportamento térmico destes materiais.

Por fim, conclui-se que concretos com resíduos de borracha de pneu podem ser utilizados para aplicação em painéis de vedação e, em comparação ao painel de concreto referência, apresentam benefícios com relação ao conforto térmico em edificações com este sistema construtivo. Outra vantagem dos painéis de concreto com borracha de pneu é que ao longo de todo ano acumulam menor quantidade de umidade em seu interior, ainda que sejam necessários estudos mais aprofundados sobre a durabilidade destes materiais, este pode ser considerado um ponto positivo em comparação ao concreto CR.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. C. **Estudo das Propriedades de Concreto Massa com Adição de Partículas de Borracha de Pneu**. 2009. 173 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

ANSI/ASHRAE - American National Standards Institute & American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers. **ANSI/ASHRAE 160 - Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings**. Atlanta, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15220-3**. Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2005.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN EN 15026** Hygrothermal performance of building components and building elements – Assessment of moisture transfer by numerical simulation. CEN, Brussels, Belgium, 2007.

EIRAS, J.N., SEGOVIA, F., Borrachero, M.V., Monzo, J., Bonilla, M., Paya, J. Physical and mechanical properties of foamed Portland cement composite containing crumb rubber from

worn tires. **Materials & Design**, [s.l.], v. 59, p.550-557, jul. 2014. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.03.021

MEDINA, N. F., MEDINA D. F., HERNÁNDEZ-OLIVARES, F., NAVACERRADA, M.A.. Mechanical and thermal properties of concrete incorporating rubber and fibres from tyre recycling. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 144, p.563-573, jul. 2017. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.196

PELISSER, F., ZAVARISE, N., LONGO, T.A., BERNARDIN, A. M. Concrete made with recycled tire rubber: Effect of alkaline activation and silica fume addition. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 19, n. 6-7, p.757-763, abr. 2011. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.11.014

QUEIROZ, I. C. C. **Análise das propriedades do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de borracha de pneus para aplicação em paredes de concreto.** 2018. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. ANTAC. São Carlos-SP, 2012.

SILVEIRA, P. M., ALBUQUERQUE, M.C. F. CASSOLA, S., BORTOLUCCI, A.A., PAULLI, L., VILLA, F. M. D. Estudo do comportamento mecânico do concreto com borracha de pneu. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [s.l.], v. 21, n. 2, p.416-428, jun. 2016. FapUNIFESP (SciELO). https://doi.org/10.1590/S1517-707620160002.0039

THOMAS, B. S., GUPTA, R. C. Long term behaviour of cement concrete containing discarded tire rubber. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 102, p.78-87, set. 2015https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.072

THOMAS, B. S., GUPTA, R. C. Properties of high strength concrete containing scrap tire rubber. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 113, p.86-92, fev. 2016. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.019

ZANONI, V.A.G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. 313 f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB, Brasília, DF, 2015.