AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E DA DURABILIDADE DE ARGAMASSAS AUTONIVELANTES COM ADIÇÃO DE FIBRAS

Tema: Sustentabilidade, vida útil e meio ambiente.
Grupo: 1

SARAH H. LOPES DA SILVA[1], ANA CAROLINA SCHREINER[2], CAROLINE KEIKO TOMINAGA[2], MARIENNE M. M. COSTA[3], MARCELL M. C. MACENO[4]

[1]Profª. Msc.ª, Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná/UTFPR, sarahh@utfpr.edu.br
[2]Estudantes do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná/UFPR, anacarolina.schreiner@yahoo.com.br, keiko.ct@hotmail.com
[3]Profª. Drª., Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná/UFPR, mariennemaron@gmail.com
[4]Prof. Dr., Engenharia de Produção, Universidade Federal do Paraná/UFPR, marcell.maceno@gmail.com

RESUMO

A gestão de materiais da construção, bem como a vida útil dos mesmos condicionam os impactos ambientais decorrentes da produção, do uso e do descarte. Nesse sentido, nesta pesquisa foram avaliados os ciclos de vida e a durabilidade, quanto à retração por secagem, de argamassas autonivelantes com adição de fibras de tipos e teores diferentes. Dos resultados, verificou-se que as argamassas com fibras de celulose, apresentaram maiores valores de emissões, porém significativa melhora no desempenho à durabilidade. Sendo assim, verificou-se a importância considerar os impactos ambientais provenientes da produção e uso dos materiais, onde há influência da durabilidade.

Palavras-chave: avaliação do ciclo de vida, argamassa autonivelante, fibras, retração por secagem.

LIFE CYCLE AND DURABILITY ASSESSMENT OF SELF-LEVELING MORTAS WITH FIBER ADDITION

ABSTRACT

The management of building materials as well as their useful life condition the environmental impacts resulting from production, use and disposal. In this sense, this study evaluated the life cycles and the durability, regarding the drying retraction, of self-leveling mortars with addition of fibers of different types and contents. From the results, it was verified that the mortars with cellulose fibers, presented higher values of emissions, but significant improvement in the performance to the durability. Thus, it was verified the importance to consider the

environmental impacts from the production and use of the materials, where there is influence of the durability.

Key-words: life cycle assessment, self-leveling mortar, fiber, drying shrinkage.

1. INTRODUÇÃO

A argamassa autonivelante foi desenvolvida a partir de uma variação do concreto auto adensável. Ela apresenta como uma de suas características principais a capacidade de se auto adensar e nivelar sobre as superfícies em que é aplicada, apenas pela ação da gravidade. Para isso, apresenta alta fluidez e estabilidade que são garantidas por uma formulação complexa que pode ser composta por diversos tipos de cimentos, adições e aditivos (LOPES DA SILVA, 2016)[(1)]. No entanto, ressalta-se que a grande quantidade de finos, que é comum nesse tipo de formulação, pode promover a formação de poros vazios capilares mais estreitos que potencializam o fenômeno de retração resultando no aparecimento de fissuras (GIROTTO, 2012)[(2)].

Para amenizar tal manifestação patológica são propostos muitos métodos e dentre eles têm-se o emprego de fibras sintéticas e naturais nos compostos cimentícios. Essas fibras atuam essencialmente como pontes de transferência de tensões e trabalhando também como controle do processo de fissuração do material (redução de macro fissuras e aumento da micro fissuração – Figura 1). Nesse sentido, muitos pesquisadores puderam atestar a ação das fibras sintéticas, de polipropileno (PP) e acetato de polivinila (PVA), que adicionadas em baixos teores controlaram a propagação e, consequentemente, reduziram a dimensão das fissuras no estado fresco dos compostos (GRZYBOWSKI e SHAH, 1990; BLOOM E BENTUR, 1995; SOROUSHIAN *et al*., 1995; SOMAYAJI, 2001; BRANDT, 2008; NAAMAN *et al*., 2005; PASSUELLO *et al*., 2009)[(3,4,5,6,7,8 e 9)].

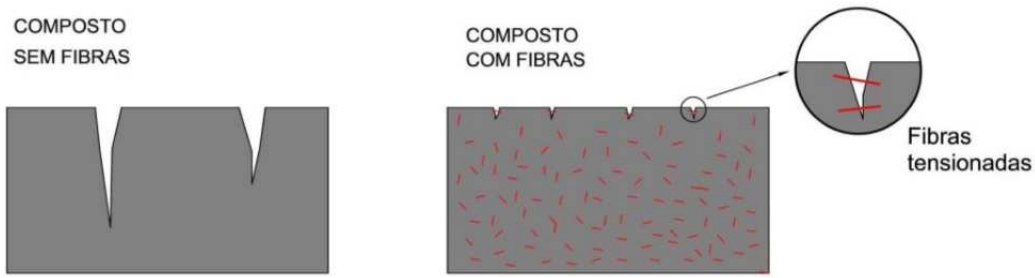
As fibras naturais também podem atuar no controle de fissuração pela transferência de tensões no estado plástico (BOGHOSSIAN e WEGNER, 2008)[(10)]. Ademais, por serem constituídas como micro tubos de celulose podem contribuir na cura interna dos compósitos retendo parcialmente e distribuindo melhor a água de amassamento sem prejudicar a fluidez do material, e reduzindo a perda dessa água para o meio externo ou substrato (RETTENMAIER e SÖHNE, 2012)[(11)].

Do emprego de fibras também é necessário observar o módulo de elasticidade e resistência à tração dos diversos tipos, pois essas características poderão aumentar a capacidade de controle de fissura e a resistência dos compostos que as contém. Ainda mais, é preciso considerar a superfície dos filamentos das fibras que pode lhes conferir maior aderência à matriz cimentícia e consequentemente melhoria nos citados desempenhos dos materiais. Desse modo, ressalta-se que as fibras de celulose devem apresentar maior aderência à matriz cimentícia que as fibras sintéticas, pois as fibras naturais possuem superfície altamente fibrilada e, portanto rugosa, enquanto que as demais apresentam superfície mais uniforme e menos rugosa (RETTENMAIER e SÖHNE, 2012; BARGUIGIANI, 2013)[(11 e 12)].

Neste trabalho foi avaliada a retração por secagem de formulações de argamassa autonivelante com fibras sintéticas (PP) e naturais (celulose). Portanto, compreende-se que

há uma atuação das fibras tanto no estado fresco quanto endurecido, mas que nesta pesquisa considerou-se apenas as consequências neste último estado.

Figura 1 - Esquema representativo da ação das fibras nos compósitos cimentícios.



Fonte: Lopes da Silva (2016)[1].

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental da presente pesquisa foi particionado em duas etapas, sendo elas a modelagem do ciclo de vida e o ensaio acelerado de eflorescência de formulações de argamassas de revestimento com adição de fibras de celulose, respectivamente.

2.1. MATERIAIS

Foi utilizado o cimento CPV-ARI, que possui como característica sua alta resistência inicial. O objetivo do uso da cinza volante (CV) na pesquisa foi de promover melhorias na viscosidade da argamassa, além de ajudar no preenchimento de espaços vazios, e se comportando assim como fíler para a mistura. Ressalta-se que a CV utilizada nesta pesquisa é mais grossa que o cimento, mas ainda assim pode contribuir para a melhoria da granulometria dos materiais anidros que compõem a argamassa.

Como agregado miúdo, foi utilizada uma areia natural de cava, com massa específica de 2,63 g/cm³, em condição de superfície saturada seca, e massa unitária de 1,54 g/cm³. Ademais, foram utilizados dois aditivos, o superplastificante (SP) e o modificador de viscosidade (VMA). O primeiro tem composição básica de solução de policarboxilato em meio aquoso, e o VMA é um estabilizador orgânico. Por fim, apresenta-se as principais informações das fibras utilizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados técnicos das fibras.

Tipo	Cód.	Φ	Comp.	Densidade	Resist. à tração	Mód. de elast.
Polipropileno	PP	12mm	8 mm	0,091 g/cm3	450 MPa	4 GPa
Celulose	C	20µm	200µm	0,105 a 0,160 g/cm3	125 a 500 MPa*	10 a 40 GPa*

(-) Não consta nas informações do fabricante; (*) (BENTUR e MINDES, 1990)[13]

2.2. MÉTODOS

2.2.1. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

As formulações de argamassa autonivelante foram analisadas conforme as prescrições da série de normas ISO 14040[14]. A avaliação contemplou o ciclo de vida das argamassas do "berço ao portão". Ou seja, os dados para o cálculo do impacto ambiental foram referentes às etapas de extração de matéria prima até o processo de manufatura das argamassas. Para a modelagem da ACV de diferentes tipos de argamassas, foi utilizado o software *Simapro*, foi adotada a base de dados *Ecoinvent*, e a metodologia de cálculo utilizada foi a *Impact 2002+*. Na Tabela 2 são apresentadas as condições de contorno da modelagem de ACV do presente estudo.

Tabela 2 – Condições de contorno do estudo de ACV.

Objetivo	Identificar e avaliar os impactos ambientais do ciclo de vida de argamassas autonivelantes
Público-alvo	Comunidade acadêmica e Profissionais da Construção Civil
Função	Extração da matéria prima e Produção de argamassas de revestimento
Unidade Funcional	Produzir 1 Kg de argamassa
Sistema de produto	Berço ao Portão
Limites do sistema	Foi desconsiderada a logística dos insumos.
Categorias de impacto	Aquecimento global (kg de CO_2 equivalente); Depleação da camada de ozônio (kg de CFC-11 eq); Energias não-renováveis (MJ primary)

FONTE: os autores.

Em razão das bases de dados serem de origens estrangeiras foram escolhidos materiais da categoria "RoW" (Rest of the World), a qual engloba resultados do mundo exceto Europa, já que não haviam materiais especificamente brasileiros. Em virtude de não haver cimentos na base de dados que se equiparam em sua composição com os cimentos brasileiros, foi adotada a emissão de CO_2 do cimento CPV-ARI disponível na declaração ambiental de produto (EPD – *Environmental Product Declaration)* emitida por uma cimenteira brasileira (VC, 2012)[15]. O mesmo foi feito para o cálculo dos impactos dos aditivos e fibras de polipropileno, com base nas EPDs emitidas por fabricantes (DBC, 2014; EFCA, 2015; MAPEI, 2017)[16, 17 e 18].

2.2.2. Ensaio retração de secagem

Para realização da pesquisa foi utilizada a formulação de referência (REF), desenvolvida por Lopes da Silva (2016)[1] sob as premissas de desempenhos estabelecidos nos estados fresco e endurecido para argamassas de piso industrial. Os teores de fibras adicionados seguiram recomendações dos fabricantes, com variações a partir destas. Ressalta-se que foram adotados 4 teores de adição para as fibras de celulose, sendo que dois são os mesmos da fibra sintética e os outros dois de indicações do fabricante da fibra de celulose. Portanto, apresenta-

se na Tabela 3 os códigos e as descrições das formulações nas quais apresenta-se os teores de adição em percentagem da massa de cimento, e em massa de fibra por volume de argamassa.

Para obtenção da variação dimensional, foi utilizado o método de medição e cálculo da variação prescritos na NBR 15261 (ABNT, 2005)[19]. Em relação ao procedimento de ensaio da norma optou-se por adiantar a desmoldagem para 24h pelo rápido endurecimento do material, e as leituras para as idades de 1, 7, 14, 21 e 28 dias para melhor análise do fenômeno de retração ao longo dos 28 dias.

Tabela 3 – Códigos e descrições das formulações de argamassa.

Código	Descrição	Teor de fibras (g/m3)
REF	Formulação referência sem adição de fibras	-
C011	Formulação com adição de 0,11% de fibras de celulose	0,85
C013	Formulação com adição de 0,13% de fibras de celulose	1
C070	Formulação com adição de 0,70% de fibras de celulose	5,4
C200	Formulação com adição de 2,00% de fibras de celulose	15,38
PP011	Formulação com adição de 0,11% de fibras de polipropileno	0,85
PP013	Formulação com adição de 0,13% de fibras de polipropileno	1

FONTE: os autores.

Como critério de variação dimensional máxima, foi utilizado como referência a pesquisa de Lessa e Coutinho (2013)[20], na qual foi especificado que a retração máxima aceitável para argamassas autonivelante seria de 0,6 mm/m em 28 dias.

Com relação aos critérios de mistura da argamassa autonivelante, foi notado por Martins (2009)[21] que a homogeneização apenas dos materiais secos antes da adição de parcelas da água é necessária, de forma que ocorra um melhor umedecimento de toda a formulação. Feito isso, os aditivos foram adicionados de forma que primeiro ocorresse a dispersão dos materiais pelo aditivo SP, seguido do VMA para promover a coesão final da mistura. Ademais, baseado no estudo de França e Pileggi (2015)[22], que afirmaram que a melhor dispersão das fibras ocorre em um estado mais fluido da argamassa, a adição das fibras foi realizada como última etapa do procedimento de mistura.

Além dos procedimentos já listados, foram realizados também os ensaios de densidade de massa e teor de ar incorporado nas formulações de argamassa autonivelante, segundo a ABNT NBR 13278 (2005)[23] afim de caracterizar as argamassas no estado fresco. Porém, devido à alta fluidez delas, não foi necessário o adensamento com golpes para o ensaio.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1. ACV

A partir da modelagem do ciclo de vida das argamassas, pode-se obter os seguintes resultados (Tabela 4):

Tabela 4 – Impactos ambientais.

Categoria de impacto	Unidade	REF	C011	C013	C070	C200	PP011	PP013
Depleação da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	1,64E-08	1,64E-08	1,64E-08	1,62E-08	1,56E-08	1,65E-08	1,63E-08
Aquecimento Global	kg CO2 eq	3,35E-01	3,36E-01	3,36E-01	3,39E-01	3,47E-01	3,36E-01	3,35E-01
Energias não-renováveis	MJ primary	1,96E+00	1,97E+00	1,97E+00	2,02E+00	2,13E+00	1,99E+00	2,00E+00

Percebe-se que na categoria de impacto de depleação da camada de ozônio com o aumento do teor de adição das fibras de celulose ocorre a redução da emissão de CFC^{-11}. Este comportamento também é observado de forma sutil para as formulações com fibra PP. No entanto, quanto as demais categorias verificaram-se o aumento dos impactos com o aumento do teor de fibras.

Em especial, quanto à emissão de CO_2 cabe ressaltar que as fibras de celulose são provenientes da polpapação da madeira e que, portanto, deve-se considerar a fixação de carbono decorrente do processo de desenvolvimento das árvores. Como verificado por alguns autores (OLIVEIRA *et al*., 2011; DALLAGNOL *et al*., 2011; FREITAS JUNIOR, 2017)[24, 25 e 26], em razão do processo de fotossíntese, a madeira durante seu desenvolvimento armazena uma quantia de carbono significativa. Essa quantia pode representar até aproximadamente 45% de sua massa, conforme a espécie e a parte da árvore que se analisa. Sendo assim, já foi verificado que o emprego da madeira, e de seus derivados, como parte dos materiais de construção pode mitigar até 44% do CO_2 emitido quando da sua extração e beneficiamento para uso.

Dessa forma, pode-se afirmar que a utilização das fibras de celulose se torna mais interessante do ponto de vista ambiental, pois o emprego destas nas argamassas pode contribuir na redução das emissões de CO_2 calculadas inicialmente pelo software de ACV. Explicita-se que as bases de dados não consideram a fixação de carbono e que do valor encontrado deve-se avaliar a quantidade de carbono fixado no material, por meio de ensaios de composição química, e realizar a subtração do valor de gás carbônico emitido.

3.2. Ensaio de retração por secagem

Após o acompanhamento das formulações estudadas na pesquisa por 28 dias, chegaram-se aos seguintes resultados de variação dimensional expostos na Tabela 5 e na Figura 2.

Notou-se que apenas as argamassas com fibra de celulose em sua composição apresentaram variações dimensionais inferiores ao estabelecido como aceitável, de 0,6 mm/m. O aumento do seu teor contribuiu diretamente para a redução da retração das formulações, sendo aquela com adição de 2,0% com variação dimensional quase nula. Nota-se ainda que, de modo geral, que essas argamassas apresentaram maior teor de ar incorporado, mas que ainda assim tiveram menor retração em relação às demais. Isso prova que embora essas fibras possuam menor comprimento, maior módulo de elasticidade, e menor resistência à tração elas atuam verdadeiramente como os micro tubos que ajudam na distribuição e controle internos da água dentro da mistura controlando, portanto, os efeitos da retração de secagem. Além disso, o controle da retração também pode ter sido potencializado devido à característica da superfície desse tipo de fibra, ou seja, pode-se dizer que essas fibras apresentaram maior aderência à matriz cimentícia conferindo à esta maior resistência à fissuração por distribuição das tensões.

As argamassas PP013 e PP011, apesar de mostrarem resultado no controle de retração em relação a formulação de referência, obtiveram variação dimensional superior a 6 mm/m, saindo do limite estabelecido por Lessa e Coutinho (2013)[20].

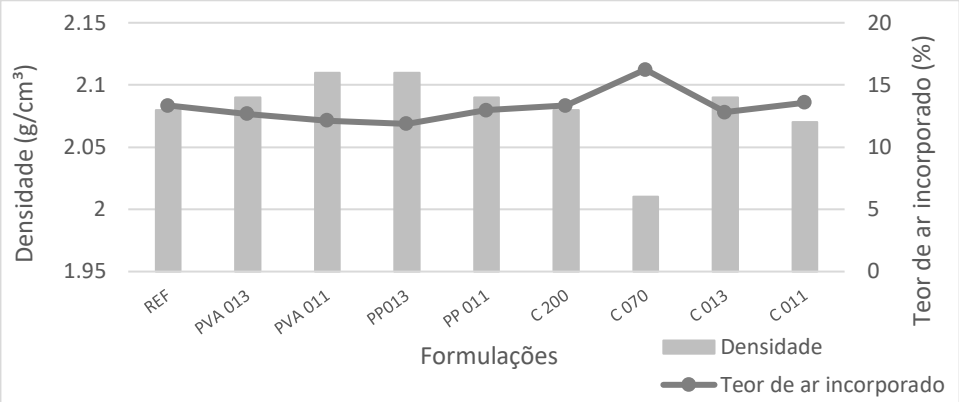
Tabela 5 – Retração por secagem aos 28 dias das argamassas formuladas.

Formulação	Retração por secagem aos 28 dias (mm/m)
C200	0,05
C070	0,07
C013	0,39
C011	0,50
PP013	0,71
PP011	0,85
REF	0,86

FONTE: os autores.

ISSN 1984-8757

Figura 2 - Dados do teor de ar incorporado e densidade.



4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados, foi possível concluir que:

a) O emprego de fibras naturais e sintéticas aumenta as emissões de CO_2 e o consumo d energias renováveis considerando a etapa do berço ao portão do ciclo de vida das argamassas;

b) As fibras de celulose possuem um teor de CO_2 fixado resultante do processo de fotossíntese da madeira da que extraídos. Sendo assim, faz-se necessário conhecer este dado para fazer a subtração dos valores de emissão de gás carbônico final;

c) O limite de variação dimensional máximo determinado nesta pesquisa não foi obtido para as formulações com as fibras sintéticas. No entanto, pode-se perceber que ainda assim houve o controle de retração visto que a maioria dessas argamassas apresentou variações dimensionais menores que da argamassa REF;

d) O emprego de fibras de celulose contribuiu significativamente no controle do processo de retração para todos os teores de fibra, sendo o aumento do teor de fibra favorável a diminuição da retração;

e) Como houve um comportamento favorável das argamassas com fibras quanto à retração por secagem, pode-se inferir que mesmo que essas apresentem maiores emissões de poluentes até sua produção, haverá um balanço de emissões quando considerada a vida útil desses materiais. Ou seja, as argamassas que apresentarem menor retração, terão uma vida útil maior, o que acarreta na redução de emissão e deposição de resíduos sólidos ao final da vida do produto;

f) Explicita-se que a ferramenta do ACV ainda é limitada para aplicações em materiais de construção, pois as bases de dados ainda se mostram incompletas para a realização de uma modelagem o mais realista.

5. AGRADECIMENTOS

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), ao PPGECC (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil) e ao Laboratório de Tecnologia de Argamassas (LATECA) do DCC (Departamento de Construção Civil) da Universidade Federal do Paraná, e à empresa produtora das fibras pelo financiamento desta pesquisa. À Universidade Tecnológica Federal do Paraná por disponibilizar o software para modelagem do ciclo de vida.

6. REFERÊNCIAS

1. LOPES DA SILVA, S. H. **Desenvolvimento de formulações de argamassas autonivelantes para pisos e avaliação da retração por secagem**. Dissertação de Mestrado em Construção Civil – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

2. GIROTTO, L. S. **Investigação da retração plástica e da fissuração da argamassa do concreto auto-adensável**. Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista, 2012.

3. GRZYBOWSKI, M.; SHAH, S.P. **Shrinkage cracking of fiber-reinforced concrete**. ACI Mater J, 1990; 87: p. 138–148.

4. BLOOM, R.; BENTUR, A. **Free and restrained shrinkage of normal and high-strength concrete**. ACI Mater J, 1995; 92: p. 211–217.

5. SOROUSHIAN, P.; MIRZA, F.; ALHOZAIMY, A. **Plastic shrinkage cracking of polypropylene fibre reinforced concrete**. ACI Mater J, 1995; 92: p. 553–560.

6. SOMAYAJI, S. **Civil engineering materials**. Prentice Hall; 2001.

7. BRANDT AM. **Fiber reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering**. Compos Struct 2008;86: p. 3–9.

8. NAAMAN, A.E.; WONGTANAKITCHAROEN, T.; HAUSER, G. **Influence of different fibers on plastic shrinkage cracking of concrete**. ACI Mater J 2005;102: p. 49–58.

9. PASSUELLO, A.; MORICONI, G.; SHAH, S.P. **Cracking behavior of concrete with shrinkage reducing admixture and PVA fibers**. Cement Concr Compos 2009;31: p. 699–704.

10. BOGHOSSIAN, E.; WEGNER, L. D. **Use of flax fibres to reduce plastic shrinkage cracking in concrete**. *Cement and Concrete Composites*. 2008; 30(10): p. 929-937

11. RETTENMAIER, J.; SÖHNE. **Welcome to the world of fibers. Germany**, 2012.

12. BARGHIGIANI, T. S. **Caracterização experimental de pastas cimentícias de alto desempenho reforçadas com fibras de polipropileno e PVA**. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

13. BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre reinforced cementitious composites**. Elsevier Science Publishers Ltd. London, 1990.

14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040** – Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

15. VOTORANTIM CIMENTOS (VC). **Environmental Product Declaration**. Cimento – CPV. Integrated Report 2012. Published in October 2013. São Paulo.

16. DEUTSCHE BAUCHEMIE COMPANY (DBC). **Environmental Product Declaration.** Concrete Admixtures – Plasticizer and superplasticizer, 2014.

17. EUROPEAN FEDERATION OF CONCRETE ADMIXTURES ASSOCIATIONS (EFCA). **Environmental Product Declaration**. Concrete Admixtures – Water resisting admixtures, 2015.

18. MAPEI. **Environmental Product Declaration**. PP fibre, 2017.

19. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15261**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear) – Método de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

20. LESSA, F.; COUTINHO, M. Weber Saint-Gobain. X SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa**. Anais..** Fortaleza, 2013.

21. MARTINS, E. J. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa autonivelante**. Dissertação de Mestrado em Construção Civil – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

22. FRANÇA, M. S.; PILEGGI, R. G. **Avaliação de sequências de mistura no preparo de argamassas com fibras de PVA**. Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, XI. Porto Alegre, 2015.