

Efeitos da carbonatação acelerada em compósitos do tipo *Engineered Cementitious Composites*

Effects of accelerated carbonation on *Engineered Cementitious Composites*

¹Sabrine Eduarda Tonioli, ²Yasmim Gabriela Mendonça, ³Alex Neves Junior, ⁴Romildo Dias Toledo Filho

¹ Doutoranda em Física Ambiental (UFMT) (eng_sabrine@hotmail.com)

² Doutoranda em Engenharia Civil (UFRJ) (yasmim.mend1@gmail.com)

³ Doutor em Engenharia Civil (UFRJ), Professor do Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Mato Grosso (alexnevesjr@gmail.com)

⁴ Doutor em Engenharia Civil (PUC-RJ), Professor de Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio de Janeiro (toledo@coc.ufrj.br)

RESUMO: O setor da construção civil é considerado um dos maiores emissores de CO₂ (dióxido de carbono) na atmosfera, tornando-se um setor estratégico na busca pela sustentabilidade. A literatura indica que materiais à base de cimento Portland podem capturar CO₂ da atmosfera, em poucas idades, através da carbonatação acelerada. Este trabalho objetiva estudar a influência da carbonatação acelerada nas propriedades mecânicas de um compósito cimentício à base de cimento Portland (*ECC – Engineered Cementitious Composites*), reforçado com fibras de PVA (Acetato de Polivinila). O compósito foi hidratado sob duas condições: baixa e alta umidade relativa. Foram realizados ensaios mecânicos, de termogravimetria e de termogravimetria derivativa. Os resultados apontam que a cura úmida beneficia as propriedades mecânicas da matriz, uma vez que favorece as reações de hidratação do cimento, e que a carbonatação acelerada, contribui para o aumento de tensão de primeira fissura. Percebeu-se também que o modo de cura preliminar do compósito influenciou na formação dos produtos hidratados. Identificou-se ainda que a carbonatação não inibe as características de *strain hardening* do compósito cimentício, tornando possível a sua utilização sob efeito da carbonatação acelerada.

Palavras-chave: Compósito Cimentício. Captura de CO₂. Análise Térmica.

ABSTRACT: The construction sector is considered one of the largest emitters of CO₂ (carbon dioxide) in the atmosphere, becoming a strategic sector to pursuit sustainability. The literature indicates that Portland cement-based materials can capture CO₂ from the atmosphere at an early age through accelerated carbonation. This work aims to study the influence of accelerated carbonation on the mechanical properties of a Portland cement-based composite (*ECC - Engineered Cementitious Composites*) reinforced with PVA (Polyvinyl Acetate) fibers. The composite was hydrated under two conditions: low and high relative humidity. Mechanical, thermogravimetry and derivative thermogravimetry tests were performed. The results indicate that wet cure benefits the mechanical properties of the matrix, since it favors the hydration reactions of the cement, and that accelerated carbonation contributes to the increase of first crack stress. It was also noticed that the preliminary cure mode of the composite influenced the formation of hydrated products. It was also identified that carbonation does not inhibit the strain hardening characteristics of the cementitious composite, making its use possible under accelerated carbonation.

Keywords: Cementitious Composite. CO₂ capture. Thermalanalysis.

1. INTRODUÇÃO

Reconhecidamente, no que tange o setor da construção civil, a engenharia tem importante participação quando o assunto são os objetivos globais para o desenvolvimento sustentável. Sabe-se que um dos principais efeitos do aquecimento global é causado pelo excesso de emissão dos classificados gases de efeito estufa (GEE), lançados pelo ser humano no meio ambiente, sendo o principal deles o CO₂. Atualmente já existem estudos sobre sequestro geológico de carbono, uma das alternativas a fim de frear a poluição causada por este gás (BARROS, 2010).

Este cenário tem feito com que muitas empresas começassem a desenvolver produtos e técnicas ecologicamente corretas, buscando reduzir, reutilizar e reciclar, de forma a diminuir o consumo de materiais não ecológicos, sem deixar de lado o desenvolvimento de produtos resistentes (ASSIS, 2009).

A respeito do dióxido de carbono, algumas tecnologias podem ser aplicadas com fins de captura de CO₂ da atmosfera, técnica esta denominada de sequestro de carbono, sendo a forma mais conhecida a realizada naturalmente pelas florestas por meio da fotossíntese. Entre as artificiais, tem-se o sequestro geológico de carbono, como uma das alternativas a finalidade de frear a poluição causada por este gás. O sequestro geológico é uma forma de devolver o carbono ao subsolo, onde os gases de exaustão produzidos pelas indústrias são separados por meio de um sistema de filtros que coletam CO₂. Esse gás é comprimido, transportado e injetado em reservatórios geológicos apropriados, que podem ser campos de petróleo já explorados ou em final de exploração, aquíferos salinos com água salobra não aproveitável, ou ainda em camadas de carvão que foram encontradas no solo (TONON, 2017).

A carbonatação acelerada em compósitos cimentícios apresenta-se como uma forma também atual de sequestro de carbono. Conforme estudos de Tonoli (2010), Pizzol (2013) e Neves Junior (2014), seguindo um rígido controle de parâmetros de tratamentos, a carbonatação acelerada, além de ganho ambiental, ainda propicia uma forma de melhorar as propriedades mecânicas de matrizes cimentícias pelo enrijecimento desta.

Paralelamente às questões ambientais, é crescente o estudo acerca das propriedades mecânicas de compósitos a base de cimento Portland, com a finalidade de melhorar sua resistência e durabilidade em condições de uso. Com este fim, pesquisas têm focado no desenvolvimento de famílias de compósitos com alta capacidade de deformação visando atender a exigências sobre limitação de abertura de fissuras. Entre as famílias estão os “*Engineered Cementitious Composites* ou *ECC*”, cuja capacidade de deformação pode chegar a ser 300 vezes superior àquelas observadas nos compósitos convencionais (LEPECH, 2009; LI, 2010).

Assim, pretende-se com o presente trabalho entender como a reação de carbonatação acelerada a poucas idades influencia as características do compósito *ECC*. Busca-se também verificar quais serão os efeitos da carbonatação nas propriedades mecânicas do compósito, além de analisar a influência de outras modalidades de cura nas propriedades de *strain hardening* dos compósitos pesquisados. Nas pesquisas consultadas sobre o tema, não se observou trabalhos com esta abordagem, ou seja, com mudanças das condições de cura dos *ECC* com carbonatação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais Utilizados

Os materiais constituintes do compósito estudado são:

- a) Cimento Mauá CP II F32;
- b) Cinza volante pozofly;
- c) Metacaulinita;
- d) Areia natural de rio; com massa específica de 2,72 g/cm³ e dimensão máxima do agregado de 425 µm;
- e) Fibras PVA RECS15; com diâmetro de 38 microns e comprimento da fibra de 8 mm, resistência à tração de 1600 Mega Pascal (MPa) e resistência à flexão de 40 Giga Pascal (GPa).
- f) Água potável proveniente da rede de abastecimento de água;

- g) Aditivo super plastificante Glenium 51 do tipo éter policarboxílico, com teor de sólidos 28,5 - 31,5%, pH variando entre 5 - 7 e densidade em torno de 1,067 - 1,107 g/cm³.
- h) Aditivo modificador de viscosidade (VMA) Rheomac UW 410, com densidade de 0,31 g/cm³.

Ressalta-se que, todas as caracterizações mecânicas e granulométricas dos materiais descritos foram obtidas por Mendonça (2018), algumas das quais estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais propriedades provenientes da caracterização dos materiais

| Composição Química | | | | |
|------------------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|--------------|
| Compostos Químicos | CP II F 32 | Metacaulina | Cinza Volante | Areia |
| Al ₂ O ₃ | 3,78 | 41,69 | 28,24 | - |
| SiO ₂ | 13,64 | 51,85 | 51,58 | - |
| Fe ₂ O ₃ | - | 1,91 | - | - |
| TiO ₂ | 0,30 | 1,38 | 1,3 | - |
| SO ₃ | 3,97 | 1,09 | 1,51 | - |
| K ₂ O | 0,39 | 1,89 | 3,39 | - |
| ZrO ₂ | - | 0,03 | - | - |
| BaO | - | - | - | - |
| Cr ₂ O ₃ | - | 0,01 | - | - |
| MnO | 0,06 | - | 1,51 | - |
| ZnO | 0,05 | - | - | - |
| SrO | 0,30 | - | - | - |
| CaO | 73,09 | - | 1,94 | - |
| CuO | 0,02 | - | - | - |
| Outros | - | 0,14 | - | - |
| Massa | 3,17 | 2,83 | 2,18 | - |
| Específica (g/cm ³) | | | | |
| Desvio Padrão (g/cm ³) | 0,0020 | 0,0033 | 0,0049 | - |
| Diâmetros | | | | |
| DMC | - | - | - | 425 |
| D10 | 7,2 | 3,1 | 7,4 | - |
| D50 | 20,3 | 17,7 | 56,8 | 300 |
| D85 | - | - | - | 390 |
| D90 | 52,7 | 53,0 | 217,3 | - |

Fonte: Mendonça (2018).

2.2 Dosagem e Preparação das Amostras

Para a confecção das amostras, foi utilizada a proporção dos materiais conforme indicado na Tabela 2. Este traço foi idealizado por Mendonça (2018), mas adaptado para esta pesquisa, onde no lugar da fibra vegetal, utilizou-se a fibra de PVA (Acetato de Polivinila), a mesma utilizada pelo idealizador do compósito *ECC*.

Esta proporção não se altera no decorrer da pesquisa, apenas a forma de cura e de carbonatação são modificadas entre os compósitos.

Tabela 2 - Proporção em volume dos materiais para moldagem do ECC

| Material | Proporção |
|--|-----------|
| CP II F32 | 1,0000 |
| Cinza Volante Pozofly | 1,2000 |
| Areia 425 µm | 1,5000 |
| Metacaulinita | 0,8000 |
| Água | 1,1511 |
| Aditivo Superplastificante SP | 0,0714 |
| Aditivo Modificador de Viscosidade VMA | 0,0024 |
| Fibra PVA RECS15 | 0,0024 |
| Relação água/cimento | 1,1511 |
| Relação água/aglomerante | 0,3837 |

Fonte: Mendonça (2018); Adaptado pelos autores.

A produção dos compósitos foi conduzida em um ambiente climatizado ($21\pm 1^\circ\text{C}$), por meio da utilização de um misturador de capacidade mínima de 20 litros, dotado de 3 velocidades (baixa, média e rápida).

Na confecção dos compósitos, foram utilizados sequencialmente os seguintes procedimentos:

- a) Umedecimento da cuba e pá do misturador;
- b) Inserção de todos os ingredientes sólidos da matriz na bacia do misturador e homogeneização por 30 segundos em velocidade 1 (baixa);
- c) Adição de toda a água em 30 segundos em velocidade 1 (baixa);
- d) Adição de 50% da quantidade de aditivo total superplastificante por durante 60 segundos em velocidade 2 (média);
- e) Adição do restante do aditivo em 30 segundos em velocidade 1 (baixa);
- f) Mistura por 60 segundos em velocidade 2 (média);
- g) Realização de uma parada de 60 segundos no procedimento de mistura para limpeza da cuba e da pá do misturador; e,
- h) Mistura por 120 segundos em velocidade 2 (média).

2.3 Planejamento Experimental

Os corpos de prova foram desenvolvidos conforme quatro famílias (Tabela 3) onde duas delas se caracterizam como compósito de referência (RefSeco e RefUmido) e as outras duas, sofreram processo de carbonatação (CO₂Seco e CO₂Umido) conforme delineamento do experimento descrito mais abaixo. A Figura 1 apresenta duas das quatro famílias que foram carbonatadas.

Tabela 3 - Definição dos corpos de provas e plano experimental

| Tipo de corpo de prova | Tipo de tratamento | Tempo Inicial de Hidratação | Tempode Carbonatação |
|------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|
| RefSeco | Referência | 24 horas | 0 horas |
| RefUmido | Referência | 24 horas | 0 horas |
| CO ₂ Seco | Carbonatado | 24 horas | 4 horas |
| CO ₂ Umido | Carbonatado | 24 horas | 4 horas |

Figura 1 - Duas famílias de compósitos que foram carbonatados



Os parâmetros ambientais definidos para a câmara de carbonatação foram 20% de concentração de CO₂ e 60% de umidade relativa do ambiente, uma vez que estes potencializam a captura de CO₂ na matriz do compósito (HELENE, 1993).

Após o tempo que os corpos de prova permaneceram sob efeito da carbonatação, estes foram levados aos processos de cura seca ou úmida por 28 dias.

Entenda-se por cura seca, os corpos de prova deixados expostos ao ambiente, sem nenhuma proteção contra a perda de água, em sala com temperatura mantida em 21°C ± 1°C. Já a cura úmida os corpos de prova foram deixados em sala de câmara úmida com umidade relativa de 100% e temperatura ambiente de 21°C ± 2°C.

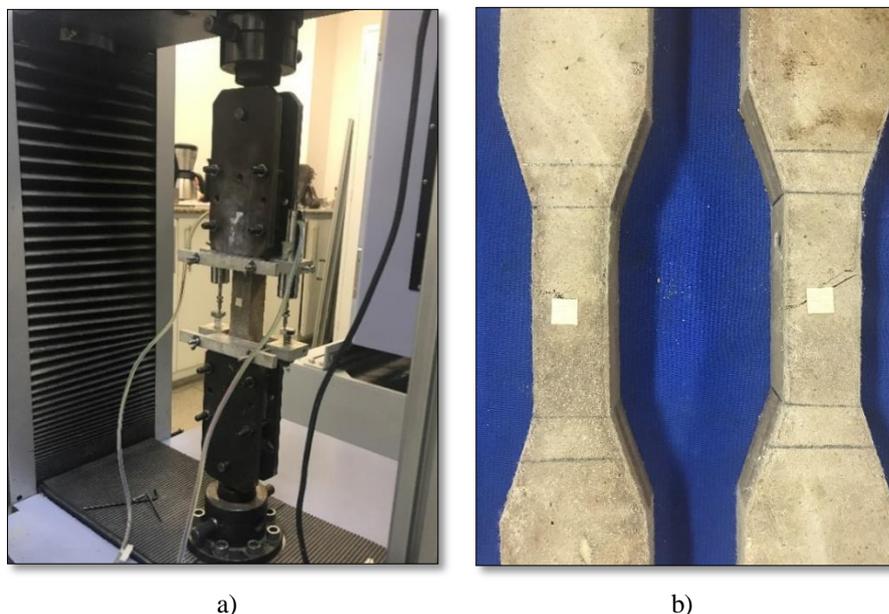
2.4 Ensaio com tensão de tração direta

Para cada corpo de prova, mediu-se com auxílio de paquímetro a área de sua seção transversal, em três posições diferentes, em duas faces. Na sequência, fez-se a média das três medidas de cada uma das duas faces, calculando posteriormente a área média da seção transversal. Os valores encontrados auxiliaram no cálculo das tensões de tração direta conforme estabelecido na Equação 1:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

em que σ : tensão direta em MPa; F: carga aplicada ao longo do ensaio de tração; e, A: área média da seção transversal de cada corpo de prova ensaiado.

Figura 2 - (a) Corpo de prova em equipamento para ensaio; (b) corpos de prova após o ensaio



Os ensaios foram realizados em máquina de ensaios modelo Shimadzu AGX (Figura 2a), com célula de carga de 100 kN, com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/min, medidos a partir da leitura média de dois transdutores para medição de deslocamento linear (LVDT's) posicionados nas laterais do terço central do corpo de prova (Figura 2b).

Os dados de deslocamentos axiais e carregamento foram obtidos por meio de um sistema de aquisição de dados composto de um condicionador ADS2000, de 16 bits, e um *software* AQDados, versão 7.02.08, e foram utilizados para derivar o gráfico de tensão-deformação a partir do ensaio de tração direta. Para cada família de compósito, ensaiou-se cinco corpos de prova. Os dados destes ensaios foram agregados em uma única curva de tensão deformação de forma a se obter o comportamento representativo de cada compósito testado.

O método de escolha da curva gráfica representativa foi a busca de uma curva mediana por análise de clusters pelo método aglomerativo de elementos similares (CHAVES; ALBUQUERQUE, 2009).

2.5 Ensaio de Análise termogravimétrica e termogravimétrica derivativa

As alíquotas (porção material retirada para amostra) da matriz do ECC foram extraídas após a realização do ensaio de tração direta, ou seja, após a cura por 28 dias em condições específicas para cada família. Extraiu-se uma porção da região central do corpo de prova, separando-se a fibra da matriz, a qual foi moída em pistilo com auxílio de almofariz até virar pó. As reações de hidratação das quatro amostras, que compõem as famílias definidas previamente, foram interrompidas com acetona conforme procedimento especificado em Neves Junior (2014) e acondicionadas em sacos plásticos, sendo inseridas no equipamento dessecador até realização do ensaio de análise térmica.

As análises das amostras foram realizadas em equipamento modelo SDT Q600 TGA/DTA/DSC Simultâneo da *TA Instruments* no Laboratório de Técnicas Analíticas, com amostra pesando 10mg inserida em um cadinho sob uma balança, temperatura variando de 1°C/min até 35°C, isoterma de 35°C por 60 minutos e aquecimento de 10°C/min até 1000°C. Utilizou-se o gás N₂ com vazão de 100 mL/min conforme padrão do ensaio.

Com as curvas de TG e DTG foram identificados os produtos hidratados em suas respectivas faixas de decomposição, sendo água da tobermorita + etringita entre 35-200°C; água total combinada entre 35-500°C; água do Ca(OH)₂ variando no intervalo de 400-500°C; CO₂ proveniente da descarbonatação do CaCO₃ intermitente entre 500-750°C.

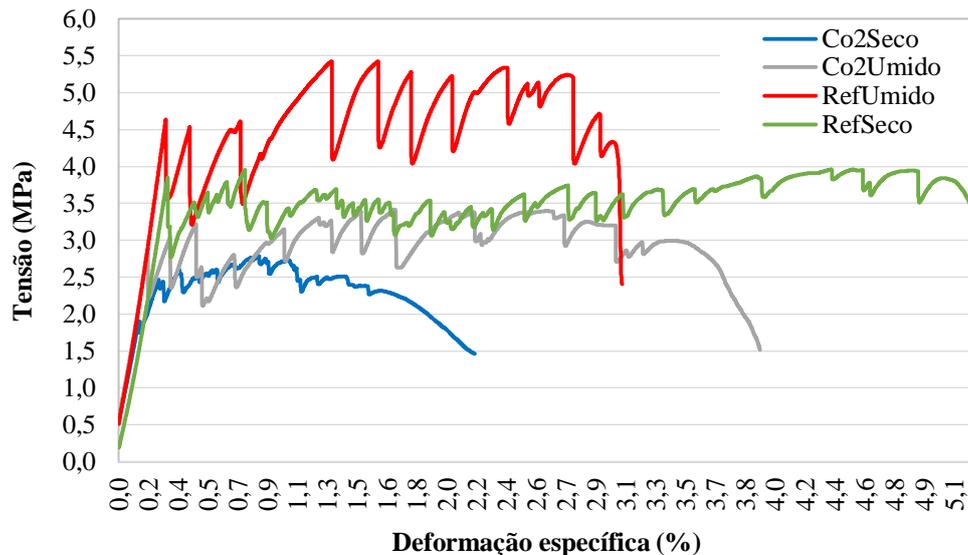
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

É possível observar a partir das amostras de referência, que aquelas levadas à cura em baixa umidade relativa apresentaram maior capacidade de deformação (Figura 3). Em contrapartida, as amostras com cura em alta umidade relativa apresentaram maiores valores de tensão. Já entre as amostras carbonatadas, o desempenho em relação à deformação foi melhor para aquelas curadas com alta umidade relativa do que aquelas curadas com baixa umidade relativa.

Assim, foi possível compreender que a família de referência com cura em baixa umidade relativa apresentou maior capacidade de deformação, enquanto a família de referência, com cura em alta umidade relativa, apresentou maior capacidade de tensão.

A família de referência com cura em baixas taxas de umidade relativa se representa como aquele que mais se aproxima do compósito desenvolvido por Victor Li (2010). Após ensaio foi verificado também o surgimento de múltiplas fissuras na zona tracionada.

Figura 3 - Gráficos de tração direta para as quatro famílias pré-definidas



A Tabela 4 apresenta os valores de cargas de primeira fissura, carga máxima e carga de última fissura determinados nos diagrama de tensão e deformação específica derivados dos ensaios de tração direta. A maior tensão de última fissura foi de 5,21MPa, valor obtido pela família correspondente à referência com cura úmida. Magalhães (2010) obteve para o *ECC* reforçado com 2% de fibras de PVA valor de 5,61MPa para última fissura, enquanto Oliveira (2015) obteve valor ligeiramente inferior e igual a 4,63 MPa. Consta-se, portanto, que o compósito *ECC* testado nesta pesquisa apresenta comportamento similar aos indicados anteriormente. Em relação ao desempenho quanto às deformações específica, verifica-se que esta foi mais pronunciada para a família de referência com cura seca, atingindo o valor de deformação específica na ordem de 5,07%. A família com carbonatação seca apresentou o pior desempenho, na ordem de 2,3%.

Para as famílias de referência e com carbonatação submetidas à cura em alta umidade relativa, observou-se que esta forma de cura beneficia as propriedades mecânicas da matriz quanto à análise das tensões, quando comparadas a forma de cura em baixa umidade relativa. Isto provavelmente porque a cura úmida favorece as reações de hidratação do compósito, o que contribui para a formação dos produtos hidratados, dentre eles a tobermorita, que é responsável pelas propriedades mecânicas da matriz, tornando a estrutura mais densa, e contribuindo para o aumento de suas tensões (BENTUR; MINDESS, 1990; LOPES, 2016).

Tabela 4 - Análise de cargas quanto à tração direta.

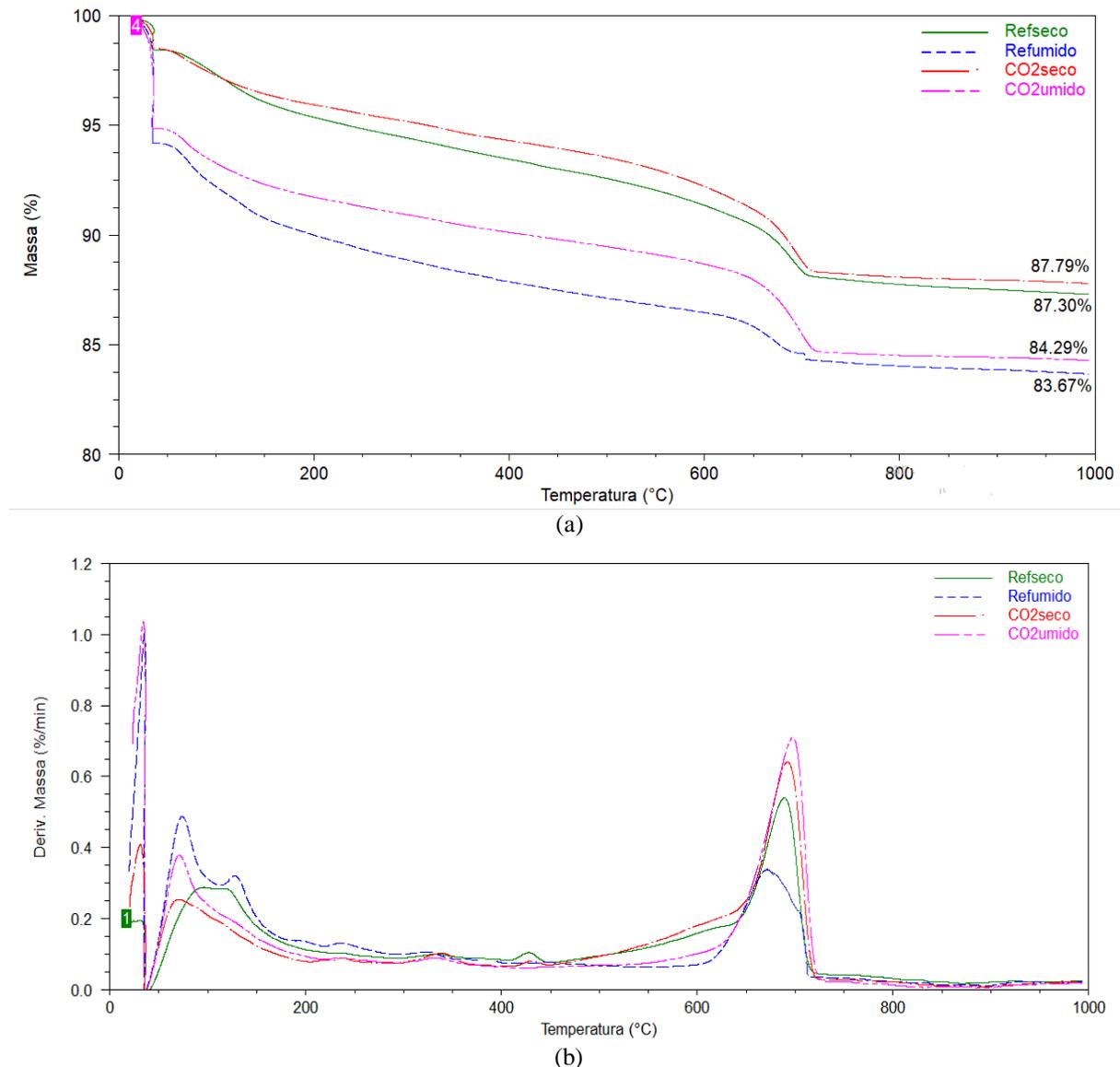
| Família | Fissura | Valor (MPa) | Deformação Específica (%) |
|-----------------------|----------|-------------|---------------------------|
| RefUmido | Primeira | 4,63 | - |
| | Máxima | 5,42 | - |
| | Última | 5,21 | 2,79 |
| RefSeco | Primeira | 3,11 | - |
| | Máxima | 3,95 | - |
| | Última | 3,84 | 5,07 |
| CO ₂ Umido | Primeira | 3,21 | - |
| | Máxima | 3,41 | - |
| | Última | 2,99 | 3,42 |
| CO ₂ Seco | Primeira | 2,76 | - |
| | Máxima | 2,78 | - |
| | Última | 2,31 | 1,63 |

Ao se correlacionar a Figura 3 com a Tabela 4, pode-se compreender que a família CO₂Seco não apresentou comportamento de *strain hardening* típico do compósito ECC. Segundo Li (2010), para que um compósito cimentício seja considerado com alta ductilidade, o mesmo precisa apresentar para o ensaio de tração direta deformação de última fissura acima de 2,5%, sendo que a família CO₂Seco apresentou valor médio inferior (1,63%).

As curvas de termogravimetria e termogravimetria derivativa para as quatro famílias avaliadas com seus percentuais de massa calcinada podem ser visualizadas na Figura 4. Ao analisa-la em em relação a formação da etringita e tobermorita, nota-se que a amostra de RefUmido apresenta pico de decomposição maior do que a amostra de RefSeco. Isso ocorre porque a amostra de RefUmido foi mantida em alta umidade relativa em sua cura preliminar, além de ser mantida por 28 dias em câmara úmida, havendo desta forma favorecimento da formação dos produtos hidratados etringita e tobermorita.

Por outro lado, a amostra RefSeco que foi mantida em ambiente de baixa umidade relativa por 28 dias sofrendo perda de água para a atmosfera, o que influenciou na taxa de formação dos produtos hidratados etringita e tobermorita, e levou a formação de um pico menor na faixa de decomposição se comparada a observada no compósito RefUmido.

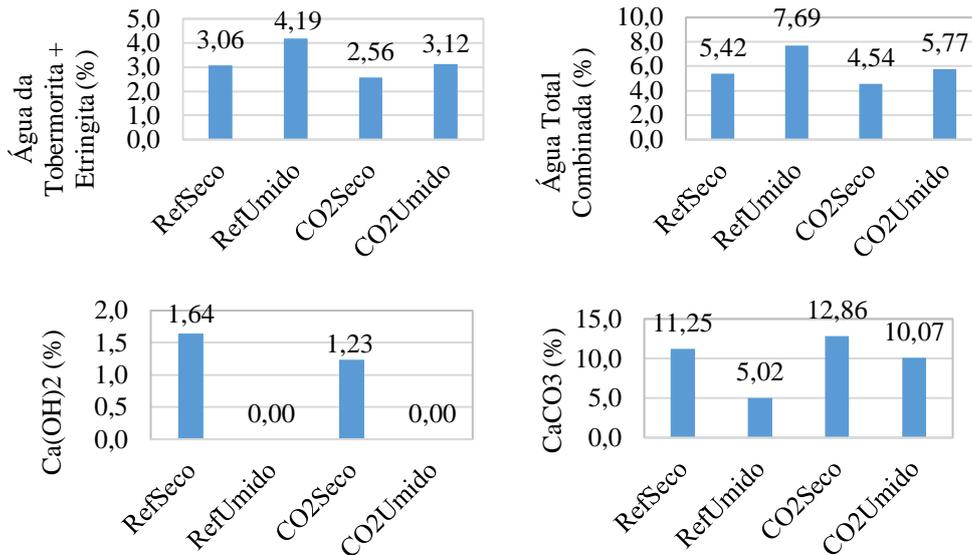
Figura 4 – (a) Curvas termogravimétricas das famílias avaliadas, (b) Curvas termogravimétricas derivativas das famílias avaliadas



Ao se comparar as amostras de compósito RefSeco com as de CO₂Seco e RefUmido com CO₂Umido, nota-se que o pico de decomposição da etringita e tobermorita é menor para a amostra CO₂Seco, comportamento este justificado pelo fato das amostras apresentarem efeito da carbonatação acelerada, mas também a carbonatação da tobermorita pelo efeito da reserva alcalina (BENTUR; MINDESS, 1990; MACIOSKI, 2017).

Com auxílio de cálculos referente ao balanço estequiométrico das reações químicas e com auxílio das curvas apresentadas na Figura 4, identificou-se os produtos hidratados e carbonatados da amostra de cada família (Figura 5).

Figura 5 - Quantificação por estequiometria e termogravimetria da água da tobermorita + etringita; água total combinada; Ca(OH)₂ e CaCO₃



Com relação às amostras de referência, a partir das porcentagens identificadas na Figura 5, nota-se que estas corroboram com a análise de termogravimetria quanto à água da tobermorita e etringita, onde a amostra com cura em alta umidade relativa obteve maior quantidade de água evaporada, uma vez que as reações de hidratação foram favorecidas. O mesmo se observou para a água total combinada. Por outro lado, em relação as amostras com carbonatação, observou-se que as amostras submetidas à cura seca, a quantidade de água dos produtos hidratados e total combinada foi menor.

Ainda, utilizando-se como referência os dados apresentados na Figura 5 para a amostra de RefUmido e RefSeco, pode-se inferir que a amostra de RefUmido não apresentou formação de Ca(OH)₂ enquanto a amostra de RefSeco apresentou um pequeno pico de decomposição do Ca(OH)₂. Para a amostra de RefUmido e também de CO₂Umido, a alta umidade relativa do ambiente favoreceu a ocorrência da reação de hidratação e pozolânica, o que contribuiu para o consumo de todo o Ca(OH)₂. Já para a amostra de RefSeco, a baixa umidade do ambiente não favoreceu as reações de hidratação e pozolânica, não havendo desta forma o consumo de todo o hidróxido de cálcio, notando-se ainda uma pequena decomposição do mesmo. Portanto, é possível demonstrar, com auxílio da Figura 3 e do comportamento termogravimétrico das amostras, que o compósito quando curado em altas taxas de umidade relativa, favorece tanto as reações de hidratação/ pozolânica quanto as de carbonatação, densificando a matriz e a zona de transição interfacial.

Diante desse comportamento, nota-se que maiores tensões de tração direta foram obtidas para amostras em cura com alta umidade relativa. Os compósitos com este tipo de

cura apresentam os dois maiores valores para carga de primeira fissura, sendo para a RefUmido de 4,63 MPa e para CO₂Umido de 3,21 MPa (Tabela 3).

Desta forma entende-se que o comportamento de *strain hardening* do compósito ECC foi favorecido pela cura em baixas umidades relativas, porque a matriz e a zona de transição interfacial não se tornaram densas a ponto de comprometer a capacidade de deformação e ocorrência de múltiplas fissurações.

4. CONCLUSÕES

Por meio dos ensaios mecânicos dos compósitos, pode-se inferir primeiramente que o comportamento que mais se assemelhou ao *strain hardening* de Li (2010) foi o da família RefSeco, onde o gráfico de tração direta ilustra o patamar típico deste compósito, com aumento de deformação e variação em menor escala das tensões.

Já a família de RefUmido para o ensaio de tração direta apresentou os maiores valores de carga de primeira, última fissura e também de carga máxima. Pelo ensaio de termogravimetria e termogravimetria derivativa, verificou-se que a cura úmida favorece a ocorrência das reações de hidratação e pozolânica, favorecendo também a formação dos produtos hidratados, dentre os quais o C-S-H (tobermorita), responsável pelas propriedades mecânicas do compósito.

Quanto às famílias carbonatadas sob tração direta, a que foi submetida à cura seca apresentou menor capacidade de deformação do que a amostra carbonatada em cura úmida.

A reação de carbonatação promove a precipitação de cristais de CaCO₃, o que beneficia sua capacidade mecânica em detrimento de suas deformações. Assim, a família mais propensa para a carbonatação com fins de captura de CO₂ é a com cura seca, porque os poros estão menos saturados, o que facilita a penetração do gás CO₂ no compósito. Essa análise corrobora o ensaio de termogravimetria e termogravimetria derivativa quanto aos quantitativos de CaCO₃ na amostra inicial, em que a família carbonatada com cura seca apresentou maior quantidade de CaCO₃ dentre todas as famílias avaliadas.

Apenas a família com carbonatação em cura seca, quando analisada à tração direta não atingiu comportamento de *strain hardening*, de modo que não foi possível caracterizá-lo como derivação do compósito ECC. Entretanto, para a família com carbonatação e cura em alta umidade relativa, não houve inibição das múltiplas fissurações no compósito ECC. Assim, conclui-se que o ECC é um compósito cimentício que apresenta capacidade de captura CO₂ do ambiente sem que suas principais características sejam alteradas.

5. REFERÊNCIAS

ASSIS, P. **Materiais do Futuro: tendência para materiais ecologicamente corretos**. 07 de Out de 2009. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/2863-materiais-dofuturo-tendencias-para-materiais-ecologicamente-corretos-em-aparelhos-eletronicos.htm>> Acesso em: 07 de Mar de 2017.

BARROS, Cristiane Oliveira. **Discursos escolares sobre o ciclo do carbono**. 2011. Dissertação (Mestrado). 207f. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2011.

BENTUR, A.; MINDESS, S. Fibre reinforced cementitious composites. **Mechanics of fibre reinforced cementitious composites**. London and New York: Taylor & Francis Group, 1990. P. 105-172.

CHAVES, V.; ALBUQUERQUE, E. Desconexão no sistema de inovação do setor de saúde: uma avaliação preliminar do caso brasileiro a partir de estatísticas de patentes e artigos. **SciELO**. V. 10, n. 4, p.523-539, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-80502006000400003>

HELENE, Paulo Roberto do Lago. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. 1993. Tese (Livre Docência). 248f. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1993.

LEPECH, M. **This Concrete Think's Metal**. Daily Journal Of Commerce. Building White Concrete, 2009. Disponível em: <<https://www.djc.com/news/co/12005498.html>> Acesso em: 03 out. 2019.

LI, V; SAHMARAN, M. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. Engineered Cementitious Composites: Can composites be accepted as crack-free concrete? **SAGE Journals**. v. 2164, p. 01-08, 2010. <https://doi.org/10.3141/2164-01>

LOPES, Taís Biazão. **Comparação da microestrutura do concreto auto adensável com o concreto convencional**. 2016. Dissertação (Mestrado). 91f. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Materiais, Universidade Estadual de Campinas, 2016.

MACIOSKI, Gustavo. **Estudo da álcali-ativação de pó de blocos cerâmicos com cal hidratada**. 2017. Dissertação (Mestrado) 173f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

MAGALHÃES, Margareth. **Caracterização experimental de compósitos cimentícios reforçados com fibras de PVA: processo de fratura, propriedades térmicas, deformações diferenciais e estabilidade térmica**. Tese (Doutorado). 245f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

MENDONÇA, Yasmim Gabriela. **Dosagem micromecânica de compósitos reforçados com fibra de juta**. Dissertação (Mestrado). 120f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

NEVES JUNIOR, Alex; **Captura de CO₂ em materiais cimentícios através de carbonatação acelerada**. Tese (Doutorado). 190f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

OLIVEIRA, Andrieli. **Fluência à altas temperaturas, aderência fibra-matriz e comportamento mecânico sob ações hidrotérmicas de compósitos cimentícios reforçados com fibras de PVA**. Tese (Doutorado). 263f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

PIZZOL, Vinicius Dordenoni. **Carbonatação Acelerada: nova tecnologia de cura para fibrocimento sem amianto**. Dissertação (Mestrado). 61f. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, 2013.

TONON, R. **O que é sequestro de carbono?** 14 de dez de 2017. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/ideias/o-que-e-sequestro-de-carbono/>> Acesso em: 14 de abr. de 2018.

TONOLI, G.; SANTOS, S.; JOAQUIM, A.; SAVASTANO JR., H. Science Direct: Elsevier. Construction and Building Materials. **Effect of accelerated carbonation on cementitious roofing tiles reinforced with lignocellulosic fibre.** v. 24, p. 193-201, 2010. doi:10.1016/j.conbuildmat.2007.11.018



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.