

CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE PROCESSO DE LAPIDAÇÃO DE VIDRO SODO-CÁLCICO E SUA APLICAÇÃO NA PRODUÇÃO DE CONCRETOS

Waste treatment plant effluent from the polishing of flat glass in the production of concrete.

Aline Pignaton Antônio (1); João Luiz Calmon (2); Fernando Avancini Tristão (3)

Arquiteta Urbanista, mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo – apignaton@hotmail.com

Prof. Dr. Ing. no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo – calmonbarcelona@gmail.com

Prof. Dr. Eng. no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo – fernandoavancini@ct.ufes.br

Avenida Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória – ES – CEP 29075-910

RESUMO

Este estudo aborda a caracterização física, química e mineralógica do resíduo de ETE proveniente do processo de lapidação de vidros sodo-cálcicos e sua aplicabilidade em concretos, como substituto à massa de cimento CPV ARI RS, em teores de 0, 5, 10, 15 e 20%. Foram realizados ensaios em estado fresco e endurecido (idades de 3, 7, 28 e 300 dias). Os resultados foram comparados e submetidos à análise estatística. Em estado fresco, notaram-se reduções principalmente na quantidade de exsudação de água e na consistência. Os resultados de resistência à compressão axial apresentaram-se estatisticamente diferentes, enquanto os resultados relativos à resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade tiveram resultados pertencentes a grupos homogêneos. Foram identificados por MEV efeitos benéficos dos teores de resíduo nas matrizes cimentícias e na zona de transição dos concretos, especialmente nos concretos S15.

Palavras-chave: substituição, cimento, resíduo, pó de vidro, efluentes, concreto.

ABSTRACT

This study enunciates the physical, chemical and mineralogical composition of the residue from the process of ETE cutting of soda-lime glasses and its application in

concrete as a replacement to the weight of CPV ARI RS cement, at levels of 0, 5, 10, 15 and 20%. Tests were performed on fresh and hardened (ages 3, 7, 28 and 300 days). The results were compared and statistically analyzed. In the fresh state, reductions in the amount of exuding water and consistency were observed. The results of compressive strength were statistically different, while the results for the tensile strength by diametrical compression and modulus of elasticity results were belonging to homogeneous groups. Beneficial effects the levels of residue on the cementitious matrix and the transition zone of concrete were identified by SEM, particularly concrete in S15.

Keywords: replacement, cement, waste, glass powder waste, concrete.

INTRODUÇÃO

O resíduo apresentado neste estudo é proveniente da estação de tratamento de efluentes (ETE) instalada em uma indústria beneficiadora de vidros sodo-cálcicos que visa o reuso da água inerente ao processo de lapidação das chapas de vidro.

O processo de lapidação consiste em aparar as imperfeições resultantes do corte das chapas de vidro utilizando rebolos diamantados para eliminar as arestas cortantes. Neste processo, a água é utilizada para amenizar a temperatura gerada pelo atrito entre o vidro e os rebolos, evitando danos à qualidade do material e prejuízos recorrentes de quebras das chapas. A água inserida no processo de lapidação é canalizada dos galpões à ETE, de onde é bombeada, após o tratamento completo, para os galpões, criando um ciclo de reutilização.

Finalizado o processo de lapidação das chapas de vidro sodo-cálcico, a água utilizada no processo, juntamente com as partículas de vidro desgastado resultantes do desgaste das bordas das chapas, é induzida por canais a tanques de bombas submersas, de onde esta “água suja” é bombeada até o reservatório e deste ao silo de decantação. Nesta fase, são acrescentados à água clarificantes e floculantes, que auxiliam no processo e mantém o pH entre 7 e 8. A água que transborda deste silo é induzida de volta aos galpões para ser novamente utilizada no processo de lapidação. O resíduo que se sedimenta neste silo é sugado por um tanque agitador, que impede sua solidificação, para que seja bombeado ao filtro prensa, de onde resulta o produto final, uma torta de coloração branca acinzentada, de umidade entre 3 e 5% (figura01). Comumente, o vidro sodo-cálcico é utilizado para a produção de embalagens, potes, garrafas, em eletrodomésticos, na indústria automobilística e na

construção civil, dentre outros produtos. As partículas de vidro apresentam-se como constituinte de maior vulto no resíduo apresentado neste estudo.

De acordo com a resolução nº 307 do CONAMA [1], o vidro é um resíduo classe II B, reutilizável para outros fins e 100% reciclável, salvo casos em que há contaminações que inviabilizem o processo, como é o caso do resíduo utilizado neste estudo.

O vidro é uma substância inorgânica, amorfa e fisicamente homogênea, obtida por resfriamento de uma massa em fusão de óxidos ou de seus derivados, que endurecem pelo aumento contínuo de viscosidade atingindo rigidez, mas não a cristalização, sendo o óxido de silício seu principal constituinte (tabela 01) [2].



Figura 01 – Fluxograma do percurso da água utilizada no processo de lapidação das chapas de vidro e da obtenção do resíduo de ETE.

São gerados no Brasil, aproximadamente, 800.000 toneladas de vidro por ano. Os programas de incentivo à reciclagem e o preço reduzido para a produção de embalagens produzidas com o refugo de vidro representam, atualmente, 47% das embalagens de vidro são recicladas no Brasil, o que equivale a 470 mil ton/ano. Desse total, 40% são oriundos da indústria de envaze, 40% do mercado difuso, 10% do chamado "canal frio" (bares, restaurantes, etc) e 10% do refugo da indústria [3].

Estudos realizados anteriormente com vidros cominuídos foram analisados para a obtenção da dosagem dos concretos ensaiados. [4], [5], [6] e [7], por exemplo, utilizam o corpo de prova piloto, ou referência, sem adições de vidro moído e corpos de prova com 5, 10, 15 e 20% de vidro moído em substituição em massa ao cimento. Serão estas as proporções utilizadas também neste estudo.

Tabela 01 - Caracterização química do vidro

Óxidos	%	Óxidos	%
SiO ₂	72,40	K ₂ O	0,30
CaO	8,60	Fe ₂ O ₃	0,11
Na ₂ O	13,60	TiO ₂	0,02
Al ₂ O ₃	0,70	SO ₂	0,20
MgO	4,00		

Nota: Dados cedidos pela Viminis S/A

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Os materiais utilizados para a moldagem dos corpos de prova utilizados foram selecionados conforme a normatização brasileira no que tange a cada característica e metodologia de ensaio exigida.

O resíduo utilizado foi coletado na ETE instalada na Viminis, indústria beneficiadora de vidros localizada no CIVIT II, município da Serra, região metropolitana da Grande Vitória, estado do Espírito Santo, Brasil. Para a aplicação neste estudo, o resíduo sedimentado foi seco em estufa, a 105°C, por 24 horas e, posteriormente, destorroado. Não foi necessária a moagem do resíduo, visto que o processo de polimento gera partículas de vidro muito finas (figura 02).

Tabela 02 - Distribuição granulométrica do resíduo.

Material passante (%)	Granulometria (µm)
10	2,08
50	9,90
90	38,37
Superfície específica	3685,70 cm ² /g

Nota: Dados obtidos a partir de relatório gerado no ensaio de granulometria a laser, realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil – LEMAC/UFES.



Figura 02 - Aparência do resíduo aplicado às misturas de concreto

A granulometria do resíduo foi determinada em ensaio de granulometria a laser (granulômetro *Sympatech*), possibilitando a constatação de que 90% das partículas estão abaixo de 38 µm, conforme a distribuição granulométrica observada na tabela 02. A massa específica foi determinada conforme a NBR NM 23 (ABNT, 2001), obtendo-se o valor de 2,488 g/cm³. Também a determinação da massa unitária no estado solto foi realizada, de acordo com a NBR 12127 (ABNT, 1991), obtendo-se o valor de 0,627 kg/dm³.

Três ensaios foram realizados para que confirmar a homogeneidade da amostra. As curvas granulométricas geradas podem ser observadas na figura 03.

O ensaio de determinação da composição química do resíduo foi realizado no Laboratório de Ensaio de Materiais do Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis, em Natal, no estado brasileiro do Rio Grande do Norte, em julho de 2011, pelo método de análise semiquantitativa por fluorescência de raios X (FRX) com perda ao fogo (PF) do resíduo. A amostra foi prensada manualmente em pastilhas de diâmetro aproximado de 15 mm. Para a avaliação da perda ao fogo, o material foi seco em estufa por 24 horas em temperatura de 110°C e depois foi aquecido até 1000°C por 60 minutos.

A tabela 03 apresenta os resultados da análise química em porcentagem de massa em óxidos com valor de perda ao fogo da amostra em estudo.

Tabela 03 – Caracterização química por FRX do resíduo de ETE

Óxidos	%	Óxidos	%
SiO ₂	64,29	Fe ₂ O ₃	0,38
CaO	13,64	SO ₃	0,38
Na ₂ O	11,49	CuO	0,05
Al ₂ O ₃	4,25	SrO	0,02
MgO	4,16	ZrO ₂	0,01
K ₂ O	0,53	P.F.	0,80

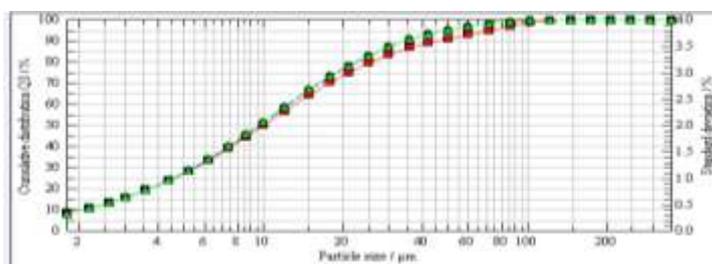


Figura 03 – Sobreposição das curvas granulométricas resultantes de cada ensaio de distribuição granulométrica.

Observa-se pouca diferença nas composições químicas do vidro e do resíduo estudado. O resíduo encontra-se em estado amorfo, conforme pode ser observado na figura 04, que apresenta o difratograma de raios X (DRX), realizado no Laboratório de Materiais Carbonosos e Cerâmicos do Departamento de Física da Universidade Federal do Espírito Santo.

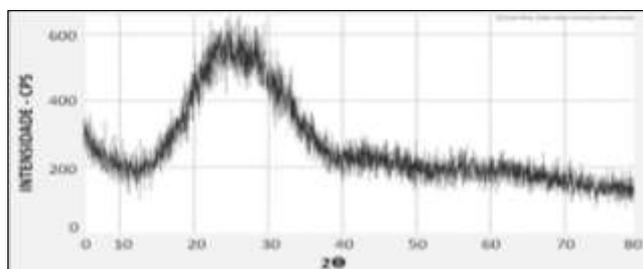


Figura 04 – Difratograma de raios X do resíduo de ETE

O cimento utilizado para as misturas de concreto foi o cimento Portland CPV ARI RS. A areia utilizada foi a de jazida, proveniente do município de Linhares/ES e a brita é proveniente da Brasitália, localizada no município da Serra/ES. Os ensaios determinantes da distribuição granulométrica da areia foram realizados no

Laboratório de Materiais de Construção Civil – LEMAC/UFES e podem ser observadas na tabela 03.

A distribuição granulométrica da areia atendeu aos limites da zona utilizável, de acordo com NBR 7211 (ABNT, 2009) e sua caracterização (tabela 04) foi realizada conforme a normatização brasileira vigente.

Tabela 03 - Distribuição granulométrica da areia*

Peneira (mm)**	Massa retida (%)**	Massa acumulada (%)**
4.75	0	0
2.36	0	0
1.18	5	5
0.60	26	31
0.30	23	54
0.15	24	78
FUNDO	22	100

Módulo de finura: 1,7

Nota: Norma adotada

* NBR 7211 (ABNT, 2009) - Agregados para concreto – Especificação

** NBR NM 248 (ABNT, 2003) – Agregados – determinação da composição granulométrica

Tabela 04. Caracterização da areia

Massa específica (kg/m ³)**	Massa unitária (kg/dm ³)***	Absorção de água (%)	Material pulverulento (%)****
2,646	1,627	N.A.*	4,96

Nota: Normas adotadas

* Não avaliado

** NBR NM 52 (ABNT, 2009) - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.

*** NBR NM 45 (ABNT, 2006) - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios

**** NBR NM 46 (ABNT, 2003) - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem

Os agregados graúdos foram classificados conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009). A distribuição granulométrica e a caracterização da brita utilizada podem ser observadas nas tabelas 05 e 06.

Tabela 05 - Distribuição granulométrica da brita*

Peneira (mm)	Massa retida (%)	Massa acumulada (%)	Massa retida acumulada (%)**
			Zona granulométrica 4,75/12,5**
19	0	0	--
12.5	0	0	0 a 5
9.5	17	17	2 a 15
6.3	54	71	40 a 65
4.8	20	91	80 a 100
FUNDO	9	100	

Módulo de finura**: 5,63

DMC – Dimensão máxima característica**: 12,5

Nota: Normas adotadas

* NBR 7211 (ABNT, 2009) - Agregados para concreto - Especificação

** NBR NM 248 (ABNT, 2003) – Agregados – determinação da composição granulométrica

A distribuição granulométrica da brita utilizada apresentou limites próximos aos limites da zona granulométrica 4,75/12,5.

A caracterização do cimento CPV ARI RS empregado neste estudo consta da tabela 07.

Tabela 06 - Caracterização da brita*

Massa esp.(kg/m ³)*	Massa unit. (kg/dm ³)**	Abs. de água (%)*	Material pulverulento (%)***
2,77	1,49	0,7	1,4

Nota: Normas adotadas

* NBR NM 53 (ABNT, 2009) - Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água

** NBR NM 45 (ABNT, 2006) - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios

*** NBR NM 46 (ABNT, 2003) - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem

Tabela 07 - Caracterização do cimento Portland CPV ARI RS

Propriedades Determinadas CP V ARI RS	Teores	Método de Ensaio	Limites NBR 5733 (ABNT, 1991)
Análises físicas			
Massa específica (g/cm ³)	3,05	NBR NM 23 (ABNT, 2001)	N.E.
Finura	Área específica - Blaine (m ² /kg)	440	NBR NM 76 (ABNT, 1998)
	Finura - resíduo na peneira 325#	1,7	NBR 12826 (ABNT, 1993)
Tempos de Pega	Início de Pega (min)	135	NBR NM 65 (ABNT, 2002)
	Fim de Pega (min)	165	NBR NM 65 (ABNT, 2002)
Água de Consistência - Pasta (%)	30,4	NBR NM 43 (ABNT, 2002)	N.E
Análises químicas			
Perda ao fogo - PF (%)	4,45	NBR NM 18 (ABNT, 2004)	≤ 4,5
CaO (%) -Livre	1,62	NBR NM 14 (ABNT, 2004)	N.E.
SO ₃ (%)	3,00	NBR NM 16 (ABNT, 2004)	3,5 a 4,5
Resíduo Insolúvel - RI (%)	1,00	NBR NM 15 (ABNT, 2004)	1,0
Resistência à compressão			
1dia (MPa)	17,8	NBR 7215 (ABNT, 1997)	≥ 14
3 dias (MPa)	30,6	NBR 7215 (ABNT, 1997)	≥ 24
7 dias (MPa)	38,8	NBR 7215 (ABNT, 1997)	≥ 34

Nota: N.E. – Não especificado

Fonte: Dados cedidos pela Mizu Concreto Vitória (2011).

Métodos

Para este estudo, adotou-se a dosagem observada na tabela 08. Os concretos foram produzidos em betoneira de eixo inclinado, com capacidade para 350 litros (*Mecânica Alfa S/A*). Foram realizados ensaios nos concretos em estado fresco e em estado endurecido. Os ensaios em concreto endurecido foram realizados em prensa *Amsler* de mostrador analógico. Foram testadas as resistências à compressão axial e à tração por compressão diametral nas idades de 3, 7 e 28 dias. Também foi determinado o módulo de elasticidade (*Prensa Emic Equipamentos e Sistemas de Ensaios Ltda.* com capacidade para 3000 kN), aos 28 dias de idade.

As amostras de concretos em estado fresco foram coletadas conforme NBR NM 33 (ABNT, 1998), imediatamente após o término da mistura em betoneira, para os ensaios de consistência por abatimento de tronco de cone, exsudação de água, teor de ar incorporado e massa específica.

Tabela 08 - Relação da nomenclatura dos traços e da dosagem das misturas de concreto.

Nomenclatura	Teor de substituição (%)	cimento	areia	brita	resíduo	relação a/ag
Traço REF	0	1	2,054	2,786	0	0,51
Traço S5	5	0,95	2,054	2,786	0,05	0,51
Traço S10	10	0,90	2,054	2,786	0,10	0,51
Traço S15	15	0,85	2,054	2,786	0,15	0,51
Traço S20	20	0,80	2,054	2,786	0,20	0,51

Para os ensaios em estado endurecido, corpos de prova referência foram moldados em fôrmas cilíndricas de 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro, conforme determinação da NBR 5738 (ABNT, 2003) e armazenados em câmara úmida até que atingissem as idades de 3, 7, 28 dias, determinadas para os ensaios de resistência à compressão axial, à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade. Posteriormente, foram realizados ensaios após a idade de 300 dias, no intuito de avaliar possível aumento tardio da resistência à compressão axial.

A análise estatística dos resultados foi realizada pelos métodos de análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey, com o auxílio do *software* Statística 7.0 [8].

A análise da microestrutura e das propriedades individuais dos constituintes do concreto, quando da relação entre eles serve para auxiliar no controle das suas propriedades [9].

No intuito de verificar os efeitos das substituições nas matrizes cimentícias dos concretos, em especial na zona de transição em relação à amostra referência, estas foram investigadas com o auxílio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) da marca *Zeiss*, modelo EVO 40 XVP.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos ensaios dos concretos em estado fresco apresentaram pouca distinção quanto à massa específica (ABNT NBR 9833:2009) e ao teor de ar incorporado (ABNT NBR NM 47:2002), sendo relevante, no entanto, a discrepância quanto aos resultados de consistência (ABNT NBR NM 67:1998) e exsudação de água (ABNT NBR 15558:2008), conforme se observa na tabela 09.

Tabela 09 - Resultados dos ensaios realizados em concreto em estado fresco.

Traço	Consistência obtida (mm)*	Massa específica (kg/dm ³)**	Tempo (min)***	Quantidade de água exsudada (ml)***	Teor de ar incorporado (%)****
REF	65	2,408	130	22,5	2,2
S5	60	2,391	130	25,4	2,9
S10	50	2,391	70	18,6	2,6
S15	40	2,400	70	14,8	2,4
S20	20	2,383	70	11,2	3

Apesar dos resultados dos ensaios de abatimento de tronco de cone dos traços S15 e S20 estarem distantes do parâmetro determinado, os concretos apresentaram aspecto coeso e plasticidade, mostrando-se trabalháveis no momento da moldagem dos corpos de prova.

Observações semelhantes relativas à consistência de concretos onde o pó de vidro foi utilizado foram feitas em estudos anteriores [10], [11] e [12] e confirmam aumento da consistência em consequência do aumento da quantidade de pó de vidro nas misturas, provavelmente em função da geometria desfavorável do resíduo de vidro, que resulta em menor fluidez das misturas e redução do módulo de finura. Também a baixa granulometria pode ser um fator de contribuição, pois materiais de maior superfície específica tendem a demandar maior consumo de água.

Os resultados dos ensaios realizados até a idade de 28 dias podem ser observados na tabela 10.

Tabela 10. Resultados dos ensaios de resistência mecânica das misturas de concreto.

Traço	Idade (dias)	Resistência média à compressão axial (MPa)**	CV*	Resistência média à tração por compressão diametral (MPa)**	CV*	Módulo estático médio de elasticidade (GPa)***	CV*
REF	3	22,8	1,1	2,7	1,5	30,3	3,3
	7	28,0	1,5	3,0	4,0		
	28	36,2	1,7	3,6	15,8		
S5	3	22,0	1,5	2,4	9,2	30,0	1,6
	7	26,4	1,9	2,9	8,0		
	28	34,0	3,7	3,5	5,7		
S10	3	21,4	4,7	2,2	8,2	30,8	3,2
	7	24,8	2,6	3,0	11,0		
	28	34,7	1,2	3,8	2,6		
S15	3	20,9	1,0	2,4	9,6	31,7	4,4
	7	25,4	3,6	3,0	1,3		
	28	35,2	0,7	3,7	2,4		
S20	3	18,1	3,6	2,4	5,4	31,9	4,5
	7	23,7	4,7	2,7	3,7		
	28	33,4	6,0	3,8	2,4		

Notas: Normas adotadas

* C.V. – Coeficiente de variação

**NBR 5739 (ABNT, 2007) – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

*** NBR 8522 (ABNT, 2008) – Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.

Ensaio de resistência à compressão axial foram realizados na idade de 300 dias e os resultados constam da tabela 11 e da figura 05.

Tabela 11 – Resultados dos valores médios de resistência à compressão axial dos concretos aos 300 dias de idade.

Traço	Resistência média à compressão axial (MPa)	Coefficiente de variação
REF	44,2	0,36
S5	42,1	2,19
S10	43,2	20
S15	44	27
S20	42,5	2,86

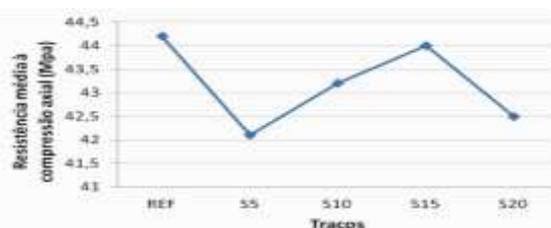


Figura 05 – Gráfico representativo das médias dos valores de resistência à compressão axial na idade de 300 dias

Aos 300 dias de idade, os concretos apresentaram pouca variação entre os resultados, satisfatórios por superarem a resistência de 35 MPa, afixada como objetivo neste estudo.

Os modelos estatísticos adotados foram aplicados aos resultados nas idades de 3, 7 e 28 dias e mostraram-se significativos para todos os ensaios, a um nível de confiança de 95%. Os resultados da análise de variâncias (ANOVA) e do teste de Tukey estão dispostos na tabela 12.

Tabela 12 – Resultado da análise estatística dos resultados

Propriedade mecânica	Análise de variâncias (ANOVA)			Teste de Tukey
	Efeito dos fatores de variação			
	Idade	% substituição	Idade x % substituição	
Resistência a compressão axial (MPa)	S	S	S	Grupo I: S5, S10, S20 Grupo II: S5, S10, S15 Grupo III: REF, S10, S15
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	S	NS	NS	Grupo IV (homogêneo)
Módulo de Elasticidade (GPa)	S	NS	NA	Grupo V (homogêneo)

Nota: S – significativo NS – não significativo NA – não avaliado

A idade dos ensaios apresentou-se como fator significativo para todas as propriedades, não ocorrendo o mesmo com sua interação com o teor de substituição e nem com os percentuais propriamente ditos. O teste de Tukey segregou em três grupos distintos os resultados concernentes à resistência à compressão axial, classificando, porém, como homogêneos os grupos de resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração por compressão axial e módulo de elasticidade.

A análise microestrutural dos concretos foi realizada após a idade de 28 dias e procurou-se analisar mais detalhadamente as zonas de transição entre o agregado

graúdo e a matriz cimentícia dos concretos, no intuito de investigar os efeitos do resíduo nos concretos estudados (figura 06).

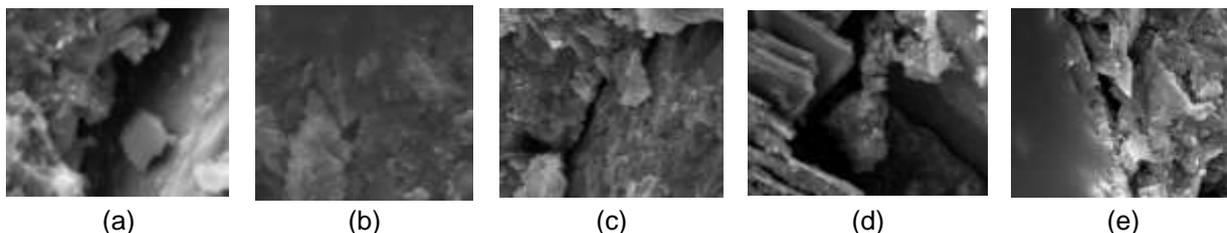


Figura 06 – (a) concreto REF, (b) concreto S5, (c) concreto S10, (d) concreto S15 e (e) concreto S20. Micrografias com ampliação de 5000 vezes das zonas de transição dos concretos, onde se observa, em S15 (d), o preenchimento dos vazios e a densa formação de cristais de C-S-H.

CONCLUSÕES

Nos concretos em estado fresco, os teores de substituição produziram efeitos principalmente em relação à exsudação de água e à consistência (diferenças de, no mínimo, 50%). Com relação aos outros ensaios, os resultados não apresentaram diferenças tão relevantes ou prejudiciais. A redução da trabalhabilidade aparece como um empecilho à utilização do resíduo em larga escala sem que aditivos plastificantes sejam acrescentados às misturas.

Nos concretos endurecidos, os concretos S15 demonstraram melhores resultados até a idade de 28 dias. Estatisticamente, apenas os resultados relativos à resistência à compressão axial diferem entre si, formando três grupos distintos.

Apesar de mostrar-se significativa para todas as propriedades, a idade, por si só não pode ser considerada como o fator de maior influência, visto que apenas sua interação com os teores de substituição proporcionou a variação das propriedades mecânicas dos concretos estudados. Por isso, considera-se o percentual de substituição do cimento Portland CPV ARI RS pelo resíduo de ETE como o fator de maior influência nas propriedades mecânicas dos concretos produzidos.

A análise microestrutural demonstrou que os concretos S15 tiveram sua porosidade matricial minimizada e as zonas de transição reforçadas por formações cristalinas recorrentes da reação química com o resíduo durante o processo de hidratação. Não apenas haveria um benefício em relação à resistência mecânica, mas também em relação à durabilidade, visto que a permeabilidade do concreto pode ser consideravelmente reduzida pelo preenchimento dos poros. Os concretos não apresentaram qualquer tipo de fissuração que denotasse a produção de gel de características expansivas ou reação álcali-sílica deletéria.

Ressalta-se que, conforme resultados obtidos aos 300 dias de idade, todos os concretos estudados atingiram em média 42 Mpa, sendo possível, portanto, a substituição de até 20% do cimento CPV ARI RS pelo resíduo de ETE. Estima-se que este valor esteja estável, aproximadamente, desde os 90 dias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002.** Disponível em ww.mma.gov.br/port/conama/legipesq.cfm?tipo=3&numero=307&ano=&texto=>. Acesso em: 03 junho de 2010.
- [2] SANTOS, A.R. **Ficha técnica de iniciação de pesquisa.** Escola Politécnica da USP. Departamento de Construção Civil. São Paulo, 2009. 5p.
- [3] CEMPRE. **Consórcio Empresarial para a Reciclagem.** Disponível em www.cempre.org.br. Acessado em junho de 2010.
- [4] ARRUDA, M.F.O.; PAMPLONA, H.C.; PAMPLONA, A.D.G. Reutilização de resíduo vítreo (pó de vidro tipo soda-cal) na fabricação de concreto: um estudo experimental. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – PRÁTICAS RECOMENDADAS, 4., 2001, São Paulo. **Anais CT 206 Meio Ambiente.** São Paulo: IBRACON, 2001, p. 184.
- [5] LOPÉZ, D.A.R.; AZEVEDO, C.A.P. Avaliação da utilização de vidro cominuído como material agregado ao concreto. XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Santa Catarina, 2003.
- [6] LOPÉZ, D.A.R.; AZEVEDO, C.A.P.; BARBOSA NETO, E. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino. **Cerâmica**, v.51, pp.318 -324, 2005.
- [7] SCHWARZ, N.; NEITHALAH, N. Influence of a fine glass powder on cement hydration: Comparison to fly ash and modeling the degree of hydration. **Cement and Concrete Research**, v. 38, p. 429-436, 2008.
- [8] STATSOFT, INC. Programa computacional *Statistica 7.0*. E.A.U. 2004.
- [9] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **CONCRETO. Microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008.
- [10] PARK, S.B.; LEE, C.B.; KIM, J.H. Studies on mechanical properties of concrete containing waste glass aggregate. **Cement and Concrete Research**, v. 34, p. 2181-2189, 2004.
- [11] TOPÇU, I.B.; CANBAZ, M. Properties of concrete containing waste glass. **Cement and Concrete Research**, v. 34, p. 267-274, 2004.
- [12] ISMAIL, Z.Z.; AL-HASHMI E.A. Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete. **Waste Management**, v. 24, p.655-659, 2009.