

ANALISE DO COMPORTAMENTO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DO POLIMENTO DE PORCELANATO SOB ALTAS TEMPERATURAS

Luiz Fernando Laureano (1), Alexandre Vargas (2);

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1) f-laureano@hotmail.com, (2) engalexandrevargas@gmail.com

RESUMO

No processo de fabricação do porcelanato técnico, uma das etapas mais importantes é a do polimento e retífica. Esse processo gera um resíduo que vem se transformando num grande problema ambiental com impacto financeiro para as empresas. Seu processamento e destinação final tem sido objeto de estudos objetivando sua utilização juntamente com outros produtos. Uma possibilidade real é a sua adição no concreto estrutural. Nessa perspectiva, esse trabalho tem por objetivo avaliar a adição da parte sólida desse resíduo em concretos e avaliar o desempenho quando submetidos a diferentes temperaturas. Para o desenvolvimento da pesquisa, foram moldados, na totalidade, 108 corpos de prova (CP) sendo 54 CP sem adição de resíduo e os demais com 50% de adição em massa, sendo submetidos à temperaturas ambiente, 550°C e 900°C. Na sequência, todos os CP foram realizados ensaios de compressão axial, compressão diametral e módulo de elasticidade. Como resultado obtivemos melhoras nas características mecânicas sob temperatura ambiente. Sob situações de incêndio houve perda de resistência devido ao coeficiente de dilatação elevado de alguns componentes do resíduo.

Palavras-Chave: Porcelanato. Resíduo. Polimento de porcelanato.

1 - INTRODUÇÃO

Para suprir as necessidades do mundo moderno é necessário um aumento constante da produção industrial, que impacta diretamente no aumento de resíduos provenientes desse processo, causando danos ao meio ambiente e ao bem estar da população, caso seja descartado de maneira inadequada. Como a interrupção da produção é inviável devido à necessidade do mercado, a solução consiste em avaliar a possibilidade do reaproveitamento dos resíduos gerados nos diversos processos produtivos. O tratamento e destinação final adequada dos resíduos industriais, tornou-se um sério problema ambiental com importante impacto financeiro nas indústrias. Os resíduos provenientes do processo de polimento das

peças cerâmicas de porcelanato, devido à possuir elevada quantidade de efluentes, que implicam no tratamento das águas e deposição da parte sólida em aterros com controle ambiental. No polimento do porcelanato técnico as bases cerâmicas já queimadas passam pela máquina polidora afim de apresentar um melhor acabamento estético na superfície e geometria perfeita nas laterais. Esse equipamento é constituído por várias cabeças polidoras em alta rotação com injeção de água. Segundo SANTOS, et al, (2014, p. 2) "os abrasivos utilizados durante a etapa de polimento são constituídos, principalmente, por carbeto de silício (SiC), óxido de magnésio (MgO), cloreto de magnésio (MgCl₂)". Neste processo ocorre uma perda de massa que pode representar 5% do volume de material produzido, gerando um resíduo conhecido como lodo fino. Esse lodo é encaminhado para uma estação de tratamento de efluentes onde passa por processo de filtragem e a água é reutilizada num circuito fechado, geralmente destinada à limpeza. O rejeito gerado pode ser consumido em baixas quantidades dentro do processo de produção da cerâmica de revestimento (azulejos), mas não apresenta volume de consumo satisfatório.

No processo produtivo de porcelanato não é possível a reutilização do rejeito pois "esse resíduo é constituído essencialmente por uma mistura do material cerâmico oriundo do polimento e do material abrasivo desprendido durante o processo" (SANTOS, et al, 2014, p. 2) e, de acordo com DAGOSTIM (2008, p 1),

[...] o abrasivo utilizado na etapa de polimento é rico em carbeto de silício, que se decompõe a partir de 1150 °C em atmosfera oxidante, gerando gases no interior do corpo cerâmico, o que acarreta em deformações e crescimento de poros. Esse fator é altamente indesejável em porcelanatos técnicos, o que impossibilita o uso de todo o rejeito, uma vez que não exista a distinção dos diversos tipos de rejeitos.

A massa de porcelanato tem propriedades térmicas diferenciadas com ponto de fusão muito alto e alta resistência ao fogo. O concreto, por sua vez, também apresenta bom desempenho termo-mecânico quando exposto ao fogo, por ter baixa condução térmica e ser incombustível, no entanto, se a ação for prolongada, estará sujeito à redução da resistência mecânica e ganho de rigidez devido à alterações físicas e químicas. Com a ação da temperatura sobre o concreto, ocorre a desidratação da pasta de cimento e variação da dilatação volumétrica dos agregados, gerando fissurações na estrutura. O grau de hidratação da pasta de

cimento tem ligação direta à quantidade das fases de silicato de cálcio hidratado e hidróxido de cálcio que são os compostos mais importantes de uma pasta de cimento hidratada. Para as situações de incêndio, segundo Mehta e Monteiro (2008) "À 500 °C, inicia-se a desidratação adicional da pasta de cimento devida à decomposição do hidróxido de cálcio, sendo que a partir de 900 °C ocorre a decomposição completa do C-S-H". A exposição do concreto à altas temperaturas, passa pela simulação de uma situação de incêndio. O incêndio possui fases como a ignição onde se dá o início do incêndio e onde a temperatura cresce gradualmente quase não influenciando no risco de colapso estrutural. Após a ignição entramos no estágio chamado Flashhover, que é o instante que todo o combustível presente entra em fase de queima seguida pelo de aquecimento caracterizado por um aumento rápido da temperatura. Após esta etapa ocorre resfriamento, momento em que todo o combustível já foi consumido e a temperatura é reduzida gradualmente. De acordo com Lima (2005) à temperatura ambiente, devido à similaridade do coeficiente de dilatação do aço e do concreto, pequenas variações de temperatura não costumam ocasionar o aparecimento de tensões internas no concreto armado. Contudo, no caso de grandes variações de temperatura, o mesmo fica susceptível a expansões diferenciadas significativas. Nesse contexto, este estudo tem por objetivo avaliar a influência da adição do rejeito de porcelanato em concretos com finalidade estrutural na resistência à compressão, sujeitos à diferentes patamares de temperaturas.

2 - OBJETIVOS

2.1 - OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade da adição de rejeito de polimento de porcelanato em concreto com finalidade estrutural e seu comportamento quando sujeito à situações de incêndio

2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar a possibilidade de aumento de resistência mecânica do concreto.

Analisar a possibilidade de alteração no módulo de elasticidade.

Verificar a possível influencia no abatimento e trabalhabilidade.

Analisar possibilidade de fechamento de porosidade.

Avaliar desempenho sob situação de incêndio.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

O programa experimental consiste na preparação um traço de concreto 1:3:2/0,43 (cimento:areia:brita - água/cimento, em massa) referencial e com adição de rejeito de polimento de porcelanato afim de comparar seu desempenho. O traço foi definido com base que o teor de argamassa fosse mais expressivo (66%) na composição do concreto afim de ressaltar melhor a influencia do rejeito adicionado, sendo que o mesmo seria adicionado sobrepeso ao cimento.

O percentual de rejeito a ser utilizado será de 50% em relação à massa de cimento, este devido à bibliografias anteriores, como STEINER (2011), demonstrarem resultados em percentuais menores. A tipologia de cimento será o Portland tipo CPIV, agregado graúdo será brita de basalto de mesmo lote e o agregado miúdo será areia média, quarteada e homogeneizada de mesmo lote para a produção de todos os corpos de prova. A relação água/cimento foi fixada em 0,43 em massa.

A Tabela 1 apresenta o traço e a dosagem de resíduo de polimento de porcelanato, referenciados ao volume de 10 corpos de prova com perda de 16% calculados para fazer o teste piloto, a serem utilizados no experimento.

TABELA 1 – Traços e dosagens utilizadas no experimento piloto

MATERIAIS	REF (KG)	50%RPP (KG)
Areia Média	22,78	22,78
Brita Basalto	15,18	15,18
Cimento CPIV	7,59	7,59
RPP	0	3,80
Água	3,28	3,28
Composição unitária em massa	1:3:2-0,43-0	1:3:2-0,43-0,5

Fonte: Do autor (2016)

O concreto foi produzido em laboratório, nas dependências do IPARQUE - UNESC, com uso de betoneira e os materiais terão seu peso quantificado em balança de precisão de 0,1Kg. Após a produção do concreto foi realizado o Slump Test para avaliar a possível interferência do rejeito na consistência à cru, esta se faz necessária devido ao rejeito ser um material plastificante e que possivelmente pode afetar o comportamento do concreto se adicionado em percentual elevado. Para os dois traços serão realizados os ensaios de compressão, compressão diametral e módulo de elasticidade de corpos em temperatura ambiente e previamente submetidos à altas temperaturas em forno mufla. As temperaturas foram definidas em 550°C e 900°C devido que a partir dos 500°C inicia-se a desidratação da pasta de cimento e à 900°C obtêm-se a total decomposição do CSH do concreto.

Foram destinados 3 corpos de prova para cada ensaios sob temperatura ambiente e 7 corpos de prova para cada ensaio após exposição à temperatura sendo que os corpos de prova são de secção cilíndrica, com diâmetro de dez centímetros e altura de vinte centímetros. Devido à realização dos testes em 3 temperaturas diferenciadas foi necessário a confecção, para a idade de 28 dias, de 54 corpos de prova para cada dosagem. Com um traço padrão e um traço de rejeito, expostos à 3 temperaturas e levados à 3 testes com 3 corpos sob temperatura ambiente e 7 em temperatura elevada totaliza-se 108 corpos de prova para a realização do estudo, sendo que todos os resultados terão como base comparativa o traço sem adição de rejeito.

Para o tratamento térmico foi utilizado uma curva de incêndio com taxa de aquecimento de 3°C/min e mantida em temperatura final por um patamar de 30 minutos seguido de resfriamento lento natural para que se possa descrever o aumento padronizado de temperatura em função do tempo no projeto de empreendimentos em situação de incêndio.

Além dos resultados dos ensaios, foram avaliados visualmente a superfície dos corpos de prova de concreto. Esta análise foi realizada baseando-se que, como o rejeito de porcelanato é um material extremamente fino, pode auxiliar no fechamento da porosidade do concreto oferecendo melhor proteção à armadura. Também foi realizada a separação de amostras de cada condição para realização de microscopia eletrônica de varredura devido que o rejeito pode possuir em sua composição uma quantidade significativa de álcalis (Na_2O e K_2O) e esses sais

podem fixar-se na superfície do agregado graúdo reduzindo sua aderência e gerando zonas frágeis, comprometendo o desempenho do concreto.

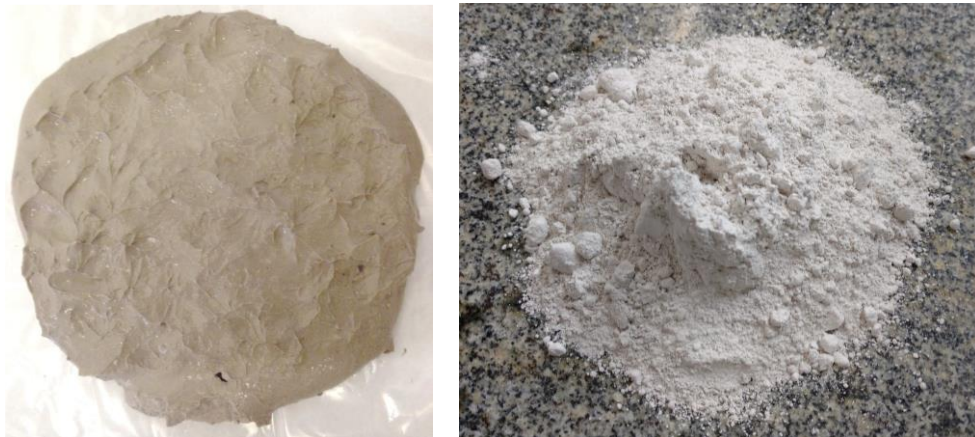
4 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 - CARACTERIZAÇÃO DO REJEITO

O rejeito de polimento foi caracterizado afim de avaliar suas propriedades constatando-se que o mesmo tem aspecto sólido em situação de "pasta" (figura 2) com trabalhabilidade dificultada devido à sua fácil aderência quando úmido. A caracterização foi realizada conforme a NBR 10004/2004 no Laboratório de resíduos sólidos do Iparque sob solicitação da empresa a qual o resíduo foi coletado. De acordo com a caracterização, a umidade residual no momento da coleta é de 37,7% e sua densidade é de 1,51 g/mL.

Após a secagem a pasta se apresenta como uma massa leve e de fácil destorroamento resultando em um material fino e extremamente branco.

FIGURA 1 - Rejeito em forma de "pasta" e após secagem



Fonte: Do autor (2017)

4.1.2 - ANÁLISE QUÍMICA

Para avaliar a composição do rejeito foi realizada a análise química do resíduo. Esta teve por objetivo avaliar as possíveis reações e influencias do resíduo na nova compostagem. O ensaio foi realizado através de difração de raios X em um difratômetro de raios X Oxford X-supreme modelo XS10.

4.2 - CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para a confecção dos corpos de prova foram separados os insumos e levados à secagem em estufa laboratorial até que não apresentassem umidade. Os insumos foram homogeneizados e pesados em balança digital de precisão de 0,1Kg. Com todos os materiais quantificados, a mistura foi realizada em betoneira em única carga e, devido à necessidade de confecção de 54 corpos de prova para cada traço, se fez necessário uma betoneira de 400 L para a concretagem. As compostagens realizadas são descritas na Tabela 2.

TABELA 2 – Compostagem em Kg -

Traço	Água(Kg)	Cimento(Kg)	Brita(Kg)	Areia(Kg)	RPP(Kg)
REF	17,5	40,7	81,4	121,9	0
50% RPP	17,5	40,7	81,4	121,9	20,4

Fonte: Do autor (2017)

Após a mistura estar homogeneizada e o abatimento estar definido foram moldados todos os corpos de prova de prova para cada traço. Estes foram feitos em moldes cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura previamente revestidos com desmoldante, respeitando os procedimentos descritos em norma (NBR 5738/03) para confecção dos mesmos. Todos os corpos foram levados à cura por 28 dias.

4.3 - ANÁLISE DE NECESSIDADE DE ADITIVOS

Para a adequação do abatimento do traço com rejeito foi necessário o acerto com aditivo plastificante.

O aditivo utilizado foi um plastificante de a base de policarboxilatos em proporção de 1,5% sobre a massa de cimento pós composto resultando em um slump test de 10cm com variação de 2 cm acima ou abaixo.

4.4 - SIMULAÇÃO TÉRMICA

Os corpos de prova foram levados à simulação de incêndio com o auxílio de um forno mufla, no laboratório experimental de estruturas - LEE do I-PARQUE (figura 2).

Devido à disponibilidade do equipamento a simulação ocorreu em corpos de prova com idade de 56 dias.

FIGURA 2 - Corpos de prova levados ao forno mufla



Fonte: Do autor (2017)

4.5 - RESISTENCIA À COMPRESSÃO AXIAL E TRAÇÃO DIAMETRAL

Os corpos de prova de ambos os traços, com idade de 28 e 56 dias, foram levados ao ensaio de resistência à compressão axial e diametral para posterior avaliação de melhora de desempenho. O ensaio foi realizado nas dependências do Iparque com o auxílio de uma prensa hidráulica EMIC PC 200 I capacidade de carga 2000kN para realizar a compressão dos corpos de prova. Os ensaios foram realizados conforme as orientações das NBR 5739/2007 e NBR 7222/1994.

FIGURA 3- Ensaio de resistência à compressão axial e tração por compressão diametral



Fonte: Do autor (2017)

4.6 - MÓDULO DE ELASTICIDADE

Outro aspecto que é fundamental e consiste na relação entre as tensões e as deformações das estruturas. Desta maneira o módulo de elasticidade foi avaliado através de ensaios laboratoriais visando a possibilidade de alteração do comportamento do concreto em relação à deformação.

O ensaio foi realizado com uso de prensa hidráulica EMIC PC 200 CS capacidade de carga 2000kN na qual foram aplicadas cargas com posterior cessão de esforço por vários ciclos. Enquanto havia a aplicação e liberação de cargas o corpo de prova tinha seu deslocamento acompanhado via comparador digital como observado na figura 4. O ensaio foi realizado conforme as orientações da NBR 8522/2008.

FIGURA 4 - Ensaio de módulo de elasticidade



Fonte: Do autor (2017)

4.7 - MICROSCOPIA ELETRONICA DE VARREDURA

Após os ensaios de resistência foi realizado a microscopia eletrônica de varredura afim de avaliar a homogeneidade, possíveis zonas de fragilidade além de avaliar sua porosidade.

O ensaio foi realizado com o auxílio de um microscópio eletrônico de varredura ZEISS modelo EVO MA10 (FIGURA 5) com espectrômetros de energia dispersiva BRUKER modelo QUANTAX 200 em corpos de prova cúbicos de 1 cm obtidos através do corte dos corpos de prova e levados à secagem por 24hrs.

Após inseridos no suporte do equipamento, é criado um vácuo para que seja possível obter melhor visualização da superfície.

FIGURA 5 - Microscopia eletrônica de varredura



Fonte: Do autor (2017)

5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 - ANÁLISE QUÍMICA DO RESÍDUO

De acordo os resultados podemos constatar que a quantidade de Sílica e Alumínio predominam na composição do resíduo proveniente do polimento.

TABELA 3 – Composição química do resíduo de polimento

Elemento	Concentração
SiO ₂	65.99 Wt %
Al ₂ O ₃	15.14 Wt %
TiO ₂	0.23 Wt %
Fe ₂ O ₃	0.70 Wt %
CaO	0.52 Wt %
MgO	2.74 Wt %
Na ₂ O	2.30 Wt %
K ₂ O	1.40 Wt %
ZrO ₂	0.12 Wt %

Fonte: Do autor (2017)

Esta informação condiz com o que previamente suposto a respeito da pozolanidade do rejeito, que é uma das obrigatoriedades da NBR 12653, lembrando que um material pozolânico é um material silicoso ou sílico-aluminoso

que, quando finamente moído e na presença de água, reage com hidróxido de cálcio formando compostos com propriedades cimentícias.

5.2 - SIMULAÇÃO TÉRMICA

Para as condições sob simulação de incêndio houve ocorrência do fenômeno spalling no qual foram perdidos todos os corpos de prova.

FIGURA 6- Corpos de prova após simulação de incêndio



Fonte: Do autor (2017)

O spalling se deve ao fato do resíduo possuir valores elevados de materiais expansivos, como quartzo e coríndon, como pode-se perceber no fissuramento interno e externo do corpo de prova da figura 6 representativo da tensão gerada internamente pela expansão dos compósitos do RPP. Segundo Steiner (2011, p. 20) "o quartzo é material sempre presente, e a quantidade varia de acordo com o grau de pureza das areias quartzozas"

5.3 - COMPRESSÃO AXIAL

A quantificação da resistência à compressão axial foi realizada para os corpos que não tiveram exposição térmica com corpos de prova com idade de 28 e 56 dias e avaliados todos os resultados conforme a Tabela 4.

TABELA 4- Resultados da compressão axial sem simulação térmica com idades de 28 e 56 dias

Corpo de prova	Resistência (MPa)			
	28 dias		56 dias	
	REF	50%RPP	REF	50%RPP
CP 1	41,4	59,9	45,5	65,5
CP 2	41	59,8	44,9	64,1
CP 3	40,9	57,9	45,1	67,3
Média	41,1	59,2	45,2	65,6
DesvPad	0,26	1,13	0,31	1,60

Fonte: Do autor (2017)

Constatou-se melhora significativa na resistência à compressão dos corpos de prova com rejeito em temperatura ambiente (23°C). Em média foram obtidos 44% de aumento na resistência, comparado com o traço sem rejeito, nas idades de 28 dias e 45% à 56 dias.

5.4 - TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Através do ensaio de compressão diametral foi constatado um aumento médio de 1 MPa na resistência à tração do concreto sendo que, em média, a resistência à tração se mantém em 10% da resistência à compressão.

TABELA 5 - Resultados da tração por compressão diametral sem simulação térmica aos 28 dias.

Corpo de prova	Resistência (MPa)	
	28 dias	
	REF	50%RPP
CP 1	4,16	5,37
CP 2	3,88	5,02
CP 3	4,43	4,98
Média	4,16	5,12
DesvPad	0,28	0,21

Fonte: Do autor (2017)

5.5 - MÓDULO DE ELASTICIDADE

Os resultados do ensaio de módulo de elasticidade não apresentaram alteração considerável, sendo que podem ser avaliados na Tabela 6.

TABELA 6- Resultados do ensaio de módulo de elasticidade sem simulação térmica aos 28 dias

Corpo de prova	Resistência (MPa)	
	28 dias	
	REF	50%RPP
CP 1	44,69	43,71
CP 2	40,82	40,22
CP 3	40,01	39,98
Média	41,84	41,30
DesvPad	2,50	2,09

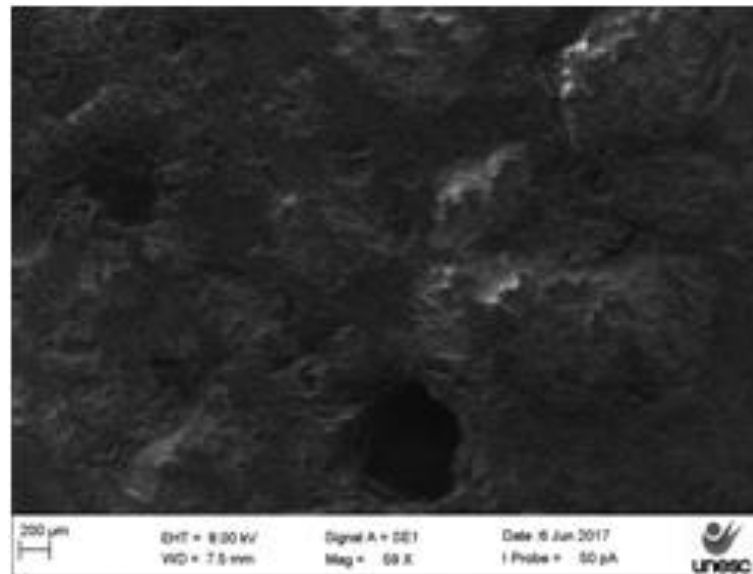
Fonte: Do autor (2017)

Com estes valores é possível concluir que o concreto com adição de rejeito não apresentaria alteração em seu comportamento em relação à deformação.

5.6 - MICROSCOPIA ELETRÔNICA

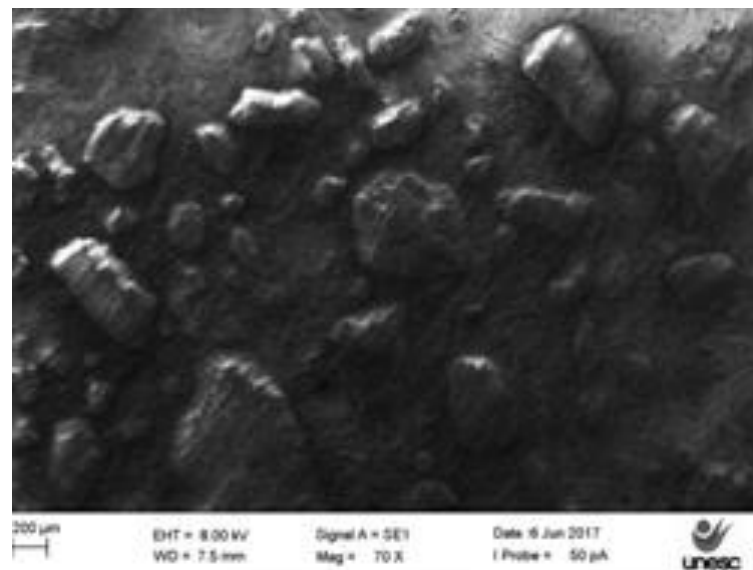
Através da microscopia podemos avaliar melhor a condição do concreto após os testes. As figuras 7 e 8 mostram o comparativo das superfícies sob aumento de 70x.

FIGURA 7 - MEV do traço referencia sob aumento de 70x



Fonte: Do autor (2017)

FIGURA 8 - MEV do traço com resíduo sob aumento de 70x



Fonte: Do autor (2017)

Com a análise comparativa constatou-se a formação de aglomerados de tamanhos diferenciados de rejeito (figura 8). Isto é proveniente da má homogeneização da mistura devido ao resíduo apresentar um comportamento bentonítico, caracterizado pela fácil aglomeração e aderência ao entrar em contato com a água.

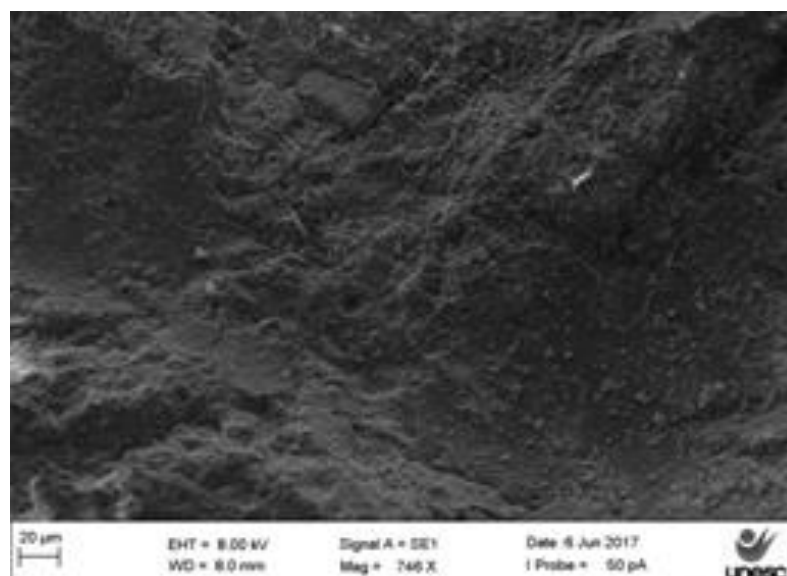
FIGURA 9 - Corpos de prova referencia (esquerda) e teste (direita)



Fonte: Do autor (2017)

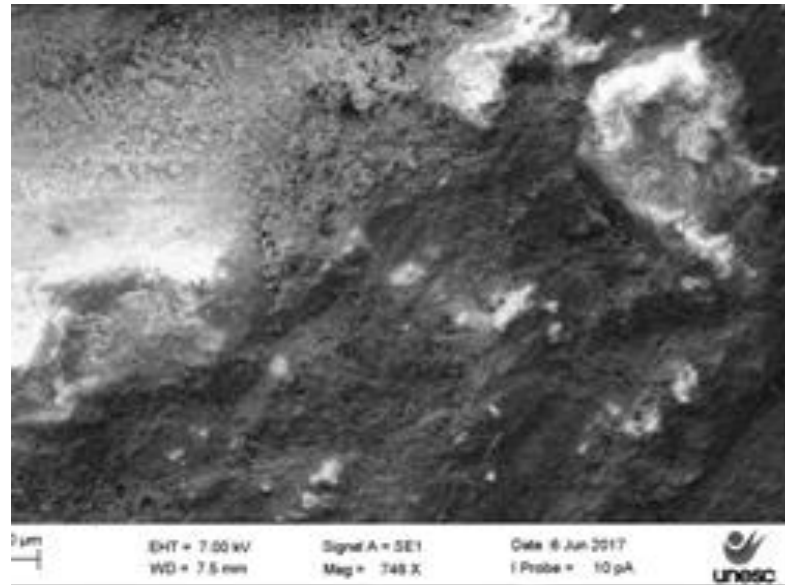
Analisando com uma maior proximidade também é possível observar, nas figuras 10 e 11, que apesar da melhoria na aparência superficial do concreto observada na figura 9 o resíduo tem pouca influencia no fechamento da porosidade devido à sua formação de aglomerados.

FIGURA 10 - MEV do traço referencia sob aumento de 750x



Fonte: Do autor (2017)

FIGURA 11 - MEV do traço com resíduo sob aumento de 750x



Fonte: Do autor (2017)

5.7 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

5.7.1 - RESISTENCIA À COMPRESSÃO AXIAL AOS 28 DIAS

TABELA 7- Resumo da análise estatística da resistência à compressão axial aos 28 dias

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
SEM RPP	3	123,3	41,1	0,07
COM RPP	3	177,6	59,2	1,27

Fonte: Do autor (2017)

TABELA 8- Análise estatística da resistência à compressão axial aos 28 dias

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	491,415	1	491,415	733,4552	<u>1,10527E-05</u>	7,708647
Dentro dos grupos	2,68	4	0,67			
Total	494,095	5				

Fonte: Do autor (2017)

5.7.2 - RESISTENCIA À COMPRESSÃO AXIAL AOS 56 DIAS

TABELA 9- Resumo da análise estatística da resistência à compressão axial aos 56 dias

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
SEM RPP	3	135,5	45,16	0,093
COM RPP	3	196,9	65,63	2,573

Fonte: Do autor (2017)

TABELA 10- Análise estatística da resistência à compressão axial aos 28 dias

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	628,3267	1	628,3267	471,245	2,66403E-05	7,708647
Dentro dos grupos	5,333333	4	1,333333			
Total	633,66	5				

Fonte: Do autor (2017)

5.7.3 - RESISTENCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

TABELA 11- Resumo da análise estatística da resistência à compressão axial aos 28 dias

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
SEM RPP	3	12,36	4,12	0,049
COM RPP	3	15,37	5,123333	0,046

Fonte: Do autor (2017)

TABELA 12- Análise estatística da resistência à compressão axial aos 28 dias

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1,510017	1	1,510017	31,5793	0,00493	7,708647
Dentro dos grupos	0,191267	4	0,047817			
Total	1,701283	5				

Fonte: Do autor (2017)

5.7.4 - MODULO DE ELASTICIDADE

TABELA 13- Resumo da análise estatística da resistência à compressão axial aos 28 dias

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
SEM RPP	3	123,91	41,303	4,358
COM RPP	3	124,51	41,503	8,444

Fonte: Do autor (2017)

TABELA 14- Análise estatística da resistência à compressão axial aos 28 dias

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,06	1	0,06	0,009373	0,927531	7,708647
Dentro dos grupos	25,60533	4	6,4013333			
Total	25,66533	5				

Fonte: Do autor (2017)

6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral pode-se concluir que a adição de resíduo de polimento de porcelanato ao concreto apresenta melhorias expressivas em relação à suas características mecânicas. Em média houve melhora, da compressão axial, de 18 MPa aos 28 dias e 20 MPa aos 56 dias resultando em um aumento aproximadamente 45% quando comparado ao traço padrão. A resistência à tração avaliada por compressão diametral obteve melhora média de 1 MPa cerca de 24% do valor referencial. Os resultados avaliados, com exceção do módulo de elasticidade, se apresentaram estatisticamente significativos, com 95% de certeza, após avaliação ANOVA. O traço com resíduo apresentou deficiência quando avaliado seu desempenho se exposto à temperaturas elevadas, devido ao comportamento aglomerante e expansivo do rejeito.

7 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Avaliar método de inibir a aglomeração do resíduo.

Avaliar um percentual máximo de rejeito no qual seja possível a exposição à temperatura.

Estudo do comportamento deste concreto em situação armada ao longo do tempo.

8 - REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. F. **As estruturas de concreto armado e o fogo – comportamento – conseqüências – restauração**. São Paulo: PCC-EPUSP, 1984. (Dissertação de mestrado – Escola politécnica da Universidade de São Paulo)

A. Rendtel, H. Hübner , C. Pagliosa Neto. Avaliação do Desempenho Mecânico a Alta Temperatura de Composições Refratárias com Alto Teor de Alumina. **Cerâmica industrial**, São Paulo, v.01 n. 04/05, ago./dez., 1997. Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v02n34/v2n34_1.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2016.

BERTO (1988) **Resistência ao fogo**. In: Tecnologia edificações. São Paulo. Ed. Pini, Pg. 361-364.

BIFFI, Giovanni. **O grês porcelanato**: manual de fabricação e técnicas de emprego. 3.ed. São Paulo: Faenza Editrice do Brasil, 2002.

DAGOSTIM, Bruna Rech. Fabricação de Pavimentos Cerâmicos e Cerâmica Celular a partir da Reutilização de Resíduos Sólidos – Adequação Laboratorial e Industrial. **Cerâmica Industrial**, v. 01, n. 04/05, nov./dez., 2008. Disponível em: < <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v13n06/v13n6a05.pdf>>. Acesso em: 04 set. 2016.

HECK, Clarice. Gres Porcelanato. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 01, n. 04/05, ago./dez., 1996. Disponível em:

<http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v01n45/v1n45_3.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2016.

LIMA, R.C.A.; **Investigação do comportamento de concretos em temperaturas elevadas**. Porto Alegre, 2005. (Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul).

MARQUES, L. N. *et al.* **Re-aproveitamento do resíduo do polimento de porcelanato para utilização em massa cerâmica**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.2, n. 2, p. 34-42, 2007. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/260388017_Re-aproveitamento_do_residuo_do_polimento_de_porcelanato_para_utilizacao_em_massa_ceramica>. Acesso em: 18 ago. 2016.

METHA, P. Kumar, MONTEIRO, Paulo J. M. **“Concreto — estrutura, propriedades e materiais”**. Ed. PINI. São Paulo, 2008.

ODEEN (1985). **Fire resistance of wood structures**. V. 21, nº1, pg 34-40.

PURIFICAÇÃO, Eduardo Bruno da. **Estudo do uso de agregados reciclados de concreto e substituição do cimento por resíduo de polimento de porcelanato na produção de piso intertravado de concreto**. 2009. 104f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em:<<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/ISMS-84XLBK>>. Acesso em: 16 ago. 2016

RIOS, F.C.M. **Um estudo das propriedades mecânicas do concreto submetido a elevadas temperaturas para dar suporte ao gerenciamento de riscos ed incêndioem edificações**. Recife, 2005. (Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE).

SANTOS, P.F., CALADO, C.R., SILVA, S.N., PINHEIRO, I.P. **Reaproveitamento do resíduo proveniente do polimento do porcelanato na produção de novos produtos cerâmicos.** In: 37º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, p.2, 2014, Belo Horizonte, MG.

SILVA, Daiane dos Santos da. **Propriedades Mecânicas Residuais Após Incêndio De Concretos Usados Na Construção Civil Na Grande Florianópolis.** 2009. 102 f. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) Área de Concentração: Estruturas - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

STEINER, Luiz Renato. **Efeito do rejeito de polimento do porcelanato na fabricação de blocos de concreto de cimento portland.** 2011. 43f. Monografia (Especialização) - Universidade do Extremo Sul de Santa Catarina - UNESC. 2011