

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ

BETYNA ALESSANDRA RODRIGUES DE SOUZA

**COMPARATIVO ENTRE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE GARRAFA
PET E CONCRETO CONVENCIONAL, SUBMETIDOS A TEMPERATURAS
ELEVADAS**

CASCABEL – PR

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ

BETYNNA ALESSANDRA RODRIGUES DE SOUZA

**COMPARATIVO ENTRE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE GARRAFA
PET E CONCRETO CONVENCIONAL, SUBMETIDOS A TEMPERATURAS
ELEVADAS**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professora orientadora: Eng. Civil Me. Andréa Resende Souza

CASCADEL – PR

2017

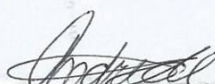
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

BETYNA ALESSANDRA RODRIGUES DE SOUZA

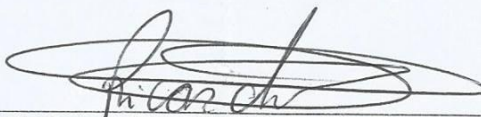
**COMPARATIVO ENTRE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE GARRAFA
PET E CONCRETO CONVENCIONAL, SUBMETIDOS A TEMPERATURAS
ELEVADAS**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da Professora **Eng. Civil Me. Andrea Resende Souza**.

BANCA EXAMINADORA



Orientadora Prof^a. Eng. Civil Me. **Andrea Resende Souza**.
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil



Professor Eng. Civil Esp. **Ricardo Paganin**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil



Professor Eng. Civil Esp. **Jefferson Teixeira Olea Homrich**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil

Cascavel, 10 de Junho de 2017.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe, minha rainha, que me apoiou e me incentivou sem desistir, durante esses 5 anos...

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela benção da vida, pela saúde e pela determinação que me concedeu para tornar possível o sonho de ser engenheira civil. E mesmo com todas as dificuldades, jamais permitiu que eu desistisse.

Agradeço imensamente a minha mãe e rainha Gelci, que lutou bravamente para que eu chegasse até aqui, e que mesmo com todos os problemas, não mediu esforços para me ajudar. Sempre me incentivou e me aconselhou nos momentos difíceis, impedindo que eu desistisse. A ela, e somente ela, dedico meus mais sinceros agradecimentos.

A minha família, meu pai Luiz Carlos e meu irmão Glaucos Luiz que durante todo esse tempo foram companheiros, me apoiaram e me incentivaram para que eu buscasse sempre um futuro melhor.

Ao meu melhor amigo e companheiro Daniel Lucas Müller, que muitas vezes fez mais do que estava ao seu alcance para me ajudar a chegar até aqui. Foi meu alicerce, meu porto seguro e meu conselheiro por toda essa trajetória. E que também permitiu que eu encontrasse na sua companhia momentos de descanso e tranquilidade.

Aos meus colegas e, sobretudo amigos Rafael Bandeira e Mayra Kaffer, que me proporcionaram momentos de descontração e sempre torceram pela minha vitória. E que mesmo tendo outras tarefas, jamais hesitaram em me ajudar.

A minha amiga e conselheira Daiane Caroline, por estar sempre disposta a me receber e compartilhar suas tardes comigo, em meio a tanto estudo e trabalho. Pelo companheirismo, conversas e risadas que me ajudaram a espairecer.

E por último, mas não menos importante, agradeço aos meus professores por todo conhecimento transmitido. Em especial a minha orientadora Andréa Resende Souza, que me auxiliou na escolha do tema, no desenvolvimento deste projeto e principalmente por ter paciência comigo nos momentos de ansiedade, estresse e nervosismo.

RESUMO

Em função de sua resistência contra intempéries, o baixo custo e a pouca necessidade de manutenção, o concreto tornou-se material indispensável quando o assunto é elemento estrutural. Entretanto, quando o assunto é concreto frente a elevadas temperaturas, algumas de suas características mecânicas tendem a diminuir com o aumento desta. Com essas alterações nas características mecânicas, ocorre o surgimento de algumas manifestações patológicas específicas como lascamentos, estalos e fissuras em função do choque térmico. Com o objetivo de amenizar, ou retardar estas manifestações patológicas, utilizou-se fibras de PET provenientes de garrafas recicladas. Estas fibras foram recortadas manualmente, com dimensões de 5x30mm, para serem adicionadas a um concreto com resistência após vinte e oito dias de 30 MPa, produzido nos laboratórios do Centro Universitário FAG. O concreto foi analisado em diferentes temperaturas, desde temperatura ambiente de 20°C até temperatura de 900°. Estas análises foram feitas em função da coloração e da resistência do corpo de prova. Ao comparar os resultados, foi possível perceber há diferença de resistência quando se aumenta a temperatura. Entretanto, ao comparar os corpos de prova com e sem PET, percebeu-se que há uma diferença de aproximadamente 20% entre os mesmos em temperatura ambiente, tornando possível a utilização de fibras de PET em peças de concreto que não terão finalidade estrutural.

Palavras-chave: Fibras de PET, concreto, concreto com fibras, concreto sustentável.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dimensões médias das fibras.....	22
Figura 2 - Fibras de PET adicionadas no concreto.....	23
Figura 3 - Corpos de prova moldados	26
Figura 4 - Corpos de prova na câmara úmida.....	26
Figura 6 - Abatimento do concreto convencional	28
Figura 5 - Procedimento <i>Slump Test</i>	28
Figura 7 - Abatimento do concreto com PET.....	29
Figura 8 - Forno câmara.....	30
Figura 9 - Amostras no forno	30
Figura 10 - Corpos de prova submersos.....	31
Figura 11 - Termômetro a laser.....	31
Figura 12 - Corpo de prova na prensa hidráulica para ensaio de compressão.....	33
Figura 13 - Aspecto dos corpos de prova antes do forno	34
Figura 14– Abatimento concreto sem PET	36
Figura 15 – Abatimento concreto com PET	36
Figura 16 – Resistência à compressão das amostras	37
Figura 17 – Evolução da resistência com o aumento da temperatura.....	38
Figura 18 – Diferentes colorações do concreto.	39
Figura 19 - Cisalhamento total dos corpos de prova.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição de amostra para cada temperatura	29
Tabela 2– Abatimento.	35

SUMÁRIO

1.	CAPÍTULO 1.....	10
1.1.	INTRODUÇÃO	10
1.2.	OBJETIVOS	10
1.2.1.	Objetivo geral.....	10
1.2.2.	Objetivos específicos.....	11
1.3.	JUSTIFICATIVA.....	11
1.4.	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	11
1.5.	DELIMITAÇÃO DE PESQUISA.....	12
2.	CAPÍTULO 2.....	13
2.1.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1.1.	Concreto	13
2.1.1.1.	Cimento	13
2.1.1.2.	Agregados.....	14
2.1.1.3.	Água	14
2.1.1.4.	Aditivos	15
2.1.1.5.	Propriedades no estado fresco	15
2.1.1.5.1.	Trabalhabilidade.....	15
2.1.1.5.2.	Ar incorporado	15
2.1.1.6.	Propriedades no estado endurecido	16
2.1.1.6.1.	Resistências mecânicas.....	16
2.1.1.7.	Propriedades térmicas.....	16
2.1.2.	Concreto frente a elevadas temperaturas.....	17
2.1.3.	Concreto com adição de fibras	18
2.1.3.1.	Generalidades	18
2.1.3.2.	Concreto com fibras poliméricas.....	19
2.1.3.2.1.	Concreto com polietileno tereftalato (PET).....	19
2.1.3.3.	Sustentabilidade ambiental.....	19
2.1.3.4.	Fibras de PET para minimizar riscos ao concreto submetido a elevadas temperaturas.....	20
3.	CAPÍTULO 3.....	22
3.1.	METODOLOGIA	22
3.1.1.	Composição do concreto	22
3.1.1.1.	Cimento e agregados	22
3.1.1.2.	Fibras de garrafas PET	22

3.1.1.3.	Traço	23
3.1.2.	Fabricação do concreto.....	23
3.1.2.1.	Moldagem das amostras	24
3.1.2.1.1.	Adensamento	25
3.1.3.	<i>Slump Test</i>	27
3.1.4.	Temperaturas elevadas	29
3.1.5.	Ensaio de resistência à compressão.....	32
4.	CAPÍTULO 4	35
4.1.	RESULTADOS ESPERADOS	35
4.1.1.	Caracterização do Concreto.....	35
4.1.1.1.	Ensaio de Abatimento no Estado Fresco.....	35
4.1.1.2.	Ensaio de Resistência à Compressão.....	37
4.1.2.	Análise Visual	39
5.	CAPÍTULO 5	41
5.1.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
6.	CAPÍTULO 6	42
6.1.	RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS	42
	REFERÊNCIAS	43

1. CAPÍTULO 1

1.1. INTRODUÇÃO

Sendo um dos materiais mais utilizados na construção civil, o concreto vem sendo cada vez mais estudado, principalmente quando se trata da possibilidade de adição de materiais alternativos em sua composição, visando obtenção de melhorias em suas propriedades físicas e mecânicas, além de proporcionar economia e ser excelente opção de destino para materiais recicláveis.

As pesquisas, em geral, buscam por materiais que, ao serem adicionados ao concreto, proporcionem algum benefício para seu desempenho e melhorias em suas características, como resistência, trabalhabilidade, etc. Entre esses materiais, encontra-se o polietileno tereftalato, mais conhecido como PET (Polietileno Tereftalato), material descartável que ainda não possui um destino adequado no meio ambiente, mas que seu uso como aditivo ao concreto submetido a elevadas temperaturas já está sendo estudado.

A ciência tem como base de pesquisa a teoria de RLE (1997*apud* NINCE, 2007), a qual sugere o uso de fibras de garrafas PET no concreto, devido ao seu ponto de fusão que é consideravelmente baixo. Logo, frente a elevadas temperaturas, essa adição proporciona o surgimento de pequenos vazios que facilitam a dispersão da pressão causada pelo calor e minimizam as tensões de tração interna. Consequentemente, é possível reduzir o risco de ruína da peça.

O objetivo deste trabalho é comparar o comportamento físico e mecânico do concreto com adição de fibras de garrafas PET, já no seu estado endurecido, tendo como referência comparativa o concreto convencional, ambos submetidos a elevadas temperaturas e posteriormente, choque térmico.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

Comparar as propriedades mecânicas do concreto aditivado com fibras de garrafas PET com o concreto convencional, ambos submetidos a elevadas temperaturas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Confeccionar, em laboratório, corpos de prova de concreto convencional e concreto aditivado com fibras de PET, ambos com o mesmo traço;
- Submeter parte dos corpos de prova de cada mistura a temperaturas elevadas;
- Levantar as propriedades mecânicas para as diferentes misturas;
- Verificar a consistência de ambas as misturas;

1.3. JUSTIFICATIVA

Conforme informações encontradas em Eco UNIFESP (2006), as garrafas PET levam aproximadamente quatrocentos anos para se decompor. Tempo considerável quando se tem uma luta grande em prol do meio ambiente. Com isso necessita-se de outros fins para esse tipo de material ao invés de aterros sanitários.

A rentabilidade do mercado de reciclagem das embalagens plásticas no Brasil, assim como em outros países desenvolvidos, mostra aspectos atraentes para iniciativas empresariais do setor, com reflexos socioeconômicos diretamente relacionados com a melhoria da qualidade de vida da população, geração de renda, economia de recursos naturais e atenuação de problemas ambientais (FORLIN e FARIA, 2002).

A busca de unir os materiais recicláveis com a construção civil é grande, uma vez que essa união favorece tanto a construção civil, que terá matéria prima barata, como o meio ambiente, que terá menor índice de materiais descartáveis ocupando espaço. Observando resultados de outras pesquisas sobre esta parceria, nota-se que a maioria dos resultados são favoráveis, tais como emprego de vidro, EPS, pneus, garrafas PET, entre outros.

Em função disso é que surgiu este trabalho, com o qual se espera, além de diminuir os impactos ambientais e econômicos, obter bons resultados mecânicos da composição concreto mais fibras de PET frente a elevadas temperaturas, e com isso aumentar a segurança da estrutura, tornando assim viável o emprego de fibras de garrafas PET no concreto.

1.4. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Ao adicionar fibras de PET no concreto e submeter a elevadas temperaturas provocando um choque térmico posterior, é possível obter resultados mecânicos que retardam o ponto de ruptura?

1.5. DELIMITAÇÃO DE PESQUISA

A pesquisa limita-se a comparar os resultados do ensaio de compressão, além das características visuais do concreto aditivado com fibras de PET e do concreto convencional, quando ambos estão submetidos a elevadas temperaturas e posteriormente recebem choque térmico. Esta comparação será efetuada através de corpos de prova cilíndricos, que depois de atingir a resistência necessária, serão colocados em um forno durante trinta minutos e posteriormente será realizado o ensaio de compressão. Espera-se obter resultados favoráveis dessa mistura tornado viável seu uso. Assim a construção civil torna-se uma opção de descarte para garrafas PET.

2. CAPÍTULO 2

2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1. Concreto

O concreto é um material constituído por uma mistura de aglomerante com um ou mais materiais inertes, e água. Quando recém-misturado, deve apresentar plasticidade, ou seja, mobilidade da mistura, facilitando as operações de manuseio indispensáveis ao lançamento nas formas, adquirindo com o tempo, coesão e resistência (PETRUCCI, 1998).

Segundo Neville (1982), o concreto pode ser elaborado com qualquer tipo de cimento. Além de poder receber adição de pozolanas, como cinza volante, escória de alto-forno, sílica ativa, agregados de concreto reciclado, polímeros e fibras.

Em sua microestrutura, o concreto é bem mais complexo. Cada um de seus componentes - a pasta de cimento e o agregado - microscopicamente, possuem estruturas bem heterogêneas. A parte da pasta de cimento que envolve o agregado tem características bem diferentes do restante da pasta, e é conhecida por zona de transição. É a fase mais dinâmica da microestrutura do concreto e influencia fortemente as características do concreto endurecido (METHA e MONTEIRO, 2008).

2.1.1.1. Cimento

A pasta de cimento é a mistura entre aglomerante do cimento hidráulico e água, sendo responsável pelo envolvimento dos agregados (MENESES, 2011). Na macroestrutura do concreto, a pasta de cimento é quase tão densa quanto o agregado. No entanto, em sua microestrutura é possível perceber áreas mais porosas do que outras. Isso se deve, principalmente, a velocidade de hidratação do cimento e está diretamente ligada a relação água/cimento ou a idade de hidratação (METHA e MONTEIRO, 2008). Vale salientar que a hidratação da pasta de cimento não ocorre de forma homogênea. As reações químicas variam de acordo com o composto, os aluminatos se hidratam mais rápido que os silicatos (PAULON, 2005).

2.1.1.2. Agregados

Considerando-se o fato de que os agregados compõem cerca de 70% do concreto, é natural a grande influência do tipo de agregado nas propriedades térmicas e na resistência mecânica de concretos submetidos a elevadas temperaturas (MORENO e SOUZA, 2010).

Segundo Neville (1982), no início da utilização de agregados, os mesmos tinham como função apenas diminuir a quantidade de cimento e promover um concreto econômico, já que eram considerados materiais inertes. Contudo, é possível observar que os agregados possuem propriedades físicas e químicas que podem alterar o desempenho do concreto, tanto para produzir um concreto resistente, quanto para, devido à presença de algumas propriedades indesejáveis, comprometer a vida útil deste.

A atuação do agregado na resistência do concreto costuma ser desprezada. Normalmente, a resistência dos agregados não é considerada porque suas partículas são muito mais resistentes do que a matriz e a zona de transição. Entretanto, existem outras propriedades dos agregados, como tamanho, forma e textura, que, comprovadamente atuam na resistência do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

2.1.1.3. Água

Ao executar o traço do concreto, é extremamente importante cuidar para que se tenha um fator a/c ideal, evitando carência ou excesso de água na mistura, a fim de permitir que o concreto alcance o ápice de sua resistência. Em caso de carência de água, a hidratação da peça ocorrerá de forma incompleta, impedindo o alcance da máxima resistência. Já em caso de excesso de água, após término da hidratação do cimento, essa sobra formará alguns vazios no interior da peça, os quais provocam a diminuição da resistência e da impermeabilidade do concreto (NEVILLE, 1982).

Alves (1993) afirma que, apesar de que nem todas as águas ideais para o concreto são potáveis, a água potável pública fornecida é considerada adequada ao uso na execução do concreto. Contudo, a água deve ser isenta de impurezas, tais como matéria orgânica, resíduos sólidos, açúcares e etc (BALLARIN, 2003).

2.1.1.4. Aditivos

Segundo a NBR 11768 – Aditivos para concreto de cimento Portland - tratam-se de aditivos os produtos que modificam algumas propriedades do concreto, no sentido de melhorar determinadas condições.

Para Modro (2008), existem grandes variedades de produtos com diferentes funções utilizados como aditivos de concreto de cimento Portland. Alguns deles têm como objetivo acelerar ou retardar a pega, reduzir evaporação, incorporar ar, controlar hidratação, expandir e plastificar.

A função do aditivo é, basicamente, melhorar as características e o desempenho do concreto. Por conta disso é que esses gêneros de produtos estão se tornando parte indispensável do concreto para determinadas situações, podendo modificar positivamente algumas de suas propriedades.

2.1.1.5. Propriedades no estado fresco

2.1.1.5.1. Trabalhabilidade

Conforme Bauer (1997), a trabalhabilidade do concreto é uma das propriedades mais importantes e predominantes que depende diretamente da dosagem. Esta propriedade é dada em função da consistência do concreto, a qual é obtida através do *Slump Test*.

A resistência e a durabilidade de um concreto misturado nas proporções adequadas podem ser alteradas pelo grau de compacidade; portanto, é importante que a consistência da mistura permita que o concreto possa ser transportado, lançado e adensado com facilidade e sem segregação. Logo, um concreto que satisfaça a estas condições, é qualificado trabalhável, propriedade essa considerada fundamental do concreto no estado fresco (NEVILLE, 1997).

2.1.1.5.2. Ar incorporado

O ar incorporado no concreto é definido como ar introduzido intencionalmente por meio de um agente apropriado. Este deve ser claramente distinguido do ar aprisionado acidentalmente. Os dois tipos de ar diferem pelas dimensões das bolhas. As bolhas de ar incorporado têm diâmetro da ordem de 0,05mm”, enquanto que as de ar acidental formam

bolhas maiores, algumas tão grandes como as falhas superficiais comuns do concreto (NEVILLE, 1982).

2.1.1.6. Propriedades no estado endurecido

Segundo Neville (1982), as propriedades do concreto endurecido dependem totalmente da água, primeiro nas reações de hidratação do cimento e as transformações físico-químicas posteriores, como início e fim de pega, calor de hidratação, retração, entre outras.

2.1.1.6.1. Resistências mecânicas

Segundo Metha (1994), o concreto, em seu estado endurecido, possui como principal característica os esforços mecânicos de tração e compressão.

O concreto pode atingir valores bem variados para resistência à compressão de acordo com a sua composição. Existem concretos normais com resistências que variam de 15 MPa a 65 MPa, e os valores mais comuns para a resistência à compressão desse material se encontram entre 20 MPa e 35 MPa (GUPTA, 2014).

A resistência à compressão do concreto é a principal propriedade da mistura, já que é ela que determina a qualidade do material. Geralmente, a resistência possui valor variado, em função da quantidade de fatores que, quando mal executados, causam interferência em suas propriedades, sendo ele transporte, lançamento e cura.

Figueiredo (2000) afirma que adicionar ao concreto fibras de garrafas PET, pode, em alguns casos, diminuir a resistência à compressão, em função de uma compactação mal executada.

2.1.1.7. Propriedades térmicas

Segundo Souza (1998), o concreto, como material de construção, sofre alterações em suas propriedades ao longo do tempo, denominada deterioração, a qual pode comprometer o desempenho da estrutura. Os diversos constituintes do concreto reagem de forma diferente frente a essas alterações.

Neville (1997), afirma que os concretos com baixa condutividade térmica têm melhor resistência ao fogo, de modo que, por exemplo, concretos leves resistem mais ao fogo do que concretos comuns. Contudo, o concreto não foi proposto para ficar íntegro quando submetido

ao fogo, porém é de suma importância que a estrutura permaneça preservada a fim de garantir a segurança de pessoas que estiverem próximas.

2.1.2. Concreto frente a elevadas temperaturas

O comportamento do concreto em altas temperaturas é influenciado não somente pelas condições prevalentes durante o aquecimento, mas também pelo histórico do material antes do aquecimento. Isto inclui as condições desde o princípio de sua mistura, cura, histórico de cargas e umidade, até o momento do ensaio (LIMA, 2005).

Conforme explica Figueiredo, Costa e Silva (2002), os acréscimos da temperatura dos elementos estruturais, resultantes dos incêndios, provocam modificações no micro e na macroestrutura do concreto.

Ao analisar as propriedades químicas dos materiais que compõe o concreto, é possível observar diferentes coeficientes de dilatação térmica. Em função disso, ao elevar a temperatura, o concreto pode sofrer os diferentes efeitos como variações na cor, diminuição da resistência, fissuras, esfarelamento superficial, e em alguns casos ocorre adesagração do elemento (lascamentos).

Algumas pesquisas revelam que a probabilidade de lascamentos durante um incêndio aumenta com a esbeltes de elementos estruturais e a ocorrência de altas tensões de compressão na seção, ao longo de um incêndio (COSTA e SILVA, 2002).

Segundo Ferreira (1998), as formas de desagregação do concreto submetido a elevadas temperaturas é olascamento, conhecido como “*spalling*” e o esfarelamento da superfície. O esfarelamento da superfície ocorre devido à exposição do material à ação térmica, enfraquecendo o concreto e, conseqüentemente, reduzindo sua resistência. Já o lascamento, Purkiss(1996) explica que existem duas maneiras de ocorrer. Conforme Ferreira(1988) e Melhado(1988), a primeira é “lascamento explosivo”, que ocorre de forma violenta e instantânea, causando liberação de energia. A segunda maneira é delaminação gradual, de grande extensão, a qual resulta em novas camadas de concreto expostas às temperaturas elevadas e isso permite que ocorra novos lascamentos.

Algumas bibliografias específicas do assunto (BAUER, 1994 e PURKISS, 1996) citam que as amostras de concreto sofrem também, além da desagregação, variações na coloração, provenientes das temperaturas elevadas. Essas alterações na cor ocorrem devido areação entre calor e alguns compostos químicos presentes no concreto, como óxido ou hidróxidos de ferro.

Em relação à resistência à compressão, existem algumas divergências em bibliografias. Petrucci(1973) afirma que a partir de 300°C, ocorre uma importante redução da resistência e a partir de 600°C a resistência da amostra sofre uma perda de aproximadamente 50% de sua resistência inicial. Já Georgali e Tsakiridis(2004) afirmam que a perda inicial de resistência é observada entre 200°C e 250°C, e a 300°C é percebida uma redução de apenas 15% a 40% na resistência da amostra. A redução de 50% ou mais da resistência, só é percebida quando a amostra atingir temperatura igual ou superior a 550°C.

2.1.3. Concreto com adição de fibras

2.1.3.1. Generalidades

Existem vários tipos de fibras envolvendo o estudo de reforços de materiais da construção (METHA e MONTEIRO, 2008). O emprego de fibras descontínuas adicionadas aleatoriamente ao concreto desenvolveu-se a partir de 1960, quando surgiu no mercado novos produtos tais como fibras poliméricas, metálicas, vegetais e minerais. Os primeiros estudos e pesquisas dirigidos à aplicação e utilização do concreto reforçado com fibras, tiveram início a partir de 1971, nos Estados Unidos.

A adição de fibras promove a melhoria da ductilidade e da tenacidade. Essa melhoria se deve ao fato das fibras minimizarem o surgimento das fissuras assim como seu crescimento. Desta forma, permite-se que o compósito absorva mais energia, devido à deformação, ao arrancamento e ruptura das fibras (CAETANO, 2004).

Existem dois tipos básicos de fibras de polipropileno: monofilamentos e fibriladas. As fibras chamadas de monofilamentos consistem em fios cortados em comprimento padrão. Já as fibriladas apresentam-se como uma malha de finos filamentos de seção retangular. A estrutura em malha das fibras de polipropileno fibrilado promove um aumento de adesão entre a fibra e a matriz, devido a um efeito de intertravamento. O uso das fibras de polipropileno disperso aleatoriamente na massa de concreto estabiliza a abertura das fissuras nas primeiras horas (FIGUEIREDO, 1997).

Segundo Mindness (1994), podem ser utilizados para reforçar o concreto, vários tipos de fibras, como: aço, polipropileno, carbono, vidro, nylon, celulose e polietileno. No entanto, as fibras mais utilizadas atualmente com esse propósito são as de aço e polipropileno.

2.1.3.2. Concreto com fibras poliméricas

As fibras poliméricas, como as de polipropileno (PP), já são utilizadas no concreto há um bom tempo. Sua aplicação tradicional tinha o objetivo de promover um maior controle da fissuração nas primeiras idades ou proporcionar a proteção passiva do concreto durante incêndios (FIGUEIREDO E TANESI, 2002).

2.1.3.2.1. Concreto com polietileno tereftalato (PET)

Nesse trabalho foi utilizado o polietileno tereftalato (PET). Segundo ABIPET (2016), o PET é um polímero termoplástico da família dos poliésteres. Embora seja muito conhecido hoje através das garrafas plásticas, o material iniciou sua trajetória na indústria têxtil.

A utilização de garrafas PET vem aumentando com o passar dos anos. Seu uso está cada vez maior na utilização de embalagens, principalmente de refrigerantes. Contudo, o PET torna-se cada vez mais comum nos lixos urbanos, e como consequência disso, causa grandes problemas e preocupações à natureza.

Conforme NBR 10004 (2004) - Resíduos sólidos, é possível observar a classificação do PET:

“4.2.2.2 Resíduos Classe II B – Inertes

Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizadas, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor”.

Segundo Canellas (2005) e a NBR 10004(2004), as garrafas PET são materiais inertes, isto é, mesmo sendo descartadas erroneamente, este material não causa contaminação no solo ou em lençóis freáticos.

2.1.3.3. Sustentabilidade ambiental

A reciclagem de PET no Brasil é uma das mais desenvolvidas do mundo. Conta com alto índice de reciclagem e uma enorme gama de aplicações para o material reciclado, criando uma demanda constante e garantida (ABIPET, 2016).

Em geral, a reciclagem do PET pode ocorrer de três maneiras: (1) Reciclagem química – separando componentes da matéria-prima do PET; (2) Reciclagem energética – na qual o resíduo pode ser aproveitado nas centrais termelétricas; (3) Reciclagem mecânica – processo no qual é realizada a coleta seletiva, a produção de flocos e a reutilização do material para a produção de outros produtos, inclusive embalagens, mas para fins não-alimentícios (ABIPET, 2016).

A produção brasileira de PET em 2012 foi de 562 mil toneladas, sendo 59% – 331 mil toneladas recicladas (ECODEBATE, 2014). Contudo, é preciso aumentar esta porcentagem, proporcionando mais destinos corretos para esse material. Uma dessas opções de destino é a construção civil.

2.1.3.4. Fibras de PET para minimizar riscos ao concreto submetido a elevadas temperaturas

Segundo ABIPET (2011), o PET é um material sensível a temperatura elevada, principalmente quando há presença de água e/ou oxigênio. A presença de oxigênio favorece o processo de degradação oxidativa e degradação térmica, provocando a quebra das cadeias e reduzindo o peso molecular do polímero.

O polietileno tereftalato (PET), quando sob o efeito da temperatura e pressão, amolece e flui, podendo ser moldado nessas condições. Pode ser posteriormente remodelado por meio de exposição à aplicação de pressão e temperatura, tornando-se, assim, material reciclável (PEZZIN, 2007).

Com o propósito de evitar o lascamento e a degradação do concreto submetido a elevadas temperaturas, adiciona-se fibras de PET na mistura, visto que as fibras causarão vazios os quais serão responsáveis pela fuga do vapor, dissipando a pressão.

A água presente na mistura do concreto tende a virar vapor quando submetida a altas temperaturas. Se o concreto não possuir rotas de fuga para esse vapor, o mesmo irá sofrer aumento no poro pressão e conseqüentemente, a tendência ao lascamento.

Almeida (2003) afirma que ocorre um acréscimo de pressão nos poros do concreto fazendo com que, em elevadas temperaturas, parte da água condense devido à influência de pressão na tensão de superfície dos líquidos. Atingindo 100°C, o vapor aumentará, causando a movimentação da água em estado líquido ou gasoso.

Segundo Kitchen (2001) *apud* LIMA (2005), ao submeter as fibras de garrafas PET a uma temperatura aproximada de 160°C, as mesmas iniciam um processo de derretimento,

ficando com um aspecto viscoso. Em decorrência, ocorre a redução do volume ocupado por cada fibra, e conforme a temperatura vai aumentando, as fibras vão se degradando cada vez mais, até que em uma temperatura próxima a 360°C entram em ignição. Nesse instante, cada fibra se torna pó e ocupa um volume aproximado de 5% de seu volume inicial. Com esse aumento de vazios, o concreto fica com caminhos que proporcionam a dissipação do vapor gerado pelo aumento de temperatura, evitando assim, lascamentos explosivos.

3. CAPÍTULO 3

3.1. METODOLOGIA

Será apresentada a seguir, a caracterização dos materiais que farão parte do processo experimental, bem como o traço utilizado na composição dos corpos de prova, sistema de cura e a metodologia utilizada para realização dos ensaios mecânicos.

A moldagem dos corpos de prova e o aquecimento dos mesmos foram realizados nos Laboratórios de Construção Civil e Mecânica dos Solos da FAG, respectivamente, tendo como base as normas técnicas vigentes. Foram moldados 20 (vinte) corpos de prova, sendo dez com concreto convencional e dez com aditivo de PET, que foram avaliados depois do aquecimento.

3.1.1. Composição do concreto

3.1.1.1. Cimento e agregados

O cimento utilizado foi o cimento Portland – CII-Z da marca *Votoran*, adquirido em um material de construção, assim como todos os outros materiais. O fabricante afirma que este cimento está de acordo com a NBR 11578/1991 – Cimento Portland composto – Especificação. Para os demais agregados utilizou-se brita 01, areia média e água.

3.1.1.2. Fibras de garrafas PET

As garrafas foram recortadas manualmente em pequenas tiras com largura igual a 5mm e comprimento de 30mm, conforme Figura 1, sendo estas suas dimensões médias.

Figura 1 - Dimensões médias das fibras.



Fonte: Autora, 2016.

3.1.1.3. Traço

Para elaboração do concreto, utilizou-se um traço determinado por Meneses (2011) em sua dissertação, o qual será na proporção de 1: 1.9: 2.85, tendo como fator a/c 0,46 e obtenção de resistência de 30MPa, para um consumo de cimento de 300kg/m³, com teor de PET de 35%;

3.1.1.4. Quantidade de materiais

O concreto foi utilizado para moldagem de 20 (vinte) corpos de prova (100x200)mm e também para realização do ensaio de abatimento (*Slump Test*). O volume de concreto necessário era de 0,0479m³ que equivale a 47,9 litros.

A quantidade de materiais utilizados para o traço escolhido foi 20 kg de cimento, 38kg de areia média, 57kg de brita 01, 10 litros de água e 460g de fibras de PET.

3.1.2. Fabricação do concreto

O concreto foi fabricado no Laboratório de Construção Civil do Centro Universitário FAG, utilizando uma betoneira 540l disponível no local. Antes de iniciar o procedimento, colocou-se uma quantidade de água suficiente para lubrificar a betoneira, a fim de evitar que a água de amassamento seja absorvida, posteriormente essa água foi retirada para a introdução dos materiais que compõem o concreto.

Com a betoneira em operação, para fabricação das amostras com PET, foram colocados os devidos materiais na seguinte ordem:

- Agregado graúdo;
- 50% da quantidade de água estipulada na Tabela 2;
- Cimento;
- Agregado miúdo;
- Fibras de PET;
- Água restante.

Na Figura 2 é possível observar as fibras de PET adicionadas no concreto.

Figura 2 - Fibras de PET adicionadas no concreto



Fonte: Autora, 2017.

Após a utilização deste concreto, limpou-se a betoneira para a fabricação do concreto convencional, que seguiu a mesma ordem de introdução de materiais citada acima e mesma quantidade de materiais citados na Tabela 2, tendo diferença apenas na ausência de fibras de PET.

3.1.2.1. Moldagem das amostras

Serão utilizados corpos de prova cilíndricos com dimensões iguais de (100x200)mm, disponíveis no laboratório da instituição.

Para efetuar a moldagem dos corpos de prova foi consultada a NBR 5738/2015 – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, a qual determina os seguintes passos:

- 1) Antes de receber o concreto, o molde deverá receber uma camada de óleo mineral em suas faces internas;
- 2) A superfície de apoio dos moldes deverá ser rígida, plana e sem vibrações, para que as propriedades do concreto não sejam alteradas;

- 3) Proceder a uma prévia remistura da amostra para garantir a sua uniformidade e colocar o concreto dentro dos moldes em número de camadas que corresponda ao que determina a norma, utilizando uma concha de seção U.
- 4) Ao introduzir o concreto, deve-se deslocar a concha ao redor da borda do molde, de forma a assegurar uma distribuição simétrica e posteriormente, de forma imediata, deve-se nivelar o concreto antes de iniciar seu adensamento.

3.1.2.1.1. Adensamento

O adensamento foi realizado manualmente, conforme os passos citados no item 7.4.2. da NBR 5738/2015, os quais são:

- 1) Primeiramente, preenche-se 1/2 do molde com concreto, e quando adensada com a haste, deve-se evitar que a mesma tenha contato com a base do molde. Os golpes devem ser uniformes;
- 2) Conforme Tabela 1 da NBR 5738 (2015), o número de golpes para esse tipo de molde é 12 (doze) golpes por camada;
- 3) Para preenchimento da última camada, deve-se exagerar na quantidade de concreto, de forma que tenha a certeza de total preenchimento, posteriormente, com a haste na horizontal, retira-se o excesso de concreto;
- 4) É expressamente proibida a adição de concreto para preenchimento, após a última camada ser adensada.

Na Figura 3 é possível visualizar os corpos de prova moldados. Estes foram identificados da seguinte forma: YPX, onde Y pode ser C, para amostras com PET, ou S para amostras sem PET. O P é a inicial de PET e o X é a temperatura. Exemplo:

- SP100 – Sem PET a 100°C
- CP100 – Com PET a 100°C

Figura 3 - Corpos de prova moldados



Fonte: Autora, 2017.

Os corpos de prova aguardaram vinte e quatro (24) horas para o desmolde, e em seguida foram transferidos para a câmara úmida onde permaneceram por vinte e oito dias (Figura 4).

Figura 4 - Corpos de prova na câmara úmida



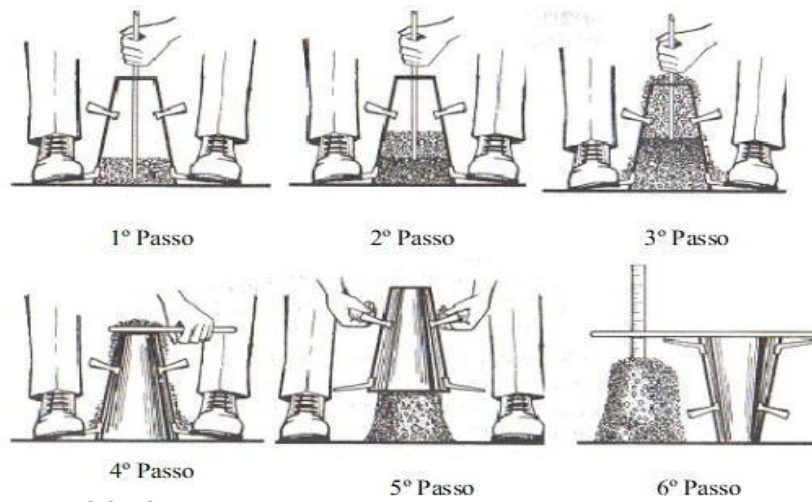
Fonte: Autora, 2017.

3.1.3. *Slump Test*

O ensaio de consistência do concreto foi realizado através do abatimento do tronco de cone (Figura 5), o qual está descrito na NBR NM 67/1998 – Ensaio de abatimento do concreto, que determina os seguintes passos:

- 1) Primeiramente, deve-se umedecer a placa e o molde e depois montar o equipamento colocando o molde sobre a placa;
- 2) Após montado, o operador deve se posicionar sobre as aletas do molde, de modo que o aparelho permaneça estável;
- 3) Inicia-se o processo preenchendo com concreto $1/3$ do molde e, utilizando a haste de socamento. Deve-se compactar a camada com 25 (vinte e cinco) golpes distribuídos uniformemente pela camada;
- 4) Posteriormente, deve-se preencher o $2/3$ do molde com concreto, e compactar a camada também com 25 (vinte e cinco) golpes certificando-se que a haste apenas perfure a primeira camada;
- 5) Por fim, deve-se preencher a última camada com concreto em excesso para garantir o bom preenchimento, compactar com 25 (vinte e cinco) golpes, perfurando a camada anterior e então, com a haste na horizontal, retirar o excesso;
- 6) Retirar o molde cuidadosamente, no tempo de 5 a 10 segundos, mantendo movimento para cima, sem que ocorra torção ou algum movimento lateral.
- 7) Imediatamente, após a retirada do molde, medir o abatimento do concreto.

Figura 5 - Procedimento *Slump Test*



Fonte: Clube do Concreto, 2017

Nas Figuras 6 e 7 é possível observar os abatimentos alcançados.

Figura 6 - Abatimento do concreto convencional



Fonte: Autora, 2017.

Figura 7 - Abatimento do concreto com PET

Fonte: Autora, 2017.

3.1.4. Temperaturas elevadas

Após 28 (vinte e oito) dias, os corpos de prova foram retirados da câmara úmida e submetidos a temperaturas elevadas, conforme Tabela 3.

Tabela 1 - Distribuição de amostra para cada temperatura

AMOSTRA	TEMPO DE AQUECIMENTO (min)	QUANTIDADE		TEMPERATURA (°C)	RESFRIAMENTO
		Com PET	Sem PET		
1	30	2	2	Ambiente	Brusco
2	30	2	2	100	Brusco
3	30	2	2	300	Brusco
4	30	2	2	600	Brusco
5	30	2	2	900	Brusco

Fonte: Autora, 2016.

Para atingir determinadas temperaturas, utilizou-se um forno câmara do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, demonstrado na Figura 8.

As amostras eram colocadas na mufla, com o termostato na temperatura desejada, ao atingir determinada temperatura, a amostra permanecia ainda por 30 minutos dentro do forno.

Figura 8 - Forno câmara



Fonte: Autora, 2017

Cada amostra possui dois corpos de prova com PET e dois corpos de prova sem PET. Os mesmos foram colocados juntos ao forno, como é mostrado na Figura 9. Ao atingir a temperatura desejada, as amostras ainda permaneceram no forno por trinta (30) minutos. Tempo indicado pela NBR 14432/2001 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações.

Figura 9 - Amostras no forno



Fonte: Autora, 2017

Após os trinta minutos, as amostras foram retiradas e expostas ao resfriamento brusco, ou seja, os corpos de prova foram submersos em água em temperatura ambiente, conforme Figura 10, onde permaneceram até atingir temperatura de 20°C. A qual era medida através de um termômetro a laser (Figura 11).

Figura 10 - Corpos de prova submersos



Fonte: Autora, 2017

Figura 11 - Termômetro a laser



Fonte: Autora, 2017

Optou-se pelo método de resfriamento brusco a fim de causar um choque térmico na amostra e analisar a sua reação, além de fazer com que todos os corpos de prova fossem rompidos com a mesma temperatura. Após o resfriamento, iniciou-se o ensaio de compressão.

3.1.5. Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de resistência a compressão foi realizado conforme instruções contidas na NBR 5739/2007 – Concreto – Ensaio de corpos de prova cilíndricos, a qual determina que:

1. Antes de iniciar o ensaio, as faces dos pratos e dos corpos de prova devem ser limpas. A partir disso, posiciona-se a amostra no prato inferior com o auxílio dos círculos de referência. Quando o topo e a base forem submetidos a desgaste por abrasão, deve-se indicar a orientação de moldagem do corpo de prova.
2. A escala de força escolhida para o ensaio deve ser tal que a força de ruptura do corpo de prova ocorra no intervalo em que a máquina for calibrada.
3. O carregamento deve ser contínuo, sem choque e constante, com velocidade de carregamento de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s.
4. O carregamento só deve cessar quando houver uma queda de força que indique sua ruptura.

Para a realização do ensaio de compressão, os corpos de prova foram retificados e posteriormente, utilizou-se a prensa hidráulica que se encontra no Laboratório de Construção Civil do Centro Universitário FAG.

Figura 12 - Corpo de prova na prensa hidráulica para ensaio de compressão



Fonte: Autora, 2017

3.1.6. Análise visual

Após o rompimento das amostras, fez-se uma análise visual notando as alterações de coloração dos corpos de prova para depois comparar com as amostras das outras temperaturas. Na Figura 13 é possível observar o aspecto dos corpos de prova antes de serem submetidos a quaisquer temperaturas que não sejam a ambiente.

Figura 13 - Aspecto dos corpos de prova antes do forno



Fonte: Autora, 2017

4. CAPÍTULO 4

4.1.RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo desse trabalho foi demonstrar, através dos resultados dos ensaios, que o concreto pode receber a adição de fibras de garrafas PET. Essa adição diminuirá os riscos de colapso das estruturas quando estiverem expostas a temperaturas elevadas, e trará melhorias na resistência do elemento estrutural. Sendo positivos os resultados de compressão, o concreto será uma opção de destino de reciclagem para as garrafas, diminuindo os impactos ambientais causados por esse tipo de material.

4.1.1. Caracterização do Concreto

4.1.1.1.Ensaio de abatimento no estado fresco

Executou-se o ensaio de abatimento em duas amostras de concreto, sendo uma de concreto convencional e outra com adição de PET. Utilizou-se o mesmo traço para ambas as amostras, sendo a adição de PET a única diferença entre elas. Contudo, os resultados obtidos através desse ensaio foram distintos como pode ser observado na Tabela .

Tabela 2– Abatimento.

Concreto	Abatimento (mm)
Com PET	90
Sem PET	70

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Verifica-se nas Figuras 14 e 15, que ambos os concretos apresentam características de coesão e plasticidade, ou seja, a pasta existente na mistura é o suficiente para englobar até mesmo as fibras de PET adicionadas, sem ser necessário um novo consumo de água.

Figura 14– Abatimento concreto sem PET



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Figura 15 – Abatimento concreto com PET



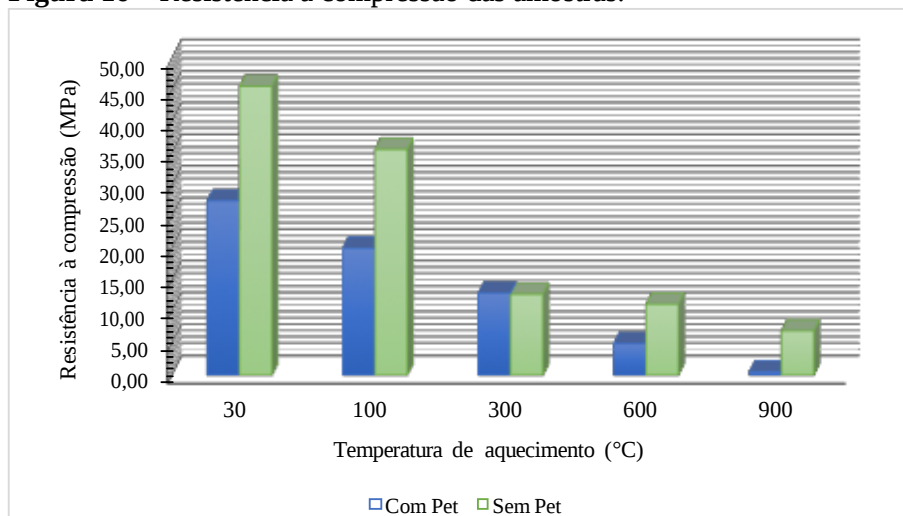
Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

De acordo com os resultados alcançados, o concreto com adição de fibras de PET mostrou um abatimento maior do que o concreto convencional. Esse aumento na consistência se dá em função da forma e tamanho das fibras que são pequenas quando comparadas ao agregado graúdo, e ao contrário do agregado, permite que a massa esorra por elas, sem haver absorção de água de amassamento, não interferindo no fator água cimento.

4.1.1.2. Ensaio de resistência à compressão

Ao analisar uma estrutura que sofreu alterações significativas de temperatura, a resistência à compressão é o principal fator de segurança à ser analisado, a Figura 16 apresenta o comportamento dos concretos com e sem adição de PET na resistência à compressão após o resfriamento.

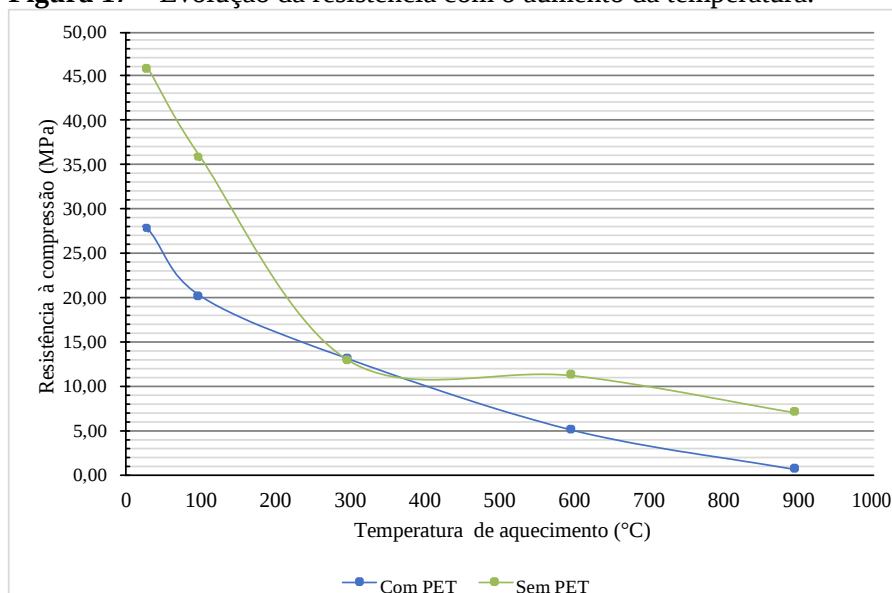
Figura 16 – Resistência à compressão das amostras.



Fonte: Autora, 2017.

Verifica-se que o concreto com PET, mesmo apresentando um ensaio de abatimento de tronco de cone com valor superior ao concreto sem PET, apresenta uma resistência inferior de 39%, fato que pode ser explicado pela organização interna da fibra de PET no concreto, aumentando os seus vazios.

A Figura 17 apresenta a perda de resistência com a evolução da temperatura, os valores de resistência correspondem a média de dois corpos de prova para cada temperatura.

Figura 17 – Evolução da resistência com o aumento da temperatura.

Fonte: Autora, 2017.

Como pode ser observado na Figura 17, verifica-se que o concreto com PET apresenta um comportamento quase que linear entre a perda de resistência e o aumento da temperatura, fato que pode contribuir para a estimativa de resistência em elementos que sofreram incêndios. Pode-se notar que o concreto sem PET aprestou uma menor perda de resistência em relação a resistência inicial.

Pode-se verificar que para a temperatura de 300°C a temperatura foi similar, contudo, um dos corpos de prova CP300 explodiu no interior do forno, não podendo medir sua resistência, optou-se por inserir resistência igual a zero. Devido a isso, a resistência das duas amostras foi semelhante. Nesse estado as fibras de PET estavam tendo sua massa reduzida, causando vazios no interior do corpo de prova. Para essa temperatura a perda de resistência em relação a temperatura inicial de 30°C foi de 53% e de 72%, para o concreto com e sem PET, respectivamente. Sendo que foi a única temperatura em que a perda do concreto com PET foi inferior que a perda do concreto sem PET, fato explicado pela perda do corpo de prova.

Aos 600°C a resistência da amostra CP600 foi aproximadamente metade da resistência obtida na amostra SP600, ou seja, o concreto com fibra perdeu aproximadamente 80% de sua resistência inicial. Nessa temperatura, foi possível observar, após o rompimento, que ocorreu a desagregação total das fibras de PET. E aos 900°C, ambas as resistências foram próximas de zero, nesse estado o concreto perde totalmente a função estrutural.

Comparando a resistência inicial com a resistência atingida na última temperatura, tem-se que o concreto com PET apresentou resistência final de 7% da resistência inicial e o concreto com PET apresentou aproximadamente 2% da resistência inicial.

4.1.2. Análise Visual

Na Figura 18, podem-se observar as variações de coloração nas diferentes temperaturas.

Figura 18 – Diferentes colorações do concreto.



Fonte: A autora, 2017.

Após o rompimento de todas as amostras, percebeu-se variações das cores no interior dos corpos de prova, quanto maior a temperatura, mais claro o concreto, não havendo variação de coloração entre corpos de prova com e sem PET, o fato do concreto apresentar-se cada vez mais claro tem correlação com a dissecação interna do material, assim como a caracterização da passagem do seu estado elástico para totalmente plástico, tornando-se um material mais frágil.

Na Figura 19, percebe-se que no rompimento das amostras submetidas às temperaturas acima de 300°C a ruptura deu-se através de cisalhamento total do corpo de prova, fato que pode correlacionar essa temperatura como sendo a temperatura crítica para o

traço estudado, uma vez que nessa temperatura os concretos apresentaram resistência inferior a 50% da resistência inicial.

Em temperaturas superiores a 300°C observou-se um tom levemente amarelado no exterior do corpo de prova, enquanto seu interior permaneceu em tons de cinza, conforme Figura 19.

Figura 19 - Cisalhamento total dos corpos de prova.



Fonte: A autora, 2017.

5. CAPÍTULO 5

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inicialmente, o objetivo da pesquisa era viabilizar o uso de fibras de garrafas PET na construção civil, como forma de reduzir a degradação do meio ambiente com o emprego do PET como adição ao material concreto. O intuito da adição do PET no concreto era melhorar a sua resistência à compressão frente a estruturas submetidas a temperaturas extremas.

Verificou-se que no estado fresco o PET confere maior consistência e coesão no concreto, aumentando o resultado do abatimento do tronco de cone em quase 30%, uma vez que o emprego de materiais menos granulares do que o agregado graúdo tem como característica melhorar essa propriedade. Por se tratar de um material rígido, ou seja, não pulverulento, a adição do PET não confere ao concreto a necessidade de uma maior adição de água de amassamento.

Com relação à resistência à compressão, a comparação feita aos 28 dias mostra que a adição do PET, garantiu que a resistência do concreto chegasse na resistência de dosagem de 30MPa, no entanto foi de aproximadamente 30% inferior ao mesmo traço confeccionado sem o emprego da fibra.

Quanto ao comportamento frente a temperatura, a adição do PET não foi suficiente para possibilitar uma segurança estrutural superior ao concreto sem a adição de PET, uma vez que a perda de resistência com o aumento da temperatura foi mais significativa para o concreto com a adição do polímero do que para a referência.

A vantagem de se utilizar o PET como adição é que o comportamento mecânico do concreto se torna mais previsível, comparado com o concreto sem adição, com o aumento da temperatura, fato que pode auxiliar em modelos matemáticos de previsão de ruptura.

O presente estudo possibilitou também verificar que para um concreto com teor de argamassa próximo à 50%, a temperatura crítica de comportamento mecânico está próximo aos 300°C independente do emprego de fibra polimérica.

O comportamento do PET, um material termoplástico, como adição ao concreto não favorece o ganho ou manutenção da resistência mecânica quando na presença de elevada temperatura, fato verificado que após 300°C a fibra de PET se desintegra dentro do concreto.

6. CAPÍTULO 6

6.1. RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento deste trabalho, alguns itens e dúvidas foram surgindo. Porém, devido ao curto prazo para elaboração, alguns desses itens não puderam ser avaliados e estão à disposição para compor futuros trabalhos. Por se tratar de um polímero termoplástico, recomenda-se que em trabalhos futuros seja repetido os mesmos ensaios para:

- 1) Analisar a influência de diferentes métodos de resfriamento;
- 2) Alterar quantidade e dimensões de fibras de PET;
- 3) Substituir agregados por fibras de PET;
- 4) Elaborar uma análise com foco maior na diferença de coloração dos corpos de prova.
- 5) Concretos com diferentes teores de adições de PET;
- 6) Adição de uma fibra polimérica termofixa como o Poliéster..

REFERÊNCIAS

- ABIPET: Associação Brasileira da Indústria do PET, **9º Censo da Reciclagem de PET**, 2012. Disponível em: <http://abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=7#>. Acesso em: 22/10/2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.
- _____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- _____. **NBR 7222**: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.
- _____. **NBR 5736**: Cimento PortlandPozolânico. São Paulo, 1991.
- _____. **NBR 11768**: Aditivos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1992.
- _____. **NBR 10004**: Resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- ALVES, J. D. **Manual de Tecnologia do Concreto**. 3. Ed. Goiânia: ED UFG, 1993
- ALMEIDA, D. F. **As Estruturas de Concreto Armado e o Fogo** - Comportamento - Consequências - Restauração. EPUSP. São Paulo, 1984. [Dissertação de Mestrado em Engenharia – PCC-EPUSP]
- BALLARIN, A. W. **Argamassa armada**: tecnologia e aplicações no meio rural. São Paulo. Editora da Unicamp, 2003.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos - Editora S/A, 1995. 529p.
- CAETANO, L., F.; GRAEFF, A., G.; GARCEZ, E., O.; BERNARDI, S., T.; SILVA FILHO, L., C., P. **Compósito de Matriz Cimentícia Reforçada com Fibras**. Porto Alegre, 2004.
- CANELLAS, S.S., **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas**, Dissertação M.Sc., PUC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.
- FIGUEIREDO, A. D. **Parâmetros de controle e dosagem do concreto projetado com fibras de aço**. 1997. 341 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibra de aço**. São Paulo: EPUSP. Boletim Técnico – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 71p, 2000.
- FIGUEIREDO, A.D.; TANESI J.; NINCE A. A. **Concreto com fibras de polipropileno (CFP)**. Techne: revista de tecnologia da construção, São Paulo, v.10, Pág. 48-51, 2002

FORLIN, F.J.; FARIA, J. A. F. Considerações sobre a reciclagem. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 12, p. 1-10, 2002.

GUPTA, R., S. **Principals of structural design: wood, steel and concrete**. 2ª Edição. Boca Raton: CRC Press, 2014

LIMA, R. C. A. de. **Investigação do Comportamento do Concreto em temperaturas elevadas**. 2005. 241p. Tese (Doutorado) –PPGEC -UFRGS, Porto Alegre, 2005

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008

MEHTA, P. K. **Concreto** - estrutura, propriedades e materiais. Tradução: Paulo José Melaragno Monteiro. São Paulo: PINI, 1994, p. 30.

MENESES, I. A. **Avaliação de concreto com adição de fibras de pet submetido a altas temperaturas**. 2011. 90 f.. Dissertação (Pós-Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2011.

MODRO, N.L.R., **Desenvolvimento e Caracterização de Concreto de Cimento Portland Contendo Resíduos Poliméricos de PET**, Dissertação de M.Sc., UNIVILLE, Joinville, SC, Brasil, 2008.

MORENO JR, A. L.; DE SOUZA, A. A. A. Avaliação do tipo de agregado e da reidratação do concreto submetido a elevadas temperaturas. **REVISTA IBRACON DE ESTRUTURAS E MATERIAIS**, vol. 3, nº 4, p. 477-493, dez 2010. Disponível em <<http://www.revistas.ibracon.org.br/index.php/riem/article/viewFile/149/139>>. Acesso em: 10 de nov de 2016.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 1ª Ed. São Paulo, PINI, 1982.

_____. **Propriedades do Concreto**. 2ª Ed. São Paulo, PINI, 1997

NINCE, A. A. **Lascamento do Concreto exposto a altas temperaturas**. 2007. 300p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PAULON, V. A. Concreto Convencional: Ensino, Pesquisa e Realizações. **IBRACON**. São Paulo, 2005

PEZZIN, A.P.T., **Reciclagem química de embalagens de PET pós-consumo: Síntese de novos co-polímeros biodegradáveis**, Notas de aula, UNIVILLE, Joinville, SC, Brasil, 2007.

PETRUCCI, E. **Concreto de cimento Portland**. Porto Alegre: Ed. Globo, 1982. 307p.

PURKISS, J. A. Fire safety engineering design of structures. **ButterworthHeinemann**. Oxford, 1996.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo, 1998, p. 17