

ESTUDO DE RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR VIDRO DE IGUAL GRANULOMETRIA

Adriano Carvalho¹, Ângelo Chaves², Ben-Hur Silva², Lucas Caetano², Lucas Sena², Samuel Rodrigues²

¹ Professor da Área de Construção Civil – IFTO. e-mail: <agcarvalho@ifto.edu.br>

² Acadêmicos de Engenharia Civil – IFTO, Campus Palmas. e-mail: <bhjaes@gmail.com>

Resumo: Diversos estudos têm levado em consideração os impactos ambientais gerados pela atividade humana, visto que diariamente são formadas grandes quantidades de resíduos sólidos, dos mais variados tipos, dentre esses: o vidro, objeto de estudo deste trabalho. Com tempo de decomposição de cerca de mil anos, trata-se de um material potencialmente ofensivo à natureza. As principais características do vidro são o fato de que ele é inorgânico, homogêneo e amorfo. Estes atributos fazem com que o vidro possa ser enquadrado como agregado da construção civil, que são materiais granulares, sem forma ou volume definido de atividade química geralmente inertes. Assim, este trabalho propõe-se a incorporar vidro de garrafas, no concreto, em substituição parcial ao agregado miúdo, separado, nas faixas granulométricas das peneiras da série normal, em seguida distribuído nas mesmas proporções que o agregado miúdo com igual granulometria. Visando encontrar um percentual ideal do material reciclado como um substituto do agregado miúdo, analisam-se as propriedades mecânicas do concreto em sua fase fresca e endurecida. Usando traços para a confecção de corpos de prova que utilizam vidro moído nas proporções de 3%, 5%, 7% e 15% em substituição da massa de agregado miúdo, compara-se o concreto produzido com estes traços a um concreto convencional tido como referência, mantendo-se as proporções do traço original e relação água/cimento. Desse modo, pretende-se dar uso a um material que seria dispensado, acarretando prejuízos ambientais e ainda verificar a viabilidade técnica na melhoria de propriedades mecânicas da produção de concreto.

Palavras-chave: Concreto, agregado miúdo, areia, vidro, granulometria.

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo propõe analisar o comportamento do concreto submetido a esforços de tração e compressão, porém com vidro moído na mesma proporção granulométrica do agregado miúdo, isto em diferentes porcentagens de substituição. Segundo a NBR 12655/2015, concreto é um material homogêneo formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, metacaulim ou sílica ativa), que desenvolver suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água). Para os efeitos desta norma, o “termo” concreto se refere sempre a “concreto de cimento Portland”.

A mistura dos componentes na proporção correta, o traço, é o que garante que o concreto possa atingir o seu papel esperado, para a dosagem do traço do presente artigo, fora utilizado o método ACI, de modo que a utilização do vidro em meio ao concreto tem como principal objetivo melhorar as características de resistência a tração e a compressão, evitando a utilização de trações mais fortes. Uma solução cabível para o problema de alto descarte de material de vidro e sem reciclagem seria a sua utilização na construção civil, acrescentando o material fino na mesma proporção granulométrica do agregado miúdo comumente utilizado, gerando assim, um destino para o material que não tem grande função posterior ao seu uso principal. Entretanto, segundo (Saccani e Bignozzi, 2010) um dos

problemas ao uso do material vidro em meio ao concreto é a provável ocorrência de reação álcali-agregado, o que pode provocar expansão e rachaduras.

Outro problema existente é apontado no estudo de (RIGHI et al. 2012), segundo ele a reação entre os álcalis do cimento e a sílica reativa presente no vidro, o uso do vidro em uma granulometria maior usado como agregado graúdo no concreto, não é satisfatória, de modo que o uso realizado desta forma provoca uma queda de resistência juntamente com expansão do material. Como contrapartida, segundo (SHAO et al., 2000), estudos mostram que se estabelecido um determinado valor limite para o tamanho dessas partículas, a expansão provocada pela reação álcali-sílica pode ser reduzida. É notório que o tamanho da partícula do vidro influencia diretamente no resultado do comportamento do concreto, desse modo, diferentemente do uso de mesma faixa granulométrica, utilizou-se a mesma proporção granulométrica do agregado miúdo, produzindo uma cópia real em termos de dimensão dos grãos, o agregado de vidro terá então papel de substituir parcialmente o agregado miúdo, em diversos teores analisados separadamente, levando em consideração como base um traço padrão de controle sem adição de vidro.

Para a análise de dados, são utilizados meios estatísticos que coletam dados e por meio de teorias probabilísticas analisam os resultados, como desvio padrão, testes de hipóteses, intervalos de confiança, medidas de tendência, de modo a afirmar com confiabilidade os resultados obtidos, sendo estes resultados frutos de ensaio, é evidente que é necessário a utilização de tal análise para o comparativo dos resultados finais obtidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil, sendo assim, se encontra em constante estudo, sua principal aplicação se deve a durabilidade, a possibilidade de molda-lo em diferentes formas devido ao uso de fôrmas. Analisando a incorporação de materiais reciclados em misturas a base de cimento, é de certa forma uma contribuição da construção civil para a reciclagem de materiais, podendo até mesmo melhorar as suas características de desempenho juntamente com os materiais de adição (MARQUES, 2006).

De acordo com Ferrari e Jorge (2010), em sua forma pura, o vidro é caracterizado como um óxido metálico super-resfriado, transparente, elevada dureza, material inerte, ou seja, que não sofre alterações com o passar do tempo, além de ser também biologicamente inativo, material impermeável que pode suportar pressões de 5.800 a 10.800 Kg/cm². De certo modo, com suas características o vidro pode ser utilizado em diversas aplicações. Por se tratar de um material cuja reciclagem industrial não

atinge margens superiores a 50% no Brasil, de acordo com IBGE (2015), o vidro torna-se um material descartado com um tempo de decomposição de aproximadamente 1 mil anos. Garrafas de vidro “long neck” ou “one way” são descartadas após serem utilizadas apenas uma vez sem coleta ou reciclagem do material, gerando, uma enorme quantidade de resíduos.

De acordo com Ambrozewicz (2013), o vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa. Ainda de acordo com Ambrozewicz o agregado é um material granular, sem forma ou volume definido de atividade química geralmente inerte.

A utilização do vidro como material fino acrescentado a mistura de concreto já vem sendo usada em alguns países, como exemplo pode-se citar a Austrália, que já utiliza o vidro em concretos para construção (CRENTSIL et al. 2001). De fato, no Brasil, a utilização de materiais recicláveis é pouco utilizada, devido a um fator cultural e econômico, o alto índice de gastos comparados ao simples descarte do material em um aterro por exemplo.

O estudo conduzido por López, et al. (2005) utiliza o vidro como um material agregado ao concreto comparando suas propriedades mecânicas com o concreto com novo material. Tal estudo limitou-se a utilizar apenas determinadas faixas granulométricas de vidro triturado. Em um primeiro momento, o estudo realizou uma substituição do agregado miúdo por vidro moído em uma determinada faixa granulométrica de 150-300 μm , gerando em comparação ao concreto convencional um aumento de resistência a compressão de aproximadamente 60%. O estudo justifica que tal aumento de resistência pela diminuição da porosidade devido à adição do material fino, vidro moído.

No estudo de Righi, et al. (2012) a substituição parcial ou total do agregado miúdo, por vidro triturado, não alterou significativamente a resistência à compressão, tendo em vista que o material não se limitou a uma faixa granulométrica específica como no estudo de López, et al. (2005), mas foi distribuído em uma curva granulométrica contínua, porém diferindo-se da granulometria do agregado miúdo

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

O material aglomerante utilizado no estudo foi o cimento Tocantins CP-II-E-32, adquirido em loja de material de construção da região de Palmas-TO. O agregado miúdo utilizado foi areia fina

lavada de massa específica real dos grãos de 2,634 g/cm³, diâmetro máximo característico de 2,36 mm e módulo de finura de 1,55.

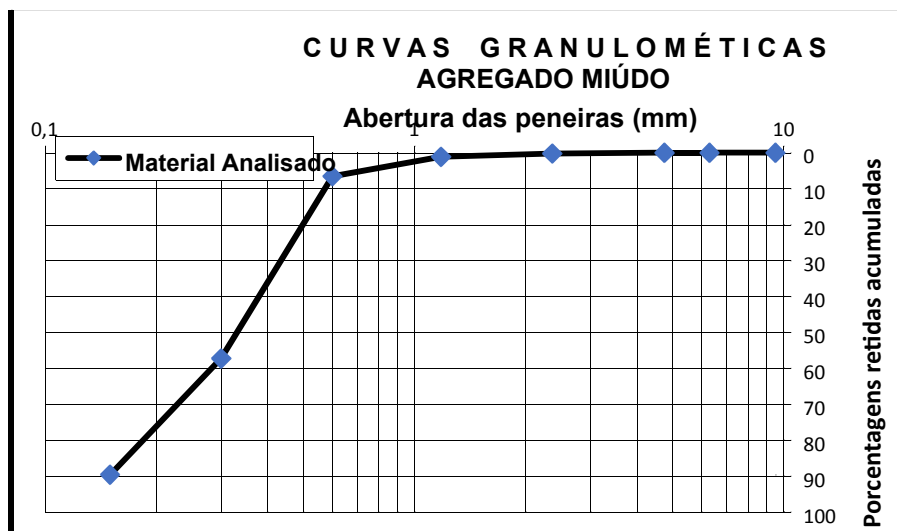


Figura 1 - Curva granulométrica agregado miúdo (o autor (2018))

O agregado graúdo utilizado foi brita 1 de massa específica seca de 2,73 g/cm³ diâmetro máximo 19 mm, módulo de finura de 7,01.

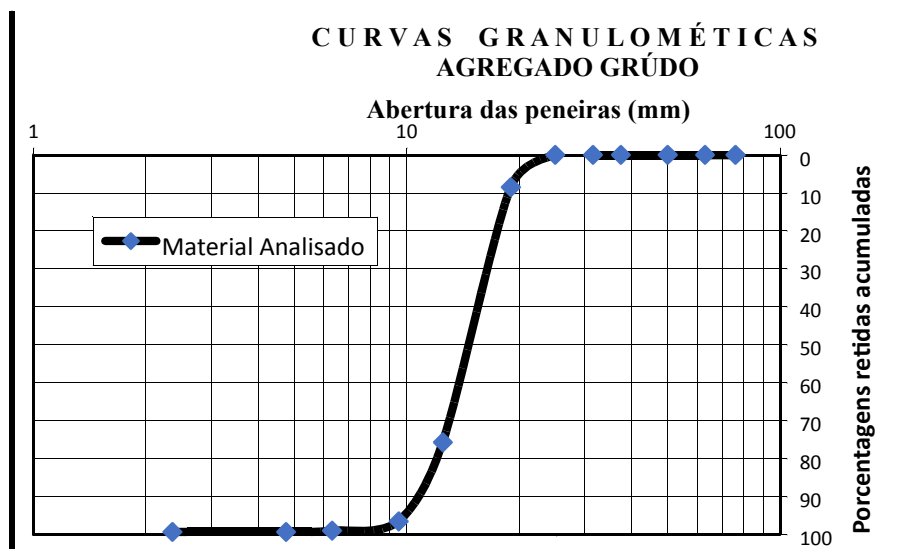


Figura 2 - Curva granulométrica agregado graúdo (o autor (2018)) 3.2

Métodos

3.2.1 Vidro

O vidro utilizado no estudo teve origem de garrafas obtidas através de coletas seletivas, para a conformação do vidro moído a ser adicionado ao concreto foi efetuada preparação. Inicialmente as garrafas foram lavadas e seus rótulos retirados para garantir a pureza do material sem qualquer alteração ou adição indesejada, foi efetuada moagem do material em duas fases, a primeira em um triturador de mandíbula a fim de reduzir a dimensão dos cacos de vidro para poderem ser moídos de forma mais fina, na segunda fase foi utilizado um moinho de bolas, garantindo assim uma redução dos cacos a grãos de dimensões diversas. O material é então separado para proporção de grãos inferiores a 4,8 mm de diâmetro por meio de peneiramento, com o material passante foi efetuada uma separação manual fina dos grãos nas faixas granulométricas da série de peneiras de serie normal.

Com a granulometria separada foram igualadas as proporções de massa obtidas do ensaio granulométrico do agregado miúdo, desta forma então reproduzindo com total fidelidade as dimensões de seus grãos.

3.2.2 Traço do concreto

O traço do concreto foi estipulado pelo método ACI como explanado anteriormente, sendo assim, foi necessário a caracterização de todos os materiais utilizados, analisando dados característicos dos agregados e aglomerantes. O concreto foi dosado para um fck- 25 MPA com o traço padrão de (1: 2,2: 2,78: 0,565), foi então refeito o traço para cada teor de vidro adicionado em sua constituição, substituindo o agregado graúdo em teores de 3%, 5%, 7% e 15%.

Tabela 1 – Traços utilizados

Teores	Cimento	Miúdo	Graúdo	a/c	Vidro
Controle	1	2,2	2,78	0,565	0
3%	1	2,14	2,78	0,565	0,066
5%	1	2,09	2,78	0,565	0,11
7%	1	2,05	2,78	0,565	0,154
15%	1	1,87	2,78	0,565	0,33

Fonte: Elaborada pelo autor

3.2.3 Modelagem dos corpos de prova

Os corpos de prova foram moldados e seguidos procedimentos de cura conforme a NBR 5738, onde foram confeccionados corpos de prova cilíndrico com dimensões de 10x20, com medidas de

tolerância de 1% para o diâmetro e 2% para a altura. Os moldes utilizados foram disponibilizados pela empresa técnica engenharia, localizada nas dependências de Palmas – TO.

Para a análise das resistências, as idades de rompimento foram definidas como sendo de 14, 28, 60 dias e foram moldados 12 CP's para cada idade e cada teor juntamente com o controle, desta forma para cada teor foram moldados 36 CP's totalizando 180 CP's. O abatimento da amostra foi realizado conforme a NBR NM 67 prescreve, e como o abatimento está localizado entre o intervalo de 30mm e 150mm, pode ser feito adensamento manual ou por vibração, o método incumbido foi o manual com uso de haste. Antes da moldagem os moldes foram convenientemente revestidos por uma fina camada de óleo mineral, de modo a facilitar a etapa de retirada dos corpos de prova dos moldes. O tipo de molde empregado pode ser idealizado na figura 3.



Figura 3 – Molde cilíndrico (www.solocap.com.br(2018))

3.2.4 Rompimento dos corpos de prova

Os rompimentos dos corpos de prova foram realizados conforme a NBR 5739, realizados nas idades de 14, 28 e 60 dias, analisando esforços de compressão e tração. Para análise de rompimento por esforços de compressão e tração, realizado por prensa hidráulica, para ensaio de resistência a tração será realizado por compressão diametral, também conhecido como Brazilian test. Nesta sessão, deve-se descrever detalhes da metodologia empregada. Procurando detalhar como o trabalho foi realizado (procedimentos, estratégias, sujeitos participantes, local do estudo, documentos, equipamentos, ambientes, considerações éticas etc.). Caso necessário, incluir a análise estatística empregada. As unidades de medida e símbolos devem seguir o Sistema Internacional (SI). Dependendo da natureza do trabalho, uma caracterização da área experimental deve ser inserida, tornando claras as condições em que a pesquisa foi realizada. Quando os métodos utilizados forem os

recomendados, apenas citar a referência bibliográfica conforme instruções apresentadas, caso contrário é necessário descrever sucintamente os procedimentos utilizados, modificações promovidas e etc.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão para a idade de 14 dias pode ser visualizada na tabela 2, aos 28 dias na tabela 3, e pôr fim, aos 60 dias, na tabela 4. Analisando os dados do traço de controle, e dados provenientes das adições de 3%, 5%, 7% e 15%.

Tabela 02 – Resistência à compressão aos 14 dias

Traços	Resistência à Compressão (MPa)					
Controle	26,6	27,8	26,2	27,6	25,9	26,82
3%	25,8	27,5	28,5	28,1	26,5	27,28
5%	25,1	24,9	25,3	26,3	27,7	25,06
7%	26,4	21,5	26	23,6	23,5	24,2
15%	22,6	18,9	19,9	23,1	22,7	21,44

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 03 – Resistência à compressão aos 28 dias

Traços	Resistência à Compressão (MPa)					
Controle	32,9	30,7	33,2	30,9	26	30,74
3%	27,8	28,2	26,7	24,9	30,3	27,58
5%	25,6	23,9	26,9	26,4	25,6	25,68
7%	24,6	25,8	27,5	16,3	17,3	22,3
15%	22,8	26,2	23,5	23,8	27,2	24,7

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 04 – Resistência à compressão aos 60 dias

Traços	Resistência à Compressão (MPa)					
Controle	28,7	34,1	30,3	32,6	31,7	31,48
3%	31,2	34,8	31,7	33,2	23,9	30,96
5%	31,4	34,1	30,6	33	28,6	31,54
7%	25,2	31	22	30,1	25,9	26,84
15%	28,6	27,6	1,6	30,6	27,9	23,26

Fonte: Elaborada pelo autor

4.2 Resistência à tração

A resistência à tração para a idade de 14 dias pode ser visualizada na tabela 5, aos 28 dias na tabela 6, e pôr fim aos 60 dias na tabela 7. Analisando os dados do traço de controle, e dados provenientes das adições de 3%, 5%, 7% e 15%.

Tabela 05 – Resistência à tração aos 14 dias

Traços	Resistência à Tração (MPa)					
Controle	2,78	3,09	1,98	2,52	2,83	2,64
3%	1,51	1,5	1,01	1,34	1,37	1,346
5%	1,07	1,33	1,29	1,14	1,12	1,19
7%	1,05	1,01	0,94	1,02	0,87	0,978
15%	1,01	0,96	1,03	0,81	1,02	0,966

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 06 – Resistência à tração aos 28 dias

Traços	Resistência à Tração (MPa)					
Controle	3,2	2,5	2,18	2,4	2,65	2,586
3%	2,99	2,84	2,21	2,63	3,16	2,766
5%	2,61	2,59	3,78	2,97	2,98	2,986
7%	2,48	2,74	2,29	2,89	3,08	2,696
15%	2,78	2,22	2,52	2,42	3,03	2,594

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 07 – Resistência à tração aos 60 dias

Traços	Resistência à Tração (MPa)					
Controle	3,17	3,18	2,91	2,54	2,3	2,82
3%	3,52	3,29	2,44	2,41	3,37	3,006
5%	2,92	3,2	2,65	2,8	2,68	2,85
7%	2,84	2,2	3,02	3,81	2,75	2,924
15%	3,37	3,11	3,04	3,41	2,92	3,17

Fonte: Elaborada pelo autor

4.3 Resistências médias

As médias das resistências alcançadas são mostradas na figura 4 para compressão com suas respectivas datas de rompimento, e na figura 5 para tração com suas respectivas datas de rompimento.

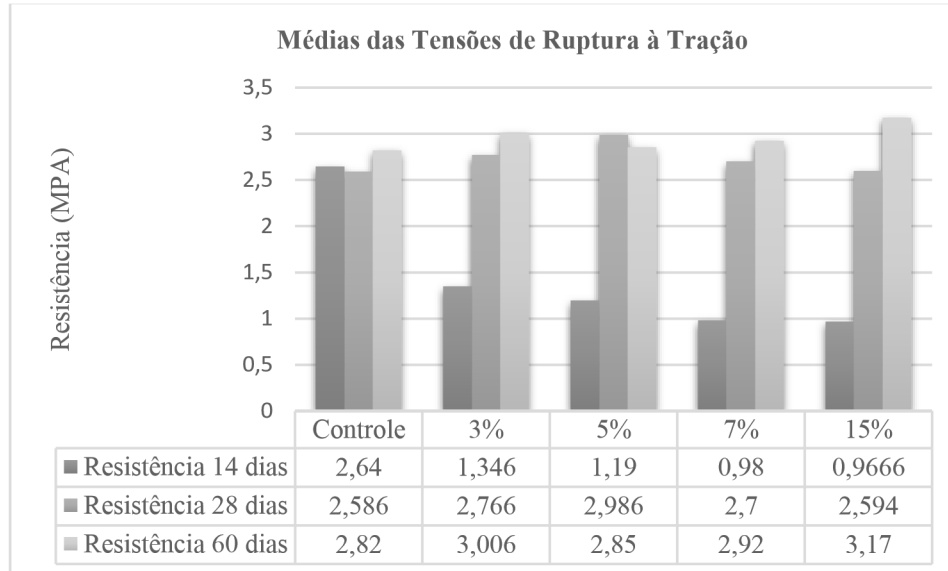


Figura 04 - Média das tensões de ruptura à compressão

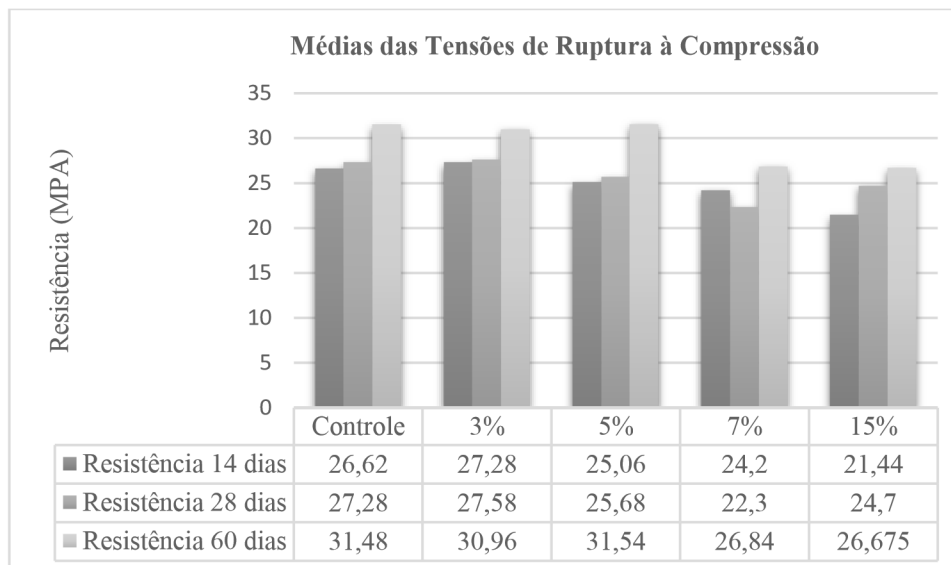


Figura 05 - Média das tensões de ruptura à tração

5 5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

5.1 5.1 Intervalos de confiança

Os intervalos de confiança foram obtidos utilizando grau de significância de 1%, pela distribuição bilateral de *student*, e são mostrados na tabela 8.

Tabela 8 - intervalos de confiança

Traços	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Intervalo
Controle - 14 dias compressão	26,82	0,7547	$P(25,3899 < \mu < 28,2500) = 99\%$
Controle - 14 dias tração	2,64	0,3763	$P(1,6301 < \mu < 3,6498) = 99\%$
Controle - 28 dias compressão	30,74	2,5773	$P(28,0973 < \mu < 33,3826) = 99\%$
Controle - 28 dias tração	2,586	0,3429	$P(1,6220 < \mu < 3,5499) = 99\%$
Controle - 60 dias compressão	31,48	1,8595	$P(29,2353 < \mu < 33,7246) = 99\%$
Controle - 60 dias tração	2,82	0,3490	$P(1,8475 < \mu < 3,7924) = 99\%$
3% - 14 dias compressão	27,28	1,0008	$P(25,6332 < \mu < 28,9267) = 99\%$
3% - 14 dias tração	1,346	0,1812	$P(0,6453 < \mu < 2,0466) = 99\%$
3%- 28 dias compressão	27,58	1,7770	$P(25,3857 < \mu < 29,7742) = 99\%$
3%- 28 dias tração	2,766	0,3282	$P(1,8229 < \mu < 3,7090) = 99\%$
3% - 60 dias compressão	30,96	3,7473	$P(27,7734 < \mu < 34,1465) = 99\%$
3% - 60 dias tração	3,006	0,4802	$P(1,8653 < \mu < 4,1466) = 99\%$
5% - 14 dias compressão	25,06	0,8333	$P(23,5573 < \mu < 26,5626) = 99\%$
5% - 14 dias tração	1,19	0,1647	$P(0,5219 < \mu < 1,8580) = 99\%$
5% - 28 dias compressão	25,68	1,0186	$P(24,0186 < \mu < 26,5626) = 99\%$
5%- 28 dias tração	2,986	0,4310	$P(1,9052 < \mu < 4,0667) = 99\%$
5%- 60 dias compressão	31,54	1,9096	$P(29,2653 < \mu < 33,8146) = 99\%$
5% - 60 dias tração	2,85	0,1994	$P(2,1149 < \mu < 3,5850) = 99\%$
7% - 14 dias compressão	24,2	1,8011	$P(21,9908 < \mu < 26,4091) = 99\%$
7% - 14 dias tração	0,978	0,0649	$P(0,5585 < \mu < 1,3974) = 99\%$
7% - 28 dias compressão	22,3	4,5952	$P(18,7713 < \mu < 25,8286) = 99\%$
7% - 28 dias	2,696	0,2823	$P(1,8213 < \mu < 3,5706) = 99\%$

tração			
7% - 60 dias compressão	26,84	3,3146	$P(23,8431 < \mu < 29,8368) = 99\%$
7% - 60 dias tração	2,924	0,5207	$P(1,7361 < \mu < 4,1118) = 99\%$
15% - 14 dias compressão	21,44	1,7036	$P(19,2914 < \mu < 23,5885) = 99\%$
15% - 14 dias tração	0,966	0,0816	$P(0,4956 < \mu < 1,4363) = 99\%$
15% - 28 dias compressão	24,7	1,6947	$P(22,5571 < \mu < 26,8429) = 99\%$
15% - 28 dias tração	2,594	0,2830	$P(1,7183 < \mu < 3,4696) = 99\%$
15% - 60 dias compressão	28,675	14,3851	$P(20,8653 < \mu < 36,4843) = 99\%$
15% - 60 dias tração	3,17	0,1901	$P(2,4523 < \mu < 3,8876) = 99\%$

Fonte: Elaborada pelo autor

Analisando os dados obtidos para os intervalos de confiança, nota-se que todos os valores das médias estão presentes dentro dos intervalos adotados, de modo que se o ensaio fosse repetido 100 vezes, 99 das vezes os resultados estariam contidos dentro deste intervalo, confirmando assim a confiabilidade dos dados estudados.

5.2 4.2 Teste de anova

Ao realizar a análise de variância ou ANOVA, é possível identificar estatisticamente se há ou não diferença entre as amostras. Este teste de hipótese confiável permite ter mais controle sobre o estudo. O teste consiste em elaborar uma hipótese nula (H_0) que afirma que as amostras não diferem umas das outras estatisticamente. Assim como é elaborada uma contraparte em que se rejeita H_0 , que afirma que as amostras são diferentes umas das outras, sendo esta a hipótese (H_1). Através do cálculo das médias dos rompimentos e suas respectivas variâncias, é calculado o valor de (S^2_{Entre}) e de (S^2_{Dentro}). Ao dividirmos o primeiro pelo segundo obtemos o valor chamado de ($F_{Calculado}$). Por meio de tabela é também obtido o valor do ($F_{tabelado}$). Por fim, analisa-se estes dois valores para os casos

em que $F_{Calculado} > F_{Tabelado}$, rejeita-se a hipótese nula, ou seja, as amostras diferem umas das outras. Os resultados finais são apresentados na tabela 9.

Tabela 9 - Análise de variância (ANOVA)

ANOVA							
Idade (dias)	COMPRESSÃO			TRAÇÃO			Idade (dias)
	F calc.	F tab.	Há diferença	F calc.	F tab.	Há diferença	
14	12,97	2,87	sim	49,79	2,87	sim	14
28	5,78	2,87	sim	0,94	2,87	não	28
60	2,58	2,87	não	0,56	2,87	não	60

Fonte: Elaborada pelo autor

Conforme os resultados para a resistência a compressão, a adição de vidro teve, estatisticamente, diferença nos resultados, para as idades de 14 e 28 dias, se mantendo proporcionalmente constantes na idade final analisada de 60 dias. Para a resistência a tração, a adição de vidro teve, estatisticamente, diferença nos resultados apenas para a idade inicial verificada de 14 dias.

5.3

5.4 4.3 Teste de Tukey

Constatado em quais idades do concreto há diferença entre as médias de ruptura através da análise de variância (ANOVA), pode ser realizado o Teste de Tukey, sendo este uma ferramenta estatística que permite identificar onde, de fato está localizada essa diferença, ou seja, para suas respectivas idades quais teores diferem entre si, estatisticamente.

As tabelas 10, 11 e 12 a seguir demonstram o comparativo entre os demais traços, analisando as médias de resistência obtidas, comparando cada resultado individualmente com outro traço, apresentando como fator decisivo o valor de HSD. A coluna solução traz os teores dos traços utilizados. Como foi encontrada as idades o qual apresentaram diferença entre elas, sendo as de compressão dispostas de 14 e 28 dias, e tração aos 14 dias. Serão analisadas essas idades para encontrar em relação a quais teores está a diferença.

Tabela 10- Análise para 14 dias a compressão

Soluções	Médias	3%	Control e	5%	7%	15%	Códigos
3%	27,28						A
Control e	26,82	0,46					A
5%	25,06	2,22	1,76				AB
7%	24,2	3,08	2,62	0,86			B
15%	21,44	5,84	5,38	3,62	2,76		C

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 11 - Análise para 28 dias a compressão

Solução	Médias	Controle	3%	5%	15%	7%	Código
Controle	30,74						A
3%	27,58	3,16					AB
5%	25,68	5,06	1,9				BC
15%	24,7	6,04	2,88	0,98			BC
7%	22,3	8,44	5,28	3,38	2,4		C

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 12 - Análise para 14 dias a tração

Solução	Médias	Controle	3%	5%	7%	15%	Código
Controle	2,64						A
3%	1,346	1,294					BC
5%	1,19	1,45	0,156				B
7%	0,98	1,66	0,366	0,21			B
15%	0,966	1,674	0,38	0,014	0,196		B

Fonte: Elaborada pelo autor

Conforme o teste de ANOVA apontou na tabela 9, existem diferenças de resultados nas idades de 14 e 28 dias para compressão, e na idade de 14 dias para resistência à tração. No teste de TUKEY adota-se o símbolo na linha da solução controle, portanto, as demais soluções que apresentarem o mesmo símbolo no código são identificadas como sendo iguais ao traço de controle, ou seja, os resultados de resistência são estatisticamente iguais ao de controle. Nos locais onde apresentam letras (códigos) diferentes significa que estatisticamente os valores encontrados de resistência são distintos, havendo uma considerável variação.

A análise estatística nos comprova, por meio dos testes acima, que para resistência a compressão para a idade de 14 dias os teores que se diferenciaram do traço padrão foram os de 7% e 15%, para ambos os teores a média de resistência diminuiu. Para os 28 dias os teores que se diferenciaram do traço de controle foram os teores de 5%, 7% e 15%, para ambos os teores a média de resistência diminuiu. Para a idade de 60 dias, estatisticamente todos os teores apresentaram dados iguais. Para a análise de resistência a tração aos 14 dias, todos os teores apresentaram diferenças em relação ao traço padrão, de modo que todos os teores tiveram valores de médias diminuídos em relação ao dado do traço padrão. Para os 28 dias todos os teores permaneceram iguais, não apresentando

diferenças estatísticas, o comportamento se manteve para a idade de 60 dias. Abaixo é apresentada uma tabela resumindo os resultados que obtiveram diferenças.

Tabela 13 – Resumo dos resultados do teste de ANOVA e TUKEY

Idade	Teores com diferenças	
	Compressão	Tração
14	7% e 15%	3%, 5%, 7% e 15%
28	5%, 7% e 15%	Não houve diferença
60	Não houve diferença	Não houve diferença

Fonte: Elaborada pelo autor

5.5

5.6 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no gráfico, pode-se visualizar que para a análise de resistência à compressão não se obteve grandes variações na resistência final aos 60 dias, porém dispondo de apenas um teor de 5%, ultrapassando o traço de controle, com um pequeno aumento em sua resistência. Em se tratando da resistência a esforços de tração, nota-se que nas idades iniciais, o concreto apresenta resistência bem abaixo do traço de controle, porém com o avanço da idade percebe-se que há um notório ganho de resistência, com todos os teores de acréscimo de vidro atingindo valores maiores de resistência ao final dos 60 dias. Desse modo, nota-se que os teores mais significativos para adições no concreto são entre a faixa de 3% a 5%, em substituição do agregado miúdo, para resistência a compressão. E para o esforço de tração, o teor ideal foi de 15%, tendo ganho de resistência maior que o traço de controle em relação às últimas idades.

Os resultados mostraram que a adição de vidro na mesma proporção granulométrica do agregado miúdo no concreto não influenciou positivamente no concreto, pois ou a resistência se manteve ou foi diminuída por causa da adição do pó de vidro. Como o concreto é feito com a intenção de longa duração, o que mais pode interessar são os resultados da resistência em longo prazo. Mesmo que para as idades iniciais os resultados tenham apresentado diminuições em relação às resistências, para a idade de 60 foi observado que não houve distinção estatisticamente. Concluindo então que a adição do pó de vidro nos teores estudados manterá as características do concreto em longo prazo, contribuindo simultaneamente para a diminuição de resíduos de vidro jogados na natureza.

Como os resultados mostraram que as características são mantidas, independente dos teores, recomenda-se a utilização do teor máximo estudado, que é o de 15%, pois a sua utilização em relação aos demais teores é benéfica para o meio ambiente, significando uma quantidade maior de material reaproveitado.

6 REFERÊNCIAS

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais da construção**: Normas, Especificações, Aplicação e Ensaio de Laboratório. 1. ed. São Paulo: Pini, 2013. 460 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de Cimento Portland – Preparo, Controle, Recebimento e Aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.23p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento Para Moldagem e Cura de Corpos de Prova**. Rio de Janeiro, 2016.9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto- Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da Consistência Pelo Abatimento do Tronco de Cone**. Rio de Janeiro, 1998.8p.

BRASIL. IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**, 2015. Estudos & pesquisas. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94254.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2018.

CERÂMICA. In: LOPEZ, D. A.; AZEVEDO, C. A. P.; TAYLOR, E. S. **Avaliação das Propriedades Físicas e Mecânicas de Concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino**. São Paulo: [s.n.], 2005. p. 318-324. v. 51.

CRENTSIL, K. S.; BROWN, T.; TAYLOR, A. **Recycled glass as sand replacement in premix concrete**. [S.l.]: Eco-Recycled Australia And CSIRO, 2001. 425 p.

FERRARI, G.; JORGE, J. **Materiais e Tecnologias**. São Paulo, 2010. Universidade Bandeirantes. (Notas de aula).

JORNADAS SUL AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 35., 2012, Rio de Janeiro. **ANÁLISE DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM VIDRO MOÍDO QUANDO SUBMETIDOS À ELEVADAS TEMPERATURAS...** Porto Alegre: [s.n.], 2012. 13 p. Disponível em:

<http://cimentoitambe.com.br/_downloads/artigo_vidro_moido.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2018.

LÓPEZ , D. A. R.; AZEVEDO , C. A. P.; BARBOZA NETO, E. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino.** Cerâmica. São Paulo, v.51, n.320, p. 318-324, 2005.

MARQUES, A. C.; RICCI, E. C.; TRIGO, A. P. M.; AKASAKI, J. L. **Resistência Mecânica do Concreto Adicionado de Borracha de Pneu Submetido à Elevada Temperatura.** In: Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural, 32., 2006, Campinas. **Anais...** Campinas, SP.

7 SCANNI, A., BIGNOZZI, M. C. **ASR expansion behavior of recycled glass fine aggregates in concrete.** Cement and Concret Research. 2010

SHAO, Y.; LEFORT, T.; MORAS, S.; RODRIGUEZ, D. **Studies on concrete containing ground waste glass.** Cement and Concrete Research. Elmsford, v.30, n.1, p. 91–100, 2000.