

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL– PPGEC

VILMAR DOS SANTOS MALAGUTI

REUSO DE ÁGUA E RESÍDUOS GERADOS PELA LAVAGEM DE
CAMINHÕES BETONEIRAS: ANÁLISE DO EFEITO NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DE CONCRETO USINADO.

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2016

VILMAR DOS SANTOS MALAGUTI

REUSO DE ÁGUA E RESÍDUOS GERADOS PELA LAVAGEM DE
CAMINHÕES BETONEIRAS: ANÁLISE DO EFEITO NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DE CONCRETO USINADO.

Dissertação apresentada como requisito parcial à
Obtenção do grau de Mestre em Eng. Civil, no Curso de
Pós-Graduação em Eng. Civil, Setor de Materiais da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof^o. Dr. Adalberto Matoski.

Coorientador: Prof^o. Dr. Vsévolod Mymrine.

CURITIBA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

M236r Malaguti, Vilmar dos Santos
2016 Reuso da água e resíduos gerados pela lavagem de caminhões
betoneiras : análise do efeito na resistência à compressão
de concreto usinado / Vilmar dos Santos Malaguti.--
2016.
124 f.: il.; 30 cm

Texto em português, com resumo em inglês.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica
Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil, Curitiba, 2016.
Bibliografia: p. 118-124.

1. Engenharia civil - Dissertações. 2. Concreto. 3.
Água - Reutilização. 4. Águas residuais. I.Matoski,
Adalberto. II.Mymrine, Vsévolod. III.Universidade
Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-graduação
em Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: Ed. 22 -- 624



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação – Câmpus Curitiba
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Civil




TERMO DE APROVAÇÃO

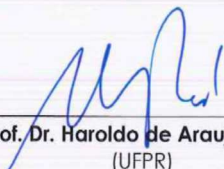
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO N.º 083

**REUSO DE ÁGUA E RESÍDUOS GERADOS PELA LAVAGEM DE CAMINHÕES
BETONEIRAS: ANÁLISE DO EFEITO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETO
USINADO
POR
VILMAR DOS SANTOS MALAGUTI**

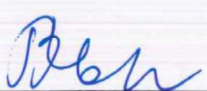
Esta dissertação foi apresentada às 09:30 do dia 08 de março de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**, área de Construção Civil, Linha de pesquisa Materiais e Componentes de Construção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho *aprovado* (aprovado / reprovado)




Prof. Dr. Adalberto Matoski
(Orientador - UTFPR)



Prof. Dr. Haroldo de Araujo Ponte
(UTFPR)




Prof. Dr. Vsévolod Mymrine
(Coorientador – UTFPR)



Prof.ª Dr.ª Janine Nicolosi Correa
(UTFPR)

Visto da Coordenação:



Prof. Dr. Ronaldo Luis dos Santos Izzo
Coordenador do PPGEC

Avenida Deputado Heitor Alencar Furtado, 4900
Curitiba/PR - Sede Ecoville CEP 81280-340
Fone: (41) 3279-4578
<http://www.ppgec.dacoc.ct.utfpr.edu.br>

Dedico esse trabalho a minha família por estar sempre presente quando preciso, a empresa por me apoiar e conceder a realização dos ensaios nos laboratórios e aos meus colegas de trabalho que me ajudaram tanto na parte técnica como no apoio e suporte.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof^o. Dr. Adalberto Matoski e ao coorientador, Prof^o Dr. Vsévolod Mymrine, pelo acompanhamento, orientação e amizade.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, do Setor de materiais, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, na pessoa do seu coordenador, Prof. Dr. Ronaldo Izzo, pelo apoio recebido.

A empresa X Concreto, pelos materiais, equipamentos e espaço no laboratório para realização dos ensaios.

Ao Eng.^o Ícaro Mariani Ribeiro dos Santos e ao laboratorista Douglas de Conto pelo apoio, amizade, orientação e parceria.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar a resistência à compressão do concreto e seus possíveis efeitos com o reuso da água e dos resíduos de lavagens dos caminhões betoneiras. A revisão bibliográfica sobre o assunto proposto foi estudado e discutido em países como Grécia, Taiwan, Alemanha, Itália, Cingapura e outros, o que serviu de apoio e reforço para este trabalho. O método para analisar a resistência à compressão foi de comparação entre uma amostra controle (traço padrão de 30 MPa) e amostras com diferentes composições. O resultado de cada amostra foi diferente em função de sua composição, no entanto, pode-se afirmar ganho econômico na ordem de 20,21 R\$/m³, além da resistência à compressão ser maior que 90% da amostra controle. As análises realizadas nas amostras através de DRX, MEV e EDS comprovaram que não houve síntese de novos minerais, somente pequenas quantidades (menor do que os limites de detecção do método de DRX) de alumino-silicatos e quartzo dissolvidos que foram sintetizados em novos minerais cristalinos, que podem ser atribuídos como substâncias amorfas em estado sol-gel. Com o resultado observa-se que o reuso da água de lavagem dos caminhões betoneiras não interferem na resistência à compressão de novos concretos, assim como o resíduo de lavagem que não apresentou nenhum elemento diferente do composto no cimento, também não interfere na resistência à compressão de novos concretos, desde que haja controle da água presente.

Palavras chave: concreto – reuso – lavagem – resíduos - água

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the strength of concrete compression and its possible effects on water reuse and waste washes of concrete mixer trucks. The literature review on the proposed subject was studied and discussed in countries like Greece, Taiwan, Germany, Italy, Singapore and others, which served as support and reinforcement for this work. The method for analyzing the compressive strength was compared between the control sample (standard stroke 30 MPa) and samples with different compositions. The result of each sample was different depending on their composition, however, it can be stated economic gain on the order of 20,21 R\$/m³, in addition to the compressive strength is greater than 90% of the control sample. The samples were analyzed by DRX, MEV and EDS showed that there was no synthesis of new mineral, only small amounts (lower than the detection limits of the DRX method) dissolved alumino-silicates and quartz which have been synthesized into new mineral crystalline, which can be assigned as amorphous substances in sol-gel state. With this result it was observed that the reuse of the concrete mixer trucks washing water does not interfere with the compressive strength of new concrete, as well as the washing residue which presented no different element of the compound in cement, does not interfere with the compressive strength new concrete, provided that control of the water present.

Keywords: Concrete, reuse, wash, waste, water

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Tronco cone – medir abatimento do concreto.....	31
Figura 2 - Volume por fck em %	51
Figura 3 - Resíduo de concreto.....	54
Figura 4 - Água de lavagem dos caminhões.....	54
Figura 5 - Modelo do processo de decantação da água reciclada.....	58
Figura 6 - Pontos de coleta - lastro de concreto	59
Figura 7 - Curva de granulometria - areia industrial Caltec	65
Figura 8 - Curva de granulometria - areia fina Bassani.....	66
Figura 9 - Curva de granulometria - brita 1 Basalto.....	67
Figura 10 – Análise de granulometria a laser – resíduo de lavagem.....	71
Figura 11 – DRX resíduo de lavagem	73
Figura 12 - Resistência média à compressão aos 7 e 28 dias de idade – etapa 1	76
Figura 13 - Evolução da resistência - 7 para 28 dias de idade – etapa 1	78
Figura 14 - Resistência à compressão das amostras referente ao TP – etapa 1.....	81
Figura 15 - Correlação entre fator a/c e percentual (%) de resíduo de lavagem	83
Figura 16 - Resistência média à compressão aos 7 e 28 dias de idade.....	89
Figura 17 – Correlação entre a resistência a compressão e o percentual (%) de resíduo de lavagem.....	95
Figura 18 – correlação entre o fator a/c e o percentual (%) de resíduo de lavagem.....	95
Figura 19 – Composição mineralógica das amostras de composição TP - R no 7° (A) e no 28° (B) dias de cura.....	98
Figura 20 - Micro imagens das estruturas morfológicas das amostras de TPR nos 7° (A, B e C) e 28° (D, E e F) dias de cura.....	102
Figura 21 – Composição de novas formações das amostras TP-R por método EDS no 7° (A) e 28° (B) dias de cura.	103
Figura 22 – Análise de DRX na amostra A2 nos 7° e 28° dias de cura	105
Figura 23 – Micro imagens das estruturas morfológicas das amostras de comp. A-2 nos 7° (A, B e C) e 28° (D, E e F) dias de cura.	109
Figura 24 - EDS da amostra A2 7 e 28 dias	110
Figura 25 - Composições mineralógica da amostra A6 no 7° e 28° dias de cura.....	112

Figura 26 - Micro imagens das estruturas morfológicas da amostra A6 no 7° (A, B e C) e 28° (D, E e F) dias de cura.	114
Figura 27 - EDS da amostra A6 7 e 28 dias	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução do PIB brasileiro (2001 - 2013), em %.	21
Tabela 2 - Composição – tipo cimento	26
Tabela 3 - Principais critérios da EN 1008 e ASTM C94 - para a avaliação da água de mistura	33
Tabela 4 - Características das amostras da água.	36
Tabela 5 - Resultado das análises da água.	38
Tabela 6 - Métodos de teste de qualidade da água	38
Tabela 7 - Média dos valores obtidos da análise de água nos decantadores entre junho e outubro de 2009.	40
Tabela 8 – Etapas da pesquisa	50
Tabela 9 - Volume por fck produzido nas filiais da empresa X concreto.	51
Tabela 10 – Dados do traço padrão	53
Tabela 11 - Materiais que compõem o traço padrão comercializado pela empresa X concreto.	53
Tabela 12 - Peso dos materiais por m^3	54
Tabela 13 – Quantidade de material do traço padrão	55
Tabela 14 - % de material por amostra – etapa 1	55
Tabela 15 - % de material por amostra – etapa 2	56
Tabela 16 - Composição da amostra A6 – sem redução de cimento – 3º etapa.	57
Tabela 17 – Medidas por análise que determinam a qualidade da água potável.	62
Tabela 18 - Análise física dos agregados	64
Tabela 19 – Dados quantitativos da água e resíduos de lavagem.	68
Tabela 20 – Dados gerados a partir da Tabela 19.	68
Tabela 21 – Gastos para tratar o resíduo de lavagem	69
Tabela 22 – Economia em (R\$) com uso da água de lavagem	69
Tabela 23 – cotação do dólar	69
Tabela 24 - Composição do traço em reais e dólar.	70
Tabela 25 – FRX – Análise de fluorescência por raio “x” no resíduo de lavagem.	72
Tabela 26 – Legenda dos elementos químicos compostos nos resíduos de lavagem.	72

Tabela 27 – Legenda do gráfico de <i>DRX</i> – resíduo de lavagem.....	73
Tabela 28 - Resultado da água de lavagem x normas.....	74
Tabela 29 - Resultados das composições da etapa 1	75
Tabela 30 - Evolução da resistência à compressão – de 7 para 28 dias	77
Tabela 31 - % da resistência à compressão das amostras em função do TP – etapa 1	79
Tabela 32 – Análise econômica da etapa 1 - amostra A1, A2 e A4	80
Tabela 33 – Abatimento do concreto.....	81
Tabela 34 - Fator a/c e resistência à compressão.....	82
Tabela 35 - Análise estatística através da anova - 7 dias de idade	83
Tabela 36 - Comparações pareadas de <i>Tukey</i> das amostras de 7 dias de idade.....	84
Tabela 37 - Análise estatística através da <i>anova</i> - 28 dias de idade.....	84
Tabela 38 - Comparações pareadas de <i>Tukey</i> das amostras de 28 dias de idade.....	85
Tabela 39 - Densidade das amostras.....	86
Tabela 40 - Resultado das amostras	87
Tabela 41 – Análise econômica da etapa 2 – amostras A2 e A6.....	88
Tabela 42 – Fator a/c e resistência a compressão	89
Tabela 43- Densidade das amostras.....	90
Tabela 44 - Análise estatística através da <i>anova</i> – 7 dias de idade	90
Tabela 45 – Comparações pareadas de <i>Tukey</i> das amostras de 7 dias de idade.....	91
Tabela 46 - Análise estatística através da <i>anova</i> – 28 dias de idade	91
Tabela 47 – Comparações pareadas de <i>Tukey</i> das amostras de 28 dias de idade.....	92
Tabela 48 - Dados dos ensaios da amostra A6	92
Tabela 49 – Resultado dos ensaios da amostra A6.....	93
Tabela 50 – Análise econômica da etapa 3.....	94
Tabela 51 - Análise estatística através da <i>anova</i> - 7 dias de idade.....	96
Tabela 52 - Comparações pareadas de <i>Tukey</i> das amostras de 7 dias de idade.....	96
Tabela 53 - Análise estatística através da <i>anova</i> - 28 dias de idade.....	97
Tabela 54 - Comparações pareadas de <i>Tukey</i> das amostras de 28 dias de idade.....	97
Tabela 55 – Legenda referente a (Figura 19)	99
Tabela 56 - Mudança de composição mineralógica e de intensidades de picos.....	100
Tabela 57 – Legenda de Figura 22 – análise de DRX na amostra A2 aos 7 e 28 dias	105

Tabela 58 – Mudança de composição mineralógica e de intensidades dos picos cristalinos de minerais das amostras A2 no 7° e 28° dias de cura (método de DRX).....	107
Tabela 59 - Legenda das difratogramas da Figura 25	112
Tabela 60 - Tabela DRX das amostras A6 no 7° e 28° dias de cura.	113

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	JUSTIFICATIVAS	18
1.1.1	Justificativas ambientais.....	19
1.1.2	Justificativas sociais	20
1.1.3	Justificativas econômicas	20
1.1.4	Justificativas técnicas	22
1.2	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	23
1.3	PROBLEMA	23
1.4	OBJETIVO GERAL	23
1.5	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
2	REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1	CONCRETO	25
2.2	AGREGADO	25
2.3	CIMENTO <i>PORTLAND</i>	25
2.4	MATERIAIS POZOLÂNICOS	26
2.5	ADITIVOS.....	27
2.6	ESTADO ENDURECIDO DO CONCRETO.....	27
2.6.1	Durabilidade do concreto	27
2.6.2	Permeabilidade do concreto	28
2.6.3	Resistência à compressão uniaxial	29
2.7	ESTADO FRESCO DO CONCRETO.....	30
2.7.1	Trabalhabilidade do concreto	30
2.8	ÁGUA DE AMASSAMENTO	32
2.9	VAZIOS CAPILARES	32
2.10	ÁGUA E RESÍDUOS DA LAVAGEM DE CAMINHÕES BETONEIRAS EM CENTRAIS DE CONCRETO	32
2.10.1	Água e resíduos	32
2.11	EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS.....	41
2.12	DRX – DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	43
2.13	<i>MEV</i> – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA COM <i>EDS (K)</i>	43
2.14	<i>FRX</i> – FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X.....	44

2.15	ATAQUE QUÍMICO NO CONCRETO POR SULFATOS.....	44
2.16	ESTRUTURAS CRISTALINAS	45
2.17	FINURA DO CIMENTO.....	48
2.18	PROCESSO SOL-GEL.....	48
2.19	CARACTERÍSTICAS DO CIMENTO CIII F-32	49
3	MATERIAIS E MÉTODOS	50
3.1	MAPA DA PESQUISA	50
3.2	DEFINIÇÃO DO TRAÇO PADRÃO	51
3.2.1	Traço padrão determinado - controle	52
3.2.2	Composição do traço determinado.....	52
3.2.3	Dados do traço padrão.....	53
3.3	MATERIAIS UTILIZADOS NAS AMOSTRAS DE CONCRETO.....	53
3.3.1	Composição do traço padrão.....	53
3.3.2	Peso dos materiais por m ³ - traço padrão	54
3.4	METODOLOGIA	55
3.4.1	Método de composição das amostras	55
3.4.2	Dados complementares do TP – traço padrão	57
3.4.3	Método da coleta da água e do resíduo de lavagem	58
3.4.4	Método de ensaio, moldagem e rompimento dos corpos de prova	59
3.4.5	Método para análise da água de lavagem.....	61
3.4.6	Método para análise do resíduo de lavagem.....	61
3.4.7	Método para análise das amostras de concreto.....	61
3.4.8	Medidas por análise da água potável	62
3.4.9	Método para análise quantitativa e econômica.....	62
3.4.10	Coefficiente de variação nas amostras - etapa 1	63
3.4.11	Anova e comparações pareadas de <i>Tukey</i>	63
3.4.12	Formação das estruturas dos concretos desenvolvidos	63
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS	64
4.1	ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA AREIA E BRITA	64
4.2	ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA E BRITA	65
4.3	CARACTERÍSTICAS DO ADITIVO PLASTIFICANTE POLIFUNCIONAL - BF	
32.....		67
4.4	CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS E ECONOMICAS	68
4.4.1	Custo dos materiais constituintes do concreto por metro cúbico.	70

4.5	MASSA UNITÁRIA DO RESÍDUO DE LAVAGEM	70
4.6	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO RESÍDUO DE LAVAGEM.....	71
4.7	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO RESÍDUO DE LAVAGEM POR FRX	72
4.8	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DO RESÍDUO DE LAVAGEM ATRAVÉS DE DRX.....	73
4.9	RESULTADO E ANÁLISE DA ÁGUA DE LAVAGEM.....	74
4.10	ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS AMOSTRAS DA ETAPA 1	75
4.10.1	Coeficiente de variação das amostras A1 a A8 - etapa 1	76
4.10.2	Análise da correlação entre a resistência à compressão e o percentual (%) de água de lavagem - etapa 1.....	77
4.10.3	Análise do percentual (%) de evolução entre as idades de 7 e 28 dias das amostras – etapa 1.....	77
4.10.4	Análise da resistência à compressão referente ao traço padrão – TP	79
4.10.5	Abatimento do concreto – etapa 1	81
4.10.6	Fator a/c por amostra de concreto – etapa 1	82
4.10.7	Análise do comportamento das amostras através da Anova e comparações pareadas de <i>Tukey</i> – etapa 1.....	83
4.10.8	Análise da correlação entre a resistência à compressão e o percentual (%) de resíduo de lavagem - etapa 1.....	85
4.10.9	Análise da densidade dos corpos de prova – etapa 1.....	86
4.11	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DAS AMOSTRAS DA ETAPA 2. 86	
4.11.1	Análise do comportamento das amostras através da Anova e comparações pareadas de <i>Tukey</i> – etapa 2.....	90
4.12	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DAS AMOSTRAS DA 3ª ETAPA 92	
5	PROCESSOS DE FORMAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETOS TRADICIONAIS – TP-R.....	98
5.1	MUDANÇA DE COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA (ATRAVÉS DE MÉTODO DE DRX).....	98
5.2	ESTRUTURAS MORFOLÓGICAS DE CONCRETOS TRADICIONAIS TP-R.....	101
5.3	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS NOVAS FORMAÇÕES DAS AMOSTRAS DO TRAÇO PADRÃO REPRODUZIDO (TP-R)	102
5.4	PROCESSOS DE FORMAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETOS DE COMPOSIÇÃO A2.....	104
5.5	MUDANÇAS DE COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA ATRAVÉS DE DRX.....	104
5.6	MUDANÇAS DE ESTRUTURA MORFOLÓGICA ATRAVÉS DE MEV	109
5.7	COMPOSIÇÃO MICROQUÍMICA DE NOVAS FORMAÇÕES ATRAVÉS DE EDS – <i>ENERGY DISPERSIVE SYSTEM</i>	110

5.8	PROCESSOS DE FORMAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETOS DE COMPOSIÇÃO A6.....	111
5.9	ESTRUTURAS MORFOLÓGICAS DA AMOSTRA DE COMPOSIÇÃO A6 - 7 E 28 DIAS DE IDADE.....	114
5.10	COMPOSIÇÃO MICROQUÍMICA DAS NOVAS FORMAÇÕES DA AMOSTRAS DE COMPOSIÇÃO A6	115
6.	CONCLUSÕES.....	117
	REFERÊNCIAS.....	118
	ANEXO A - RELATÓRIO DE ENSAIO DE CIMENTO - CPII F 32 NOV_14.....	125
	ANEXO B - RESUMO DAS ESPECIFICACOES TÉCNICAS DA ABNT CPII F 32.....	126
	ANEXO C - ADITIVO MASTERPOLYHEED-32.....	127

1 INTRODUÇÃO

As águas geradas pela lavagem dos caminhões betoneiras e das bombas de concreto são alcalinas, contêm sulfatos e alta concentração de sólidos. A falta de controle e tratamento da água reciclada acarreta em transbordo para corpos de água, lençóis freáticos e em vias públicas ocasionando perigo a saúde pública e aos organismos vivos (TSIMAS; ZERVAKI, 2011).

A reutilização da água e do resíduo oriundos da lavagem dos caminhões betoneiras e bombas nas centrais de concreto usinado e seu efeito na produção de concretos tem como finalidade reduzir o uso de água potável e diminuir a quantidade de resíduos gerados, os quais podem contaminar o meio ambiente, além de reduzir o custo com água na produção de concreto (TSIMAS; ZERVAKI, 2011).

O mercado oferece alternativas de reaproveitamento de água reciclada, desde o modelo mais simples até o mais complexo. O modelo mais utilizado em centrais de concreto são bacias de decantações e cisterna de água. Geralmente há três bacias de decantação, onde a primeira serve para a lavagem do caminhão betoneira e bomba de concreto, é onde os resíduos sólidos são despejados, nessa bacia ficam os resíduos mais grossos. A segunda bacia recebe a água ainda com resíduos, no entanto mais finos e a terceira bacia recebe a água com uma proporção pequena de partículas finas. A água da terceira bacia é transportada por gravidade até uma cisterna de água, onde fica armazenada para a reutilização de concretos usinados. Nas três bacias e na cisterna de água os resíduos ficam sedimentados (TSIMAS; ZERVAKI, 2011).

Outro modelo utilizado são os recicladores de concreto, onde o sistema está baseado em uma rosca de reciclagem. Esse modelo requer um aparelho mecânico de aproximadamente 7 metros de comprimento, que fica inclinado a um ângulo de 45 graus, o qual faz a lavagem do concreto fresco, elevando os agregados através da rosca transportadora. Os agregados são despejados separadamente (areia e brita) e a água é armazenada na parte inferior do aparelho mecânico, num tanque de água reciclada. O tanque tem um agitador para não deixar as partículas sedimentarem. Esse modelo é eficaz, no entanto o alto custo inicial e a manutenção dificulta a implantação (BETONMAC, 2014).

Segundo Benini, Cincotto e Repette (2007), as empresas também fazem uso do AEH – aditivo estabilizador de hidratação, para retardar o início de pega do concreto e assim poder redosar ou reaproveitar concretos devolvidos por obras. O uso de AEH no caminhão betoneira quando

há sobras de concreto, entre viagens e ao final do expediente reduzem a quantidade de resíduos, pois os mesmos podem ser reaproveitados em outras viagens.

O primeiro modelo, das bacias de decantações e cisternas, caracteriza um modo de uso simples, baixo custo de implantação e manutenção e atende aos requisitos ambientais (TSIMAS; ZERVAKI, 2011).

Hipótese

O reuso de água reciclada e resíduos proveniente da lavagem de caminhões betoneiras na produção de concreto usinado afeta a resistência mecânica do concreto.

1.1 JUSTIFICATIVAS

O controle, tratamento e reaproveitamento da água e dos resíduos gerados na lavagem dos caminhões betoneiras podem diminuir o custo com a produção de concreto, podem diminuir a quantidade de água potável utilizada no concreto, atendendo a legislação e prevenindo possíveis danos ao meio ambiente.

A estimativa de resíduo gerado é importante para determinar a estrutura necessária para o processo de reciclagem, para indicar a escala de produção de reciclagem necessária e indicar tendências futuras de geração de resíduo, considerando que o processo de reciclagem deve ser pensado para o longo prazo, de forma sustentável (JOHN; ANGULO, 2014).

Mesmo que a geração de resíduo seja em escala pequena, é possível aplicar algumas estratégias para reduzir a quantidade de resíduos e diminuir os danos ao meio ambiente. A mistura de um ou um grupo de resíduos com matérias primas virgens – compósitos, até a criação de polos de reciclagem que incentivem e promovam grupos de empresas é uma das estratégias (JOHN; ANGULO, 2014).

Os custos ambientais podem chegar até 20% dos custos totais de uma empresa, que vão desde a contingência, remediação, deposição, transporte e disposição dos resíduos, além da imagem da empresa face à gestão ambiental ineficiente (JOHN; ANGULO, 2014).

Os resíduos produzidos nas atividades de construção, manutenção e demolição possuem estimativa de volume gerada muito variável. Os valores típicos encontram-se entre 0,40 e 0,50 t/hab.ano, valor igual ou superior à massa de lixo urbano (JOHN, 2001).

1.1.1 Justificativas ambientais

Segundo John (2000), os resíduos caracterizados como perigosos possuem diferentes classificações e legislações. Um dos maiores problemas que agrava a disposição dos resíduos é o encarecimento dos processos de tratamento e deposição. Para John (2000), há dois fatores que interferem nesse processo: primeiro fator se refere a escassez de acondicionamento dos resíduos no entorno de grandes cidades e o segundo se refere as exigências técnicas para tratamento e acondicionamento.

De acordo com Sandrolini e Franzoni (2000) estima-se que na Itália a cada 9 m³ de concreto usinado (um caminhão betoneira), 200 a 400 kg de concreto no estado fresco são devolvidos pelas obras às centrais de concreto. Este material pode ser redosado e reaproveitado, dependendo das condições, através de aditivo estabilizador de hidratação – AEH. O uso de AEH no concreto retarda o início de pega e mantém as características originais do concreto sem afetar a resistência, sendo assim, esse concreto pode ser reutilizado em outros concretos. (KULAKOWSKI; GUERREIRO; GONZÁLEZ, 2012).

Caso as condições, como início de pega e características técnicas do concreto não estejam adequadas ao reaproveitamento, a água e o resíduo são despejados em tanques. Para lavar uma betoneira suja de concreto usa-se aproximadamente entre 700 a 1300 litros de água. Dependendo da estrutura da central, a água pode ser separada mecanicamente dos agregados, podendo ser utilizada novamente na produção. A lei Italiana n° 319 determina que a água não deve ser despejada em esgotos urbanos, devido ao conteúdo de sólidos em suspensão (geralmente superior ao máximo teor permitido de 2 ml/l) e o valor de *pH* que normalmente é maior do que 9,5 (SANDROLINI; FRANZONI, 2000).

Em meados de 2007, em Cingapura, todas as centrais de concreto usaram uma quantidade substancial de água potável para a produção de concreto, como consequência, gerando grandes quantidades de águas provenientes da lavagem dos caminhões betoneiras. Os resíduos consistem principalmente de água, com uma proporção variável de agregados finos e grossos, cimento e aditivos. Em 2001 o número de caminhões betoneira em Cingapura foi estimada em 2.100 unidades. Cada betoneira usou cerca de 1 m³ de água potável para lavagem, isso significa cerca de 2.100 m³/dia ou 0,76 milhões de m³/ano de águas de lavagem (LOW, *et al.*, 2007).

O processo produtivo do concreto apresenta etapas que geram impactos ao meio ambiente, onde a água de lavagem dos caminhões betoneiras é a atividade que mais polui em uma central de concreto (PAULA; ILHA, 2014).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, de 2010 (LEI nº 12305) define que líquidos que sejam inviáveis de serem lançados na rede pública de esgoto ou em corpos de água ou que exijam soluções técnicas ou com tecnologia disponível inviável, devem adotar e/ou desenvolver tecnologias limpas de forma a minimizar os impactos ambientais.

De acordo com a Resolução nº 448 de 2012 em seu parágrafo primeiro, estabelece que os resíduos gerados da construção civil não poderão ser destinados em aterros de resíduos sólidos urbanos, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos de água, lotes vazios ou em área de proteção ambiental (BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2012).

1.1.2 Justificativas sociais

Segundo Mehta e Monteiro (2008), atualmente no mundo o consumo de concreto é maior que 40 anos atrás. Acredita-se que o consumo total de concreto no mundo seja de 11 bilhões de toneladas de m³/ano.

Com o aumento dos resíduos gerados nas centrais de concreto, há necessidade de melhorar o controle e definir adequadamente o aproveitamento. Segundo a Abesc (2011), as empresas associadas vêm considerando programas ambientais como meta.

Técnicas corretas no manejo dos resíduos mostram-se extremamente necessária e importante para garantir a segurança dos trabalhadores, do meio ambiente e da sociedade, pois a história contemporânea relata vários problemas graves relacionados com a manipulação incorreta de produtos que podem causar danos à saúde e ao meio ambiente (BARBOSA *et al.*, 2009).

1.1.3 Justificativas econômicas

Segundo o Sinduscon-SP (2011), o crescimento do PIB – Produto Interno Bruto da construção civil vem aumentando significativamente, superando o PIB nacional.

Para Fialho *et al.*, (2014), um conjunto de fatores que se relacionam entre si afetam diretamente a indústria da construção civil. A finalidade da construção civil é mensurado pelo tamanho relativo do seu produto, assim como proporcionalmente à renda nacional. Nota-se após o ano de 2000 o aumento do crédito ao consumidor, estimulando o crescimento no mercado civil. O crescimento favorece interesses do governo, das empresas e do cidadão.

De acordo com Fialho *et al.*, (2014), o crescimento no mercado da construção civil é evidenciada pelos indicadores em relação à participação no PIB - o Produto Interno Bruto, o

que pode ser calculado a partir de três perspectivas, ótica da produção, ótica da demanda e ótica da renda.

Os resultados favoráveis da construção civil a partir de 2004 traduziram-se em crescimento expressivo no consumo de cimento e concreto no país, segundo dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC). O consumo de cimento aumentou 44% em 2008, relativamente a 2004. (BRASIL, 2009).

Nota-se através da (Tabela 1) a evolução do PIB brasileiro em função da indústria da construção civil.

Tabela 1 - Evolução do PIB brasileiro (2001 - 2013), em %.

Ano	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Var. Anual PIB (%)	1,5	2,7	1,1	5,7	3,2	4,0	6,1	5,2	-0,3	7,5	2,7	1,0	2,3

Fonte: Adaptado de Fialho *et al.*, 2014.

Pode-se observar através da (Tabela 1) que a evolução do PIB cresceu até 2008, onde começou a cair em 2009 em função do mercado Imobiliário nos EUA. Em 2010 o PIB voltou a crescer em função de algumas ações como o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) de aceleração, redução de taxa básica de juros, ampliação do crédito ao consumidor e ao produtor. A partir de 2011 o PIB volta a cair em função da crise internacional, o que forçou o Governo brasileiro a elevar os juros para combater a inflação, assim o desemprego aumenta significativamente, refletindo em 2012 e 2013. Em 2014 e 2015, devido à crise econômica e a política interna, o cenário de encolhimento do PIB na construção civil pode chegar até 8%, pior retração desde 1996. (FIALHO, *et al.*, 2014).

1.1.4 Justificativas técnicas

Segundo a NBR 10004 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004), os resíduos são classificados em:

- a) **Resíduos classe I - Perigosos**
- b) **Resíduos classe II – Não perigosos**
 - a. Resíduos classe II A – Não inertes
 - b. Resíduos classe II B – Inertes

Para a NBR 10004 (Associação..., 2004), os resíduos provenientes das atividades da indústria da construção civil estão inclusos nas atividades industriais ou nas atividades de serviços.

A Resolução n° 357 de 2005 através do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), determina que a água de classe I destinada ao consumo humano deve ter seu *pH* entre 6 e 9. A água reciclada é caracterizada como resíduo classe I - perigoso, devido ao seu *pH* ser superior a 11 e o lodo formado pelo teor de sólidos é caracterizado como resíduos classe II A – Não perigoso – Não inerte, conforme NBR 10004 (Associação..., 2004).

Resíduos não inertes são aqueles na forma líquida, gasosa ou sólida que não possuem capacidade de destruição ou contaminação, mas sujam águas e a atmosfera. Esses resíduos podem ser tratados, no entanto se não houver tratamento, eles podem permanecer em estado inativo por anos, com grande dificuldade de se dissiparem. Os resíduos não inertes podem ser solúveis em água, de acordo com a NBR 10004 (Associação..., 2004).

Os resíduos inertes são aqueles que, ao serem submetidos aos testes de solubilização, conforme a NBR 10007 (Associação..., 2004) não apresentam seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, ou seja, a água permanecerá potável em contato com o resíduo. Na maioria das vezes esses resíduos são recicláveis. Estes resíduos se degradam lentamente e não se decompõem em contato com o solo.

A Resolução n° 307 de 2002 através do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), específica e define os tipos de resíduos da construção civil e dispõe sobre a gestão destes resíduos. A água e os resíduos gerados pela lavagem das betoneiras em centrais de concreto são classificados no artigo 3° classe A item B. Ainda define no artigo 4° que “os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final”.

O artigo 8º da Resolução nº 307 de 2002 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) cita:

“Os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil serão elaborados e implementados pelos geradores não enquadrados no artigo anterior e terão como objetivo estabelecer os procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequados dos resíduos”. (BRASIL. CONAMA, 2002, P.573).

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

O concreto comum contém 12% de cimento, 8% de água de amassamento e 80% de agregado, em massa. Anualmente 1,5 bilhão de toneladas de cimento são consumidos e a indústria de concreto consome anualmente entorno de 9 bilhões de toneladas de areia e rocha e 1 bilhão de água de amassamento. A indústria da construção civil é responsável por 11,5 bilhões de toneladas ao ano e é a maior consumidora de recursos naturais no mundo. Para 2050, a expectativa de crescimento do concreto é na ordem de 16 a 18 bilhões de toneladas ao ano (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Para Brega e Mancuso (2002), o reuso da água compreende uma tecnologia desenvolvida em maior ou menor grau, dependendo da utilização a que se destina a água e de como ela foi usada anteriormente. Segundo Telles e Costa (2007), o reuso da água se refere ao aproveitamento do efluente após seu tratamento, com ou sem investimentos adicionais.

1.3 PROBLEMA

O reuso de água e resíduos gerados pela lavagem dos caminhões betoneiras afetam as propriedades do concreto usinado no estado fresco e endurecido?

1.4 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é analisar a resistência à compressão do concreto preparado a partir do reuso da água e resíduo da lavagem dos caminhões betoneiras, a partir de um traço padrão de concreto usinado de 30 MPa.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Caracterizar os agregados (brita e areia) que compõem o traço padrão.
- b) Caracterizar a água e os resíduos provenientes da lavagem dos caminhões betoneiras.
- c) Analisar as propriedades do concreto usinado no estado endurecido - resistência à compressão uniaxial;
- d) Analisar as propriedades do concreto usinado no estado fresco - trabalhabilidade;
- e) Analisar a viabilidade econômica referente à substituição da água e dos resíduos da lavagem dos caminhões betoneiras.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONCRETO

De acordo com Neville e Brooks (2013, p. 2), “concreto, no sentido mais amplo, é qualquer produto ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante”. Onde na maioria das vezes o meio cimentante é o produto da reação entre cimento hidráulico e água.

Mehta e Monteiro (2008) definem concreto como sendo um material compósito que consiste de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas ou fragmentos de agregados. Para o concreto de cimento hidráulico, o aglomerante se forma através da mistura do cimento hidráulico e água.

2.2 AGREGADO

Agregados podem ser definidos como:

“Agregado é um material granular, como areia, pedregulho, pedrisco, rocha britada, escória de alto-forno ou resíduos de construção e de demolição, que é usado com um meio cimentício para produzir concreto ou argamassa. Termo agregado graúdo se refere as partículas de agregado maior que 4,75 mm (peneira n° 4). O termo agregado miúdo se refere às partículas de agregado menores que 4,75 mm, mas maiores que 75 µm (peneira n° 200)”. (MEHTA; MONTEIRO, 2008, p.11).

2.3 CIMENTO *PORTLAND*

Cimento é um material seco, que isoladamente não desenvolve a função de aglomerante, mas, após hidratado, desenvolve propriedades de aglomerante. Um cimento é caracterizado como hidráulico quando as propriedades de hidratação ficam estáveis num meio aquoso (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O cimento *Portland* é obtido pela mistura de calcário, argila ou outros materiais silicosos, alumina e materiais que contenham óxido de ferro (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Os requisitos para a fabricação do cimento *Portland* Comum, CP I estão descritos na NBR 7212 (Associação..., 1991).

A composição para cada tipo de cimento é apresentado na (Tabela 2). Cada tipo de cimento apresenta uma característica própria e diferente para cada modo de aplicação e função.

Tabela 2 - Composição – tipo cimento

Tipos de cimento	Composição				NBR
	Clínquer	Calcário	Gesso	Cinza	
¹ CP II F 32	87,0%	9,5%	3,5%	0,0%	11578 (1997)
² CP II Z 32	71,2%	10,5%	4,8%	13,5%	11578 (1997)
³ CP IV 32	55,5%	5,5%	5,0%	34,0%	5736 (1999)
⁴ CP V ARI	90,5%	5,0%	4,5%	0,0%	5733 (1991)
⁵ CP V ARI - RS	78,0%	5,0%	5,0%	12,0%	5733 (1991)

¹CP II F cimento *Portland* composto com filler.

²CP II Z cimento *Portland* composto com pozolana.

³CP IV Cimento *Portland* pozolânico.

⁴CP V ARI Cimento *Portland* de alta resistência inicial.

⁵CP V ARI RS Cimento *Portland* de alta resistência inicial – resistente a sulfatos.

Fonte: Itambé, 2014.

Segundo Mehta e Monteiro (2008) o clínquer possui entre 5 e 25 mm de diâmetro, o qual é constituído basicamente por silicatos de cálcio e uma pequena quantidade de sulfatos de cálcio em altas temperaturas (acima de 1280° C).

2.4 MATERIAIS POZOLÂNICOS

Os materiais pozolânicos são classificados como naturais e industriais. Usadas em larga escala no concreto, possuem várias funções como reduzir custo, melhorar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, melhorar a resistência do concreto à fissuração térmica, reduzir o ataque a sulfatos e melhora a resistência à expansão causada pela reação álcali-agregado (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A NBR 5736 (Associação..., 1991) corrigida em 1999 define que pozolana é um material silicoso ou sílico-aluminoso, o qual não possui valor aglomerante. No entanto a presença de umidade reage quimicamente com o hidróxido de cálcio. As pozolanas são naturais e artificiais.

2.5 ADITIVOS

Segundo Neville e Brooks (2013), os aditivos são usados frequentemente para melhorar o efeito do cimento ou do concreto.

A ASTM C494/C494M-05a (*American Society for Testing and Materials*, 2005) define os aditivos químicos essencialmente como retardadores de pega, aceleradores e plastificantes (redutores de água).

A ASTM C125 (*American...*, 1993) define aditivo como qualquer material diferente de água, agregado, cimento hidráulico ou fibra, usado na composição do concreto ou argamassa, acrescentado antes ou depois da mistura.

De acordo com a Basf (2104) o aditivo plastificante polifuncional BF 32 é um líquido para uso em concretos, livres de cloretos, o que permite redução de água sem comprometer o início de pega.

Para Nunes (2001) os aditivos redutores de água são classificados como: 1ª geração – aditivos plastificantes, os quais não são indicados na obtenção do concreto auto adensável - CAA; 2ª geração – aditivos superplastificantes, os quais são constituídos de polímeros sintéticos sulfonatos e os aditivos de 3ª geração, os policarboxilatos.

2.6 ESTADO ENDURECIDO DO CONCRETO

No estado endurecido do concreto, as propriedades como resistência a compressão uniaxial, porosidade e durabilidade são analisadas ao longo prazo. Essas propriedades são afetadas pelo adensamento e trabalhabilidade do concreto no estado fresco (MEHTA; MONTEIRO, 2013).

2.6.1 Durabilidade do concreto

Consoante a Mehta e Monteiro (2008), a durabilidade é definida como a sua capacidade de resistir ao ataque químico, abrasão, intempéries ou qualquer outro tipo de deterioração. Com a ação do tempo na microestrutura, interações ambientais, alterações das propriedades e condições de uso, pode se definir que todo material possui uma vida útil limitada.

De acordo com Neville e Brooks (2013) a ausência de durabilidade pode ser causada por agentes externos oriundos do meio ou por agentes internos ao concreto. As causas físicas podem acontecer por ação de congelamento ou alterações entre as propriedades térmicas dos agregados e da pasta de cimento, enquanto as causas mecânicas estão ligadas à abrasão. No

entanto, as causas químicas são caracterizadas pelos ataques de sulfatos, ácidos, água do mar e cloretos que promovem a corrosão eletroquímica da armadura.

Neville e Brooks (2013, p. 256) explica que “como os ataques acontecem no interior da massa de concreto, o agente agressivo deve ser capaz de penetrar no concreto, que, por sua vez, tem de ser permeável”.

2.6.2 Permeabilidade do concreto

Segundo Neville e Brooks (2013), a facilidade que líquidos e gases podem se movimentar através do concreto chama-se permeabilidade. A permeabilidade tem função para a estanqueidade de estruturas destinadas à conter líquidos e ataques químicos.

Na produção de concreto, a permeabilidade possui uma forte relação com a porosidade da pasta de cimento. No entanto, não é uma relação clara, devido dimensão dos poros. Enquanto a porosidade do gel de cimento é de 28%, a permeabilidade é 7×10^{-16} m/s. Essa grandeza da permeabilidade se dá devido à textura fina do gel e das mínimas dimensões dos poros de gel. A permeabilidade da pasta de cimento hidratada será maior quando os poros capilares forem maiores, os quais são governados pela relação água/cimento e pelo grau de hidratação. Assim sendo, pode se afirmar que a permeabilidade tem uma relação direta com a relação água/cimento. Quando diminui a relação água/cimento, diminui a permeabilidade e a hidratação pode se manter igual. Também é possível que dois corpos porosos tenham porosidades iguais e permeabilidades diferentes. Isso se dá devido à grande influência da segmentação capilar na permeabilidade (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Para Mehta e Monteiro (2008) permeabilidade é a propriedade que governa a taxa de fluxo de um fluido através de um sólido poroso. Na pasta de cimento endurecida, o coeficiente de permeabilidade cai de 110 para 20×10^{-12} cm/s, quando há uma diminuição da porosidade capilar de 40 para 30%. No entanto quando se tenta reduzir à porosidade capilar de 30 para 20%, a permeabilidade apresenta uma pequena queda.

Essa pequena queda, para Mehta e Monteiro (2008), ocorre porque no início do processo de hidratação, mesmo uma pequena queda da porosidade capilar total é associada a uma segmentação nos poros de maior tamanho, diminuindo consideravelmente tamanho e o número de canais de fluxos na pasta de cimento. Cerca de 30% da porosidade capilar já tem uma diminuição significativa no coeficiente de permeabilidade. Em resumo, quando a relação água/cimento é alta e o grau de hidratação é baixo, a porosidade capilar da pasta de cimento será alta. Sendo assim haverá um alto número de poros bem conectados e um alto coeficiente

de permeabilidade. Assim, quanto mais hidratada estiver a pasta de cimento, a maioria dos poros serão reduzidos perdendo suas interconexões e diminuindo a permeabilidade. Como a relação água/cimento raramente excede a 0,7, teoricamente a pasta de cimento não deveria ser o principal fator para o coeficiente de permeabilidade. A adição de agregados na pasta de cimento ou argamassa aumenta a permeabilidade e quanto maior for o tamanho do grão, maior será o coeficiente de permeabilidade.

Conforme Mehta e Monteiro (2008), o concreto de resistência moderada, com agregado de dimensão máxima de 38 mm, com consumo de cimento de 356 kg/m³ e relação água/cimento de 0,5, o coeficiente de permeabilidade fica na ordem de 1×10^{-10} cm/s. A explicação pela qual a permeabilidade da argamassa ou do concreto ser maior que a pasta de cimento, é devido as microfissuras presentes na zona de transição na interface entre os agregados e a pasta de cimento. Portanto a distribuição granulométrica e a dimensão dos grãos afetam a exsudação da mistura de concreto, a qual influencia a zona de transição, a qual é fraca e vulnerável no primeiro período de hidratação. Isso ocorre devido a esforços entre agregado e pasta de cimento no momento em que há retração por secagem e térmica, além do carregamento aplicado externamente. Os esforços e o carregamento resultam em fissuras na zona de transição na interface e elas são maiores do que as cavidades capilares presentes na matriz da pasta de cimento. Mais tarde essas microfissuras se propagam e estabelecem as interconexões entre os poros tornando favorável o aumento da permeabilidade.

A permeabilidade e a resistência do concreto estão relacionadas entre si devido à porosidade capilar e que a mesma tem uma importância significativa nos processos físicos e químicos de deterioração do concreto. Sendo assim, para reduzir a permeabilidade, se faz necessário que o volume dos vazios capilares maiores que 100 nm sejam reduzidos na matriz da pasta de cimento e isso será possível reduzindo a relação água/cimento, o consumo de cimento, cura e adensamento apropriado, dimensão e granulometria dos agregados adequados (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

2.6.3 Resistência à compressão uniaxial

Para Neville e Brooks (2013), a resistência do concreto, por estar ligada a estrutura da pasta de cimento, é considerada a mais importante juntamente com a durabilidade, permeabilidade e estabilidade de volume. A resistência à compressão é oito vezes maior que a resistência à tração. A relação da resistência à compressão com a resistência à tração se dá pelo nível da resistência do concreto e quanto maior for a resistência à compressão, menor será a resistência

à tração. Para entender as influências sobre a resistência do concreto deve-se observar a presença de falhas, descontinuidades e os poros. A porosidade (volume relativo aos poros ou vazios na pasta de cimento) é um dos fatores mais importantes para a resistência do concreto. A porosidade na pasta de cimento no estado endurecido é determinada pela relação água / cimento. No entanto a porosidade da pasta de cimento hidratada é de difícil mensuração e o que se tem hoje são dados empíricos sobre os efeitos e fatores na resistência do concreto (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Mehta e Monteiro (2008), definem resistência como sendo a capacidade de um material resistir à tensão sem se romper.

A resistência do concreto é determinada pela relação porosidade e água/cimento, que são os fatores mais importantes na matriz do cimento e da zona de transição na interface entre a matriz e o agregado graúdo. A resistência à compressão uniaxial é normalmente aceita como índice geral da resistência do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Não há uma definição direta entre a porosidade, matriz do cimento e a zona de transição na interface (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

2.7 ESTADO FRESCO DO CONCRETO

2.7.1 Trabalhabilidade do concreto

No estado fresco, a trabalhabilidade do concreto pode ser definida como a quantidade de trabalho interno útil necessário à obtenção do adensamento total (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Segundo Neville e Brooks (2013), vários fatores afetam diretamente a trabalhabilidade do concreto: quantidade de água, tipo e granulometria dos agregados, relação agregado/cimento, presença de aditivos e finura do cimento. O principal fator que interfere a trabalhabilidade do concreto é o teor de água. Se a água for adicionada a mais que o especificado, a lubrificação entre partículas é aumentada. Para uma condição ótima de mínimo de vazios deve-se considerar o tipo e a granulometria dos agregados constituintes.

Para Nazari *et al.*, (2010), a resistência máxima do concreto está relacionada com a trabalhabilidade e só pode ser obtida se o concreto tem um adequado grau de trabalhabilidade devido a capacidade da auto compactação. As características do concreto fresco, a resistência e a durabilidade podem ser melhoradas pela adição de cimento, cinza volante, sílica, nano partículas e outros.

O termo trabalhabilidade representa várias características do concreto no estado fresco e é muito difícil mensurar, por essa razão, que a dosagem do concreto visa uma medida de trabalhabilidade desejável. A trabalhabilidade incorpora duas características como a consistência (medida de umidade da mistura do concreto e se avalia através do abatimento – quanto mais úmido, maior o abatimento) e a coesão (medida da facilidade do adensamento e de acabamento – a medida está ligada a avaliação visual de resistência à segregação) (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Quando um concreto possui uma mistura que dificulta o lançamento e o adensamento do mesmo, terá um custo elevado e pouca resistência, durabilidade e aparência deficiente. Assim, dosagens que tendam a segregar e exsudar elevam o custo de acabamento e resultam num concreto menos durável. Dessa forma, a trabalhabilidade pode afetar o custo e a qualidade do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A água afeta diretamente o custo e a trabalhabilidade do concreto, sendo assim, para se obter um abatimento especificado deve-se levar em consideração que a água na mistura diminui a medida que: a) aumenta a dimensão máxima do agregado; b) diminui o teor de partículas angulares e de textura áspera no agregado; c) aumenta a quantidade de ar incorporado no concreto; d) cinzas volantes são usadas para substituir o cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O ensaio para medir a trabalhabilidade ou consistência do concreto no ensaio fresco é recomendado pela norma ASTM C143 (*American...*, 2002) através do abatimento de tronco cone. No Brasil o ensaio para medir a trabalhabilidade é recomendado pela NBR NM 67 (*Associação...*, 1998), através do abatimento de tronco cone (Figura 1).



Figura 1– Tronco cone – medir abatimento do concreto
Fonte: O autor, 2015.

2.8 ÁGUA DE AMASSAMENTO

A água usada para preparar o concreto em geral tem menos que 1000 ppm (mg/l) e raramente tem mais que 2000 ppm (mg/l) de sólidos dissolvidos. A água da lavagem dos caminhões betoneiras é satisfatória para o uso de água de amassamento. Não há como definir critérios absolutos para o uso da água no concreto, qualquer água pode ser utilizada na produção de concreto, desde que atenda aos requisitos mínimos determinados por normas. Qualquer água que esteja com *pH* entre 6 e 8 e que não seja salobra é adequada ao uso na produção do concreto. As águas alcalinas devem ser submetidas a análise (NEVILLE; BROOKS, 2013). As normas internacionais da *British Standards* e *American Society for Testing and Materials* definem os limites de impurezas na água de amassamento, segundo Neville e Brooks (2013). No Brasil a norma que define a qualidade da água de amassamento é NBR 15900-1 (Associação..., 2009).

2.9 VAZIOS CAPILARES

Segundo Marques Filho, Freitas Jr. e Costa (2005), vazios capilares são poros onde a água de amassamento fica aprisionada e somente 22% do peso de cimento em água fica combinada quimicamente na pasta de qualquer traço. A quantidade de água que é colocada a mais no concreto, sobra e fica aprisionada nos poros capilares, a qual é chamada de água estequeométrica. Um concreto trabalhável com boa plasticidade requer um fator a/c entre 0,4 a 0,65, ou seja, entre 40% a 65% do peso de cimento em água. Se diminuir 22% de água aprisionada de 40% e 65%, tem-se 18% e 43% respectivamente, ou seja, entre 18% a 43% de água estão sobrando.

2.10 ÁGUA E RESÍDUOS DA LAVAGEM DE CAMINHÕES BETONEIRAS EM CENTRAIS DE CONCRETO

2.10.1 Água e resíduos

A água reciclada é caracterizada pela lavagem de caminhões betoneiras em centrais de concreto. Para investigar o efeito da água na produção de concreto e argamassa na Itália, Sandrolini e Franzoni (2000) realizaram ensaios em amostras de água reciclada coletada em centrais de concreto usinado, analisou o conteúdo total de sais solúveis, determinou cloretos e sulfatos, o *pH* da água, o teor de sólidos em suspensão, a composição de resíduos presentes na água e a distribuição do tamanho das partículas presentes na água. Os resultados obtidos através dos ensaios foram comparados com os valores de algumas normas internacionais que

determinam a qualidade da água reciclada para uso na produção do concreto, como a norma europeia EN 1008 (*European Committee for Standardization, 2002*) e a norte americana ASTM C94 (*American...,2004*).

A norma alemã, DIN 1008 (*Deutsches Institut Fur Normung, 2002*), e a norma britânica, EN 1008 (*European..., 2002*) definem que o *pH* da água deve ser ≥ 4 e não estabelecem limite máximo. A ASTM C94 (*American...,2004*) define como opcional os parâmetros de medição para cloro, sulfatos e material sólido.

A (Tabela 3) mostra os valores máximos citados pelas normas internacionais EN 1008 (*European..., 2002*) e ASTM C94 (*American...,2004*) para os parâmetros como: cloretos, sulfatos, concentração de sólidos totais, materiais em suspensão e resistência comparativa com a mostra padrão.

Tabela 3 - Principais critérios da EN 1008 e ASTM C94 - para a avaliação da água de mistura

Principais critérios da EN 1008 e ASTM C94 para a avaliação da água de mistura

Parâmetros	prEN 1008	ASTM C94
Teor de cloreto	≤ 600 mg/l (concreto protendido/argamassa)	Opcional ≤ 400 mg/l (mesas de concreto protendido ou ponte)
Teor de sulfato	≤ 1200 mg/l (concreto armado) ≤ 2000 mg/l (caso contrário, se encaixa água para utilização em determinados casos ^a .)	≤ 1200 mg/l (concreto armado) Opcional: ≤ 3000 mg/l
Conteúdo material sólido	Recomendado: $\leq 1\%$ da quantidade total do agregado no concreto.	Opcional: $\leq 50,000$ mg/l
Material em suspensão	≤ 4 cc ^b (caso contrário, se encaixa água para utilização em determinados casos ^a .)	-
Amostras comparativas - resistência	A média de 7 dias e 28 dias da resistência à compressão das amostras de argamassa ou de concreto preparados com água de lavagem deve ser de pelo menos 90% da força média das amostras de controle (preparado com água destilada ou da torneira).	A média de 7 dias a resistência à compressão das amostras de concreto preparados com água de lavagem deve ser de pelo menos 90 % da força média das amostras de controle (preparado com água destilada ou água da cidade).

^aIsso significa que a avaliação final depende de uma avaliação de cada caso individual e / ou o ensaio comparativo de concreto.

^b Medida como o volume de sólidos sedimentados, em um período de 30 minutos, de 80 cm³ de água .

Fonte: Adaptado de Sandrolini e Franzoni, 2000.

Sandrolini e Franzoni (2000) também investigaram a trabalhabilidade do concreto, a resistência à compressão e flexão, absorção de água e a porosidade da amostra.

Para Sandrolini e Franzoni (2000), com o uso de água reciclada, a trabalhabilidade da mistura cai, embora a classe de consistência se mantenha a mesma. Esse fato se dá porque a presença de sedimentos presentes faz com que a relação água/cimento diminua resultando perda da trabalhabilidade. O abatimento também cai em função do total de sólidos totais (SANDROLINI; FRANZONI, 2000).

A resistência à compressão da amostra com água reciclada aos 7 dias apresentou resultado médio de 32,08 MPa, maior que a amostra de controle, segundo Sandrolini e Franzoni (2000). Aos 28 dias a resistência à compressão com água reciclada apresentou resultado médio de 38,54 MPa, 96,5% da amostra de controle e superior ao que determina a norma EN 1008 (*European...*, 2002), que é maior de 90% da amostra de controle (SANDROLINI; FRANZONI, 2000).

A absorção de água apresentou leve queda com o uso da água reciclada, segundo Sandrolini e Franzoni (2000). Isso se dá a presença de partículas finas presentes na água. A diminuição da absorção da água tem uma ligação direta com a relação água/cimento, ou seja, se diminui o fator água/cimento, diminui a absorção e conseqüentemente aumenta a resistência e melhora a durabilidade (SANDROLINI; FRANZONI, 2000).

Segundo Sandrolini e Franzoni (2000), a resistência à flexão apresentou resultados superiores a 90% referente à amostra de controle, no entanto, a norma EN 1008 (*European...*, 2002) não faz nenhuma exigência quanto a resistência à flexão.

Para Low *et al.*, (2007) água reciclada é aquela usada na lavagem dos caminhões betoneiras constituída basicamente de água, agregado fino e grosso, cimento e aditivo.

Low *et al.*, (2007) também cita o uso de dióxido de carbono (CO₂) para neutralizar o *pH* da água reciclada a base de cimento, que geralmente é maior que 12. Com a redução do *pH*, pode se despejar a água reciclada em esgoto público, caso as centrais de concreto não tenham um sistema de reaproveitamento de água de lavagem.

Outra forma de reduzir a quantidade de água reciclada provenientes da lavagem de caminhões betoneiras é a utilização de AEH - aditivos estabilizadores de hidratação (KULAKOWSKI; GUERREIRO; GONZÁLES, 2012).

Para analisar a qualidade da água reciclada de centrais de concreto em Cingapura, Low *et al.*, (2007) realizou ensaios em diferentes amostras de água de centrais de concreto, a fim de estudar o efeito delas na pasta de cimento, assim como a demanda de água e as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido. Os resultados foram analisados e comparados com algumas normas internacionais, como a norte americana ASTM C94 (*American...*,2004), a EN 1008 (*European...*, 2002), a JIS 5308 (*Japan Industrial Standarts*, 1989) entre outras.

O *pH*, teor de sólidos em suspensão, turbidez e gravidade específica ou densidade relativa foram as principais análises realizadas na água reciclada. Todos os resultados deram satisfatórios, dentro dos parâmetros especificados em normas (LOW *et al.*, 2007).

Low *et al.*, (2007) cita que a qualidade da água reciclada foi analisado o TSS – total de sólidos em suspensão, turbidez e *pH*. Os valores para TSS e turbidez foram referenciados com

a norma EN 1008 (*European...*, 2002). O valor do *pH* foi de 12,3 a 13,3. A norma utilizada foi a *APHA Standards Methods*.

Os testes realizados tiveram como base a massa específica - ME, que é a razão da massa específica da substância pela massa específica do controle através da norma BS 1377 - parte 2 (*British Standards*, 1990). A massa específica ideal é de 1,03 ou menor. Na água reciclada, quando se aumenta a ME o início de pega diminui. Quando utilizado lodo na mistura com massa específica superior a 1,03 houve adição de água de torneira entorno de 20%, no entanto houve uma queda acentuada no início de pega na pasta de cimento. A norma permite diferenças de 1h30 entre a amostra e o controle (LOW *et al.*, 2007).

Se a massa específica não for controlada e fique acima de 1,03, a quantidade de sólidos em suspensão e a alcalinidade afetam o início de pega do concreto e a demanda de água utilizada na matriz de concreto, o que pode levar a perda de trabalhabilidade da mistura (LOW *et al.*, 2007).

A norma determina que a resistência à compressão da amostra deve ser maior que 90% do controle. Os resultados deram maior que 96% (LOW *et al.*, 2007).

Na Grécia o consumo de água para lavar os caminhões betoneiras no final de cada turno diário nas centrais de concreto usinado é de 1500 litros de água. Para um volume de 8 m³ são necessários mais 1600 litros de água. A água de lavagem dos caminhões é caracterizada como perigosa devido ao *pH* ser superior a 11,5. Por essas razões Tsimas e Zervaki (2011) caracterizaram as águas oriundas da lavagem dos caminhões betoneiras como recicladas e através de vários estágios do processo de reciclagem estudaram o efeito da água na produção de concreto usinado.

Para realizar a análise na água reciclada Tsimas e Zervaki (2011) coletaram várias amostras em tanques de decantação em centrais de concreto da Grécia. Essas amostras foram submetidas à análise de cloreto, sulfatos, álcalis, teor de sólido em suspensão e *pH*. Os resultados foram comparados com as normas ASTM C94 (*American...*,2004), EN 1008 (*European...*, 2002) e ELOT (*Hellenic Organization for Standardization*, 1977).

A (Tabela 4) apresenta um comparativo entre as águas estudadas por Tsimas e Zervaki (2011) e os limites máximos estabelecidos pelas normas internacionais, a ASTM C94, EN 1008 e a ELOT.

As amostras TW são provenientes da lavagem dos caminhões betoneiras, as amostras WW são dos tanques de decantações e as amostras CW são de uma cisterna com água combinada – água pura e reciclada. Todos os resultados atenderam as normas ASTM C94 e EN 1008, no entanto não atenderam ao padrões ELOT. (TSIMAS; ZERVAKI, 2011).

Tabela 4 - Características das amostras da água

Amostra de água	TW1	TW2	WW2	WW3	CW	Limite - ASTM	Limite - EN	Limite - ELOT
Cloreto - Cl, ppm	195	213	195	195	355	<500	<500	<240
Sulfato - SO ₄ ²⁻ , ppm	1,991	1,287	1,452	1,285	1,152	<3,000	<2,000	<270
Alcalis - (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O), ppm	104.3	50.5	71.8	75.4	63.9	<600	–	–
Sólidos totais em massa, ppm	2,000	1,750	1,480	1,300	630	<50,000	–	<800
Valor pH	12.42	12.08	12.21	11.96	8.1	–	>4	6-9

Fonte: Adaptado de Tsimas e Zervaki, 2011.

Para caracterizar os materiais sedimentados nos tanques de decantações foi realizada análise química de fluorescência de raio x e o material mais presente foi óxido de cálcio (CaO). Na sequência foi aplicado análise de mineralogia usando difração de raio x e os materiais presentes foram carbonato de cálcio (CaCO₃) e uma pequena quantidade de dióxido de silício (SiO₂). A presença de carbonato de cálcio e dióxido de silício implica que em grande parte do cimento hidratado estão presentes no concreto retornado ou dispersos na água decantada nos tanques (TSIMAS; ZERVAKI, 2011).

De acordo com Tsimas e Zervaki (2011), o lodo, que é um material fino de calcário, testado nas amostras de concreto, melhorou a resistência à compressão do concreto mesmo sem a utilização de aditivos. O material fino teve como papel o preenchimento dos vazios, melhorando o empacotamento das partículas. A trabalhabilidade não foi afetada com uso de água reciclada, não houve diferença mesmo com amostras sem aditivos (TSIMAS; ZERVAKI, 2011).

Para Tsimas e Zervaki (2011), a análise das propriedades químicas da água é opcional de acordo com a norma ASTM C94 (*American...*,2004).

Para Tsimas e Zervaki (2011), os testes realizados na água reciclada para cloretos deram abaixo para as cinco amostras referente à ASTM C94, a EN 1008 e ELOT, para sulfatos os resultados só deram abaixo para ASTM C94, a EN 1008, para álcalis os resultados deram abaixo para ASTM C94, a EN 1008 e ELOT, que não exigem. O total de sólidos em suspensão deu abaixo para ASTM C94, acima para ELOT e a EN 1008 não exige. O pH deu acima da EN 1008 que determina pH maior que 4 e acima da ELOT que determina entre 6 e 9, a ASTM C94 não exige. (TSIMAS; ZERVAKI, 2011).

Foram realizados testes para resistência à compressão, abatimento e início de pega com amostras de concreto contendo água reciclada, usando como base as normas ASTM C94, EN 1008 e ELOT (TSIMAS; ZERVAKI, 2011).

A resistência à compressão da amostra com água reciclada na maioria das vezes diminui nas primeiras idades de cura, geralmente até 7 dias, no entanto atendem as exigências especificadas em normas (TSIMAS; ZERVAKI, 2011).

Nos ensaios realizados por Tsimas e Zervaki (2011), o abatimento só foi afetado com a presença de aditivos e não pela qualidade da água reciclada, mesmo com a presença excessiva de sólidos totais. Para início de pega da pasta de cimento, todas as amostras com água reciclada não excederam aos limites da ASTM C94 ou EN 1008, segundo Tsimas e Zervaki (2011).

De acordo com Tsimas e Zervaki (2011), o *pH* e as propriedades químicas da água reciclada não afetaram a qualidade do concreto.

Su, Miao e Liu (2002) descrevem que para água possuir boa qualidade, deve ser limpa, livre de óleo, ácidos, álcalis, matéria orgânica e outras substâncias deletérias. A água com boa qualidade é fundamental para as propriedades do concreto, tanto na fase fresca como endurecida.

Na atividade de concreto usinado, um dos problemas é a quantidade de água gerada na lavagem de caminhões betoneiras e bombas de concreto. Em Taiwan a água gerada na lavagem dos caminhões betoneiras e bombas de concreto não pode ser despejadas como efluentes sem o devido tratamento. O processo de tratamento é relativamente caro, sendo assim se faz necessário estudar alternativas para o reaproveitamento da água e dos resíduos (SU; MIAO; LIU, 2002).

Su, Miao e Liu (2002) realizaram ensaios de qualidade da água utilizando cinco amostras, as quais foram coletadas em locais diferentes para serem analisadas. As águas foram caracterizadas como água de torneira, subterrânea, água de tanque de decantação nível superior, médio e de fundo. As análises empregadas foram para medir o *pH*, turbidez, teor de sólidos totais, íons de cloreto e de sulfato para cada tipo de água. Os resultados foram comparados com a norma americana ASTM C94 (*American....,1992*).

A (Tabela 5) apresenta um comparativo entre as águas estudadas por Su, Miao e Liu (2002) e os limites máximos estabelecidos pela norma internacional, a ASTM C94 (*American...,1992*).

Tabela 5 - Resultado das análises da água

Itens de ensaio	Tipos de água					ASTM C94
	TW	UW	WW-T	WW-M	WW-B	Exigência
Valor <i>pH</i>	6.7	7.8	11.2	11.9	11.8	-
Turbidez (NTU)	0.05	1.3	29.3	39.7	493.0	-
Sólidos totais (ppm)	2130	2370	1530	3930	7130	<50,000
Teor de cloreto (ppm)	10.45	5.7	13.48	14.73	20.8	<1000
Teor de sulfato (ppm)	125	118	210	235	203	<3000

TW: Água de torneira; UW: Água subterrânea; WW-T: Nível superior água lavagem
WW-M: Nível inferior água lavagem; WW-B: Nível médio água lavagem

Fonte: Adaptado de Su, Miao e Liu, 2002.

Todas as análises realizadas por Su, Miao e Liu (2002) deram resultados positivos, conforme padrão requerido pela ASTM C94 (*American...,1992*). O valor do *pH* e da turbidez não são exigidos pelas normas ASTM C94.

A (Tabela 6) mostra os métodos para realizar os testes conforme parâmetros indicados.

Tabela 6 - Métodos de teste de qualidade da água

Métodos de ensaio para qualidade da água	
Item	Método de ensaio
Valor <i>pH</i>	ASTM D1293 (1999)
Turbidez	ASTM D1889 (2000)
Sólidos totais	AASHTO T26
Teor de cloreto	ASTM D512 (1989)
Teor de sulfato	ASTM D516 (1990)

Fonte: Adaptado de Su, Miao e Liu, 2002.

Os resultados para análise da água de torneira, subterrânea e de lavagem são satisfatórios, dando abaixo do limite máximo determinado pelos requisitos da ASTM C94 (*American...,1992*). A grande variação dos valores obtidos se deve ao fato da localização das centrais de concretos onde foram coletadas as amostras. (SU; MIAO; LIU, 2002).

Para Su, Miao e Liu (2002) as análises foram realizadas na água e os resultados foram os seguintes: o *pH* para água de torneira e água subterrânea foram entre 6 e 8, enquanto que a água reciclada apresentou valor de 11. O fato pode ser explicado devido as partículas de cimento (CaOH_2 – hidróxido de cálcio) estarem presentes na água. A turbidez da água de torneira foi de 0,05 NTU e para água subterrânea foi de 1,3 NTU, os valores foram abaixo do estabelecido pela norma CSN 13961 (*The Bureau os Standard*, 1998) – define o padrão da qualidade da água para mistura de concreto em Taiwan para água de torneira, que é de 4 NTU. A turbidez da água reciclada foi elevada a 493 NTU, no entanto a norma *British Standards* nem *American Society for Testing and Materials* definem exigências de turbidez na água. A água reciclada apresentou valor de 1530 ppm na parte superior do tanque e 7130 ppm na parte inferior do tanque. A ASTM C94 (*American...*,1992) define que os sólidos totais devem estar abaixo de 50000 ppm. Os íons de cloreto para a água reciclada apresentou valor de 13,48 ppm na parte superior e 20,8 ppm na parte inferior do tanque. A ASTM C94 (*American...*,1992) define um valor menor que 1000 ppm para íons de cloreto. Os valores dos íons de sulfatos também mostrou valores abaixo do especificado na ASTM C94 (*American...*,1992), que é abaixo de 1000 ppm. (SU; MIAO; LIU, 2002).

A ASTM C94 (*American...*,1992) define o início de pega da argamassa de 60 minutos para pega inicial e 90 minutos para pega final. Todas as águas amostradas utilizadas na argamassa deram valores inferiores aos citados na norma. O tempo de pega da argamassa diminui com o uso da água reciclada, isso se dá a presença de alcalinos CaOH_2 – hidróxido de cálcio e NaOH – hidróxido de sódio na água. (SU; MIAO; LIU, 2002).

Su, Miao e Liu (2002) cita que a ASTM C94 (*American...*,1992) define o limite mínimo de 90% referente a água de amassamento usada em concreto.

Su, Miao e Liu (2002) a resistência à compressão com o uso da água reciclada aos 7 dias variou de 90 a 103% da amostra de controle e aos 28 dias variou de 92 a 93%.

O ar incorporado não se mostrou afetado pela qualidade do uso da água reciclada, os valores testados foram de 1,60 a 1,65%. (SU; MIAO; LIU, 2002).

Segundo Su, Miao e Liu (2002) a trabalhabilidade não foi alterada, todos os valores obtidos foram próximos do valor da amostra de controle. A trabalhabilidade pode diminuir com a água reciclada do fundo do tanque de lavagem, em proporção muito pequena, isso se dá ao fato das partículas de cimentos estarem presentes.

Para Su, Miao e Liu (2002) a resistência à compressão do concreto nas primeiras idades de cura aumentou com uso da água e o resíduo utilizado do fundo do tanque de lavagem, isso pode ser explicado devido a presença do CaOH_2 – hidróxido de cálcio e NaOH – hidróxido de

sódio presentes na água, os quais aumentam a alcalinidade. O aumento da alcalinidade acelera a hidratação do cimento e ativa a reação pozolânica de minerais aditivos (FA – cinza volante e GGBS – escória de alto forno).

Ucker, Barroso e Lopes (2013) definem que na indústria de concreto usinado a lavagem de caminhões betoneiras é a principal causadora de resíduos sólidos e líquidos.

Segundo Ucker, Barroso e Lopes (2013), para minimizar a geração de resíduos sólidos e líquidos gerados a partir da lavagem de caminhões betoneiras em centrais de concreto na região de Santa Maria – RS foi analisado a estrutura do sistema de lavagem dos caminhões betoneiras, o qual era composto por cinco etapas: tanque de lavagem, tanque decantador 1, tanque decantador 2, tanque decantador 3 e tanque de descarte do efluente. As amostras de resíduos líquidos e sólidos foram coletadas nos tanques de decantação. A amostra testemunha é composta por água de poço artesiano (UCKER; BARROSO; LOPES, 2013).

As amostras foram submetidas à análise dos principais atributos como *pH*, cor aparente, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos totais e coliformes termotolerantes e totais, conforme a metodologia descrita pelo *Standart methods for the examination of water and wastewater*. O objetivo é comparar os resultados obtidos nas amostras de águas residuais com a amostra testemunho. Não houve comparação com os requisitos de outra norma internacional (UCKER; BARROSO; LOPES, 2013).

A (Tabela 7), segundo Ucker, Barroso e Lopes (2013), apresenta os valores conforme os parâmetros apresentados para cada local de coleta. P.1: ponto de lavagem dos caminhões abastecida pela água de poço artesiano (amostra testemunha); P.2: primeiro decantador; P.3: segundo decantador; P.4: terceiro decantador; P.5: local de descarte do efluente após passagem pelos três decantadores.

Tabela 7 - Média dos valores obtidos da análise de água nos decantadores entre junho e outubro de 2009.

Parâmetro	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5
<i>pH</i>	7,18	12,00	11,99	11,99	11,72
Cor aparente (Pt-Cb)	1,34	37,38	23,78	19,90	18,72
Turbidez (NTU)	1,32	67,16	63,46	61,28	58,14
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	89,00	2188,20	1558,40	2546,20	2350,70
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	10,34	8,50	7,89	6,92	9,42
Coliformes totais/fecais (NMP/100ml)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cloro Residual (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Adaptado por Ucker, Barroso e Lopes (2013).

Em concordância com Ucker, Barroso e Lopes (2013), para os resultados de *pH*, cor aparente, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos totais e coliformes entre água reciclada e água de poço artesiano foi utilizado a metodologia das normas APHA; AWWA; WPCF: *Standard methods for examination of water and wastewater*.

Para Ucker, Barroso e Lopes (2013), o efluente (água reciclada) apresentou grande disparidade em relação à amostra de controle (água de poço artesiano), no entanto o resultado para resistência à compressão com uso de água reciclada apresentou valores positivos.

As normas APHA; AWWA; WPCF apresentam metodologia para parâmetros da água, no entanto não abordam fatores para a qualidade do concreto, conforme parâmetros determinados nas normas ASTM e outras internacionais.

De acordo com Chatveera, Lertwattanakul e Makul (2006), sugere-se que haja análise das propriedades físicas e químicas da água reciclada, as quais apresentam variações das propriedades básicas como teor de sólidos totais, cloreto, sulfato e etc. O objetivo é ajustar a quantidade de água reciclada na mistura de concreto. A água reciclada não oferece nenhum efeito na variação da temperatura quando o concreto está em cura.

2.11 EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS

Conforme Larrard (1999), a densidade de empacotamento como uma mistura granular definida como o volume de sólidos em um volume unitário total, a qual depende de três parâmetros principais: 1) tamanho dos grãos, 2) distribuição granulométrica do conjunto e forma das partículas que compõem o conjunto, 3) método utilizado no processamento do empacotamento ou compactação.

Para Castro e Pandolfelli (2009), empacotamento de partículas é quando os vazios maiores entre partículas são preenchidos por partículas menores e esse vazios serão novamente preenchidos com partículas ainda menores e assim sucessivamente.

O excesso de água é a quantidade além da necessária para preencher os espaços vazios no sistema granular, a qual lubrifica as partículas. Portanto, um sistema de partículas com maior densidade de empacotamento terá, para a mesma quantidade de água, uma maior fluidez. A mesma fluidez pode ser obtida com uma menor relação água/cimento. Assim, a otimização da densidade de empacotamento leva à produção de argamassas e concretos com menores quantidades de pasta, para uma mesma trabalhabilidade, o que resulta em um menor consumo de cimento (LI; KWAN, 2014); (LARRARD, 1999); (FUNG; KWAN; WONG, 2009).

Misturas com alta densidade de empacotamento dos agregados demandam menor quantidade de pasta para preencher os vazios entre os agregados. Se o volume de pasta é fixo no concreto, o aumento na densidade de empacotamento dos agregados pode proporcionar maior trabalhabilidade à mistura, para a mesma relação água/cimento. Mantendo a mesma trabalhabilidade, é possível reduzir a relação água/cimento e aumentar a resistência do concreto. Dessa forma, a densidade de empacotamento tem um efeito direto em algumas características do concreto, como porosidade e permeabilidade, e um efeito indireto sobre outras propriedades como resistência à compressão e trabalhabilidade do concreto (MOSTOFINEJAD; REISI, 2012).

O método de processamento do empacotamento, ou método de compactação, na densidade de empacotamento de partículas em concretos e argamassas, os agregados se encontram na condição úmida. Desse modo, a presença de água é inevitável e o empacotamento de partículas ocorre sob condição de umidade. A água, por sua vez, influencia a densidade de empacotamento, pois altera a condição de compactação das partículas (LI; KWAN, 2014); KWAN; WONG, 2008).

Para as partículas finas presentes entre partículas, as forças de atração de *Van der Waals* causam aglomeração, aumentando o volume de vazios e conseqüente diminuindo a densidade de empacotamento (KWAN; WONG, 2008).

Conforme Kwan, NG e Huen (2014) e Gonçalves *et al.* (2007) partículas finas são aquelas menores que 75 μ m. Quanto mais finas forem as partículas, maiores serão as forças de atração e, naturalmente, maiores serão os aglomerados. Os agregados mais finos sofrem mais efeito com a presença de água. A determinação da densidade de empacotamento deve ser feita na presença de água, e não na condição seca como normalmente realizada em diversos países.

Para Fennis-Huijben (2011), quando os aditivos super plastificantes são utilizados na composição do concreto, desenvolvem uma função de reduzir a fricção inter partículas, lubrificando a superfície através de forças de repulsão de curto alcance, melhorando o fluxo de empacotamento. O nível de melhoramento vai depender do tamanho molecular do aditivo, das camadas de cobertura, do estado da superfície das partículas e do tamanho destas.

2.12 DRX – DIFRAÇÃO DE RAIOS X

Para Albers *et al.*, (2002) p.34,

“A técnica de difração de raios x é a mais indicada na determinação das fases cristalinas presentes em materiais cerâmicos. Isto é possível porque na maior parte dos sólidos (cristais), os átomos se ordenam em planos cristalinos separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda dos raios x. Ao incidir um feixe de raios x em um cristal, o mesmo interage com os átomos presentes, originando o fenômeno de difração. A difração de raios x ocorre segundo a *Lei de Bragg* (Equação A), a qual estabelece a relação entre o ângulo de difração e a distância entre os planos que a originaram (característicos para cada fase cristalina):”

Equação A:

$$n\lambda = 2d \sin \theta, \text{ onde:}$$

n: número inteiro; **λ**: comprimento de onda dos raios x incidentes; **d**: distância interplanar e **θ**: ângulo de difração.

O método de difração de raios x é simples, rápido e oferece confiança nos resultados por oferecer características para cada fase cristalina (ALBERS *et al.*, 2002).

Para Callister (2008) a difração de raios x é usada para determinar a estrutura cristalina e o espaçamento interplanar em um material cristalino.

2.13 MEV – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA COM EDS (K)

De acordo com Duarte *et al.*, (2003) a microscopia de varredura é utilizada em várias áreas e sua técnica vem se tornando essencial para análise dos detalhes de imagens em mineral, os quais podem aumentar até 300.000 vezes. A imagem é caracterizada pela incidência de feixes de elétrons no mineral sob condições de vácuo.

Para Duarte *et al.*, (2003) o mapeamento e a contagem de elétrons secundários (SE) e o retroespalhados (BSE) são representados pela imagem em tons de cinza. A resolução do BSE é menor que o SE. O MEV pode ser acoplado ao *Energy Dispersive System* (EDS) que auxilia na determinação da composição qualitativa e semi-qualitativa das amostras. O EDS possibilita a determinação dos mapas químicos, o qual quantifica a composição de uma área do mineral. O MEV/EDS com fins gemológicos apresenta rapidez na preparação de amostras, as quais podem ser brutas, polidas ou lapidadas. Os minerais que não apresentam condutividade devem ser metalizados com ouro ou carbono.

2.14 FRX – FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

Para Toledo (2003), a espectroscopia por fluorescência de raios x (FRX) é uma técnica de análise química, tendo como base a identificação dos raios x característicos, os quais são emitidos pelos elementos químicos de uma amostra, ou seja, a amostra é irradiada por uma fonte de raios x de alta energia que provoca a emissão de fótons característicos dos elementos presentes na mesma. Os espectros resultantes podem ser obtidos em função da dispersão de energia ou do comprimento de onda e suas intensidades medidas para a caracterização dos elementos de uma amostra. A fluorescência de raios x (FRX) é uma ferramenta aplicada ao controle de qualidade em vários campos de pesquisa. Sua principal vantagem é a rapidez e a análise é não destrutiva.

2.15 ATAQUE QUÍMICO NO CONCRETO POR SULFATOS

Para Mehta e Monteiro (2008), o concreto sofre ataques por sulfatos através de quartzo, etringita e gipsita. O ataque por sulfato se manifesta no concreto na forma de expansão e fissuração. A fissuração está atrelada a permeabilidade no concreto onde a água agressiva penetra e deteriora o interior. A expansão é causada pela etringita tardia, a qual provoca problemas graves nas estruturas como fissuras na pasta e na interface pasta-agregado. O quartzo está presente nos agregados e em excesso contamina a pasta de cimento. A gipsita, expressa como SO_4 entre 0,01 a 0,05% está presente na maioria dos solos na forma de $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. A melhor proteção contra ataques a sulfatos é melhorar a qualidade do concreto diminuindo a permeabilidade. Já é possível o uso de cimentos *Portland* resistentes a sulfatos, o que é possível mitigar alguns efeitos dos ataques como fissuração devida a retração de secagem, ações por congelamento, corrosão de armaduras e outros (METHTA; MONTEIRO, 2008).

Outro fator importante é a quantidade de óxido de sódio (Na_2O) presente no cimento, que se estiver a quantidade maior que 0,6% pode causar expansão concreto devido a reação álcali-agregado. O cimento com mais de 0,6% de óxido de sódio contém alta alcalinidade. A ASTM C 150 também define teor máximo de 6% de óxido de magnésio (MgO) no cimento, se for utilizado uma quantidade maior pode causar expansão e fissuração no concreto (METHTA; MONTEIRO, 2008).

2.16 ESTRUTURAS CRISTALINAS

O silicato tricálcico (C_3S) e o beta silicato (βC_2S) contêm pequenas quantidades de íons de magnésio, alumínio, ferro, potássio, sódio e enxofre. Os dois silicatos hidráulicos são encontrados no clínquer de cimento *Portland* industrial, segundo Mehta e Monteiro, (2008).

Vários aluminatos de cálcio hidráulico podem ocorrer no sistema $CaO-Al_2O_3$, no entanto, o aluminato tricálcico (C_3A) é o principal aluminato no clínquer de cimento *Portland*. As ferritas de cálcio (C_3F) não são encontradas no clínquer de cimento *Portland*. No entanto o ferroaluminato de cálcio C_4AF é o composto mais comum encontrado no clínquer. Tanto o C_3A como C_4AF apresentam quantidades significativas de magnésio, sódio, potássio e sílica em sua estrutura (METHTA; MONTEIRO, 2008).

Para Mehta e Monteiro (2008), a dolomita é a fonte de óxido de magnésio presente no cimento e é considerada como impureza no calcário.

Conforme Mehta e Monteiro (2008), os sulfatos, expresso como SO_3 aparecem no cimento *Portland* comum através do sulfato de cálcio, que é adicionado ao clínquer no ato da moagem. O objetivo dessa adição é retardar a tendência a pega rápida do clínquer *Portland* moído, devido à alta reatividade do C_3A .

Para Marques Filho, Freitas Jr. e Costa (2005) o cimento *Portland* é formado por partículas sólidas muito pequenas e composto principalmente por silicatos e aluminatos anidros (C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF), onde **C**= CaO (óxido de cálcio), **S**= SiO_2 (óxido de silício), **A**= Al_2O_3 (óxido de alumínio e **F**= Fe_2O_3 (óxido de ferro).

Ao ser adicionado água aos compostos anidros, eles formam diversos tipos de cristais em torno dos grãos de cimento, e ao passar do tempo vai aumentando em tamanho, aumentando a densidade da pasta e aumentando a resistência mecânica. Dessa forma, a estrutura da pasta é muito porosa, com vazios, que ao passar do tempo, aumento da hidratação, vai se tornando mais compacta. (MARQUES FILHO; FREITAS JR.; COSTA, 2005).

Principais estruturas da pasta matriz, segundo Marques Filho, Freitas Jr. e Costa (2005):

Fibrilares: Formados por cristais de silicato tricálcico C_3S e silicato dicálcico C_2S hidratados. Representam 50 % a 60% do volume total de sólidos da pasta de cimento e são os responsáveis pela resistência mecânica aos primeiros dias. São estruturas de silicato de cálcio hidratado C-S-H, ($H=H_2O$), unidas por ligações de Van Der Waals, formando pontes de hidrogênio.

Prismáticos: Formados por cristais de grande tamanho, composto por hidróxido de cálcio, $Ca(OH)_2$, os quais representam cerca de 20 a 25% do volume total de sólidos. São responsáveis pelo *pH* elevado da pasta ($pH \cong 13$). São solúveis em água e apresentam excelente resistência mecânica.

Etringita: Formados por cristais grandes e volumosos, compostos por (C_3A ou C_4AF + gesso) hidratados. São quimicamente instáveis, (com o tempo se decompõem, se transformando em C-S-H), são muito porosos, gerando estruturas com baixa resistência mecânica. São os primeiros cristais da pasta de cimento a se formar, primeira resistência mecânica de endurecimento, o que é pequena e desprezível após alguns dias.

Representam 15 a 20 % do volume total de sólidos.

Para Oliveira (2002), a análise química determina a composição do cimento *Portland*, podendo caracterizar como:

a) Principais óxidos: CaO, SiO_2 , Al_2O_3 , MgO, SO_3 ;

b) Óxidos secundários: MgO, TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O e Na_2O .

Os óxidos secundários aparecem em pequena quantidade, no entanto dois deles merecem uma atenção maior, o óxido de sódio e potássio, pois são conhecidos como álcalis.

“Os álcalis reagem com alguns minerais silicosos como opala, calcedônia, cristobalita, e tridimita; zeolita fenlandita; formas criptocristalinas de riolitos, dacitos, andesitos e seus tufos; e certos filitos. Estas reações causam deterioração no concreto como resultado da reação álcali-agregado” (OLIVEIRA, 2002, p. 23).

De acordo com Oliveira (2002), que ainda cita o teor em percentual (%) dos óxidos no cimento *Portland* comum: CaO com 63%; SiO_2 com 20%; Al_2O_3 com 6%; MgO com 1,5%; SO_3 com 2%; $K_2O + Na_2O$ com 1%; perda ao fogo com 1% e resíduo insolúvel com 1%. No Brasil o resíduo insolúvel é permitido a 1,0% ou 1,5% e 16% no máximo, conforme citado na NBR 5732 (Associação..., 1991), NBR 5733 (Associação..., 1991) e NBR 5737 (Associação..., 1992). A perda ao fogo no Brasil para os cimentos *Portland* é no máximo 4%, segundo a NBR 5732 (Associação..., 1991).

Segundo Oliveira (2002), o cimento apresenta uma evolução em sua resistência até 360 dias e as quatro fases dos compostos que constituem o cimento na forma pura contribuem na evolução da resistência. São elas:

Ordem crescente:

Fase 1: C_4AF (5 MPa), **fase 2:** C_3A (8 MPa), **fase 3:** C_2S (71 MPa) e **fase 4:** C_3S (72 MPa).

Fase 1: Ferro Aluminato Tetracálcico – composição entre 5 – 15% - fórmula $Ca_4Al_2Fe_2O_{10}$ – nomenclatura C_4AF – até 5 MPa;

Fase 2: Celita – composição entre 5 – 10% - fórmula $Ca_3Al_2O_6$ – nomenclatura C_3A – até 8 MPa;

Fase 3: Belita – composição entre 15 – 30% - fórmula Ca_2SiO_4 - nomenclatura C_2S – até 71 MPa;

Fase 4: Alita – composição entre 50 – 70% - fórmula Ca_3SiO_5 – nomenclatura C_3S – até 72 MPa.

Esses compostos produzem uma pasta pela mistura de água e cimento *Portland*, o qual se transformam em agente ligante devido a hidratação que ocorrem com as partículas de clínquer. O hidróxido de cálcio hidratado e os silicatos de cálcio hidratados são resultantes da hidratação que nascem da reação das partículas de clínquer. O cimento ao entrar em contato com a água, nasce uma série de cristais sub-microscópicos e inicia-se a formação de um gel. Conforme a hidratação avança, com o decorrer do tempo, formam-se novos cristais e mais gel (OLIVEIRA, 2002).

O silicato tricálcico (C_3S) na presença da água produz o silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e o hidróxido de cálcio, também conhecido como *portlandita* (HC), que é um gel pouco cristalino e de estequiometria variável. O (C-S-H) e o HC são os principais produtos de hidratação da pasta de cimento que, ao serem misturados com os agregados, formam o concreto (OLIVEIRA, 2002).

Os resíduos caracterizados pelo concreto lançados em locais a céu aberto estão mais sujeitos às ações de agentes agressivos devido ao processo mecânico que já passaram, além de ficarem sujeitos às intempéries. As substâncias percoladas dos resíduos de concreto são transportadas ao solo e aos cursos d'água. O óxido de cálcio livre do cimento e presente no concreto na forma de hidróxido de cálcio é o principal produto a ser percolado que, na presença de dióxido de carbono (CO_2) presente na atmosfera ou nas águas entram em contato novamente

com o concreto originando novos compostos, como o bicarbonato de cálcio e o carbonato de cálcio (OLIVEIRA, 2002).

2.17 FINURA DO CIMENTO

A finura do cimento está diretamente ligada a sua reatividade, ou seja, quanto mais fino for o cimento, mais rápida será sua reação. A finura é caracterizada como resíduo e é determinada através de peneiras padrão malha 200 ($75 \mu\text{m}$) e malha 325 ($45 \mu\text{m}$). Partículas de cimento maiores que $45 \mu\text{m}$ apresentam hidratação lenta e as maiores que $75 \mu\text{m}$ podem nunca hidratar (METHTA; MONTEIRO, 2008).

O tamanho das partículas de cimento *Portland* está atrelada a classe de resistência, quanto mais fino for a partícula, mais rápida será a reação. No entanto, a distribuição granulométrica das partículas de cimento *Portland* apresentam tamanho médio de $20 \mu\text{m}$ (DYER, 2015).

2.18 PROCESSO SOL-GEL

A lei de *Groth-Federov* explica que quando há vários elementos químicos na mesma solução, a chance de aparecer síntese forma cristalina é nulo, assim só o material amorfo vai crescer, segundo Mymrin *et al.*, (2015).

As estruturas de CSH - silicato de cálcio hidratado podem apresentar novas formações amorfas com composição química instável devido ao processo de sol-gel. A resistência mecânica cresce em função das substâncias cristalinas e amorfas dos carbonatos e através da formação CSH (MYMRIN *et al.*, 2015).

Segundo Mymrin *et al.*, (2015), as superfícies de partículas sólidas quando submetidas a ambientes úmidos e alcalinos, apresentam substâncias iniciais amorfas com síntese em novas formações de sol-gel de silicato de cálcio hidratado – CSH entre os poros de concreto. Os silicatos de cálcio hidratado podem gerar novos corpos amorfos e cristalinos como o quartzo, silicatos de cálcio e alguns carbonatos como *calcite* e *dolomite*. O processo sol-gel possui um papel fundamental de ligar as partículas sólidas diminuindo os poros e aumentando a resistência mecânica dos materiais.

2.19 CARACTERÍSTICAS DO CIMENTO CII F-32

- a) Massa específica média: 3,11 g/cm³, conforme determinado através da NBR NM 23 (Associação..., 2000).
- b) As normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas não estabelecem determinação da resistência à compressão para 1 dia;
- c) **ANEXO A:** Relatório de ensaio do cimento CII-F-32 de novembro de 2014, determinado pela Itambé (2014).
- d) **ANEXO B:** Resumo das especificações técnicas da ABNT para os cimentos, determinado pela Itambé (2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MAPA DA PESQUISA

A (Tabela 8) apresenta um roteiro das principais etapas da pesquisa.

Tabela 8 – Etapas da pesquisa

ETAPA 1
Determinar o traço padrão - como controle a ser usado na experiência;
Caracterizar os agregados que compõem o traço padrão;
Apresentar o custo de cada agregado do traço padrão;
Definir tabela de composição das amostras;
Trocar o teor de água potável pela água de lavagem e o cimento pelo resíduo de lavagem dos caminhões betoneiras;
Analisar as propriedades químicas da água e físicas dos resíduos proveniente da lavagem dos caminhões betoneiras;
Preparar os corpos de prova;
Analisar a resistência à compressão referente ao rompimento dos corpos de prova;
Refinar as amostras da etapa 1 e definir novas amostras para etapa 2;
ETAPA 2
Definir tabela de composição das amostras;
Preparar os corpos de prova;
Analisar o comportamento das amostras A2 e A6 da etapa 1 através de DRX, MEV com EDS e FRX;
Analisar a resistência à compressão referente ao rompimento dos corpos de prova;
Refinar as amostras da etapa 2 e definir amostras para etapa 3;
ETAPA 3
Definir tabela de composição das amostras;
Preparar os corpos de prova;
Analisar o comportamento da amostra A6 da etapa 2;
Analisar a resistência à compressão da amostra A6 referente ao rompimento dos corpos de prova;
ETAPA FINAL
Analisar a viabilidade econômica da substituição;
Concluir.

Fonte: O autor, 2014.

3.2 DEFINIÇÃO DO TRAÇO PADRÃO

Foi analisado durante o período de março/13 a março/14 o volume por *fck* produzido em 11 filiais de usina de concreto usinado na região Sul. A análise serviu de base para escolha do *fck* com maior volume de produção.

*Devido ao sigilo empresarial, a empresa onde foi realizada os ensaios será referida como X Concreto.

A (Tabela 9) evidencia o volume produzido durante um ano, por filial e separado por traço. Nota-se maior volume produzido do traço *fck* 30 no período de um ano.

Tabela 9 - Volume por *fck* produzido nas filiais da empresa X concreto.

Fck	PGR	ARA	BLU	CAM	CIC	COL	FLO	ITA	JOI	MGA	PGUA	Total/fck
fck 15,0 MPa	1613,5	2384,5	235	1491	1044	1632,5	880,5	525	705	370	749,5	11.631
fck 20,0 MPa	6513	12029,5	5686,5	24063	14476	11156,5	11778,5	27842,5	13108	12958	5210	144.822
fck 25,0 MPa	13139	16311	8552	15537	16932,5	22009	6368,5	16060,5	23368,5	11969	774,5	151.022
fck 30,0 MPa	8670	29551,5	19754	33093	31549,5	22936,5	33089,5	48368	41256,5	30098,5	2742	301.109
fck 35,0 MPa	10900,5	4379	3417	18237,5	7884,5	12557,5	16585,5	24169,5	5485,5	9986,5	120	113.723
fck 40,0 MPa	2448	1704,5	4216,5	1091	1230,5	5504	12236	35458	10940,5	10002	4093,5	88.925
fck 45,0 MPa	0	0	14,5	0	0	0	313,5	5194,5	391	307	3	6.224
Volume em m ³ por central												817.454

Fonte: X concreto, 2014.

Observa-se pela (Figura 2) que o maior volume de concreto, em doze meses, foi para o *fck* 30. Esse traço padrão será base referencial para o trabalho.

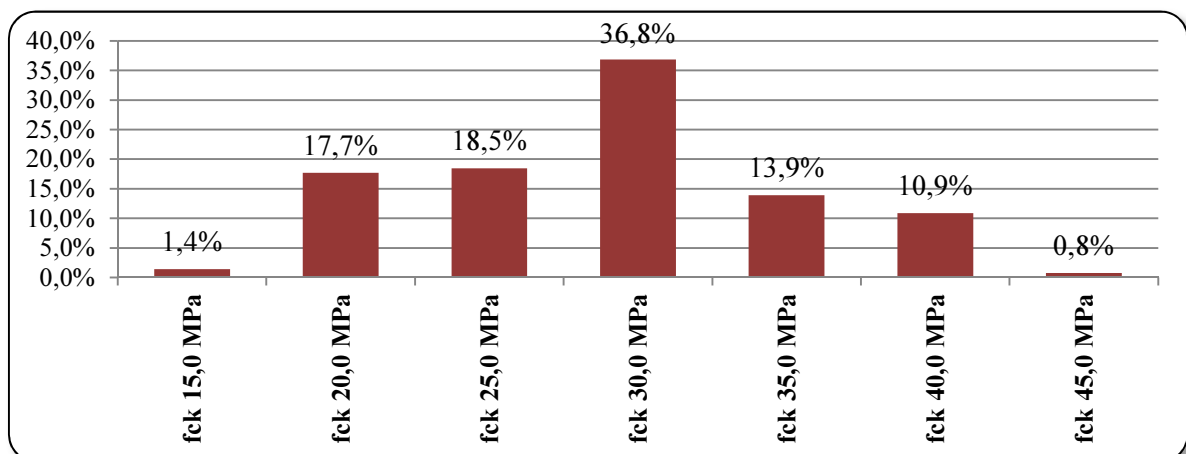


Figura 2 - Volume por *fck* em %

Fonte: X concreto, 2014.

3.2.1 Traço padrão determinado - controle

Traço padrão: fck 30,0 B1 ST 12;

- a) **Fck** : resistência característica do concreto à compressão;
- b) **B1**: Brita 1 (um);
- c) **ST**: *Slump test* 12 cm.

3.2.2 Composição do traço determinado

O método de dosagem da X Concreto é galgado em parâmetros já conhecidos no meio técnico. A partir do histórico de dosagens já realizadas, têm-se as curvas de dosagens pré-concebidas - (curvas de *ABRAMS*). Nestas curvas é possível fazer uma correlação da resistência com a relação água/cimento. As dosagens são elaboradas à partir das resistências (fck) necessária, ou seja, na curva de *ABRAMS* o parâmetro de entrada é o fck e a resultante é a relação a/c para atingir essa resistência. Tendo-se a relação a/c apropriada para os traços, necessita-se da quantidade de água para calcular o consumo de cimento. Com uma série de dosagens previamente realizadas na empresa, têm-se um banco de dados de quantidade de água versos abatimento necessário. Cada dosagem (tipo de cimento, tipo de brita, tipo de areia, tipo de aditivo), possui uma quantidade necessária de água para atingir o abatimento requerido.

As dosagens em questão utilizaram apenas um tipo de brita, sendo assim, para saber o peso da brita no traço, basta multiplica o volume pela massa específica do material. Foram utilizados dois tipos diferentes de areia (areia industrial e areia natural), os pesos referentes à esses materiais foram obtidos a partir da proporção estabelecida e também pela massa específica de cada material. A dosagem deste concreto contempla uma obtenção de abatimento 120 mm, a partir da utilização de aditivo *polifuncional base lignosulfonato*, dosado a 0,7% do peso de cimento. Por fim, têm-se todos os quantitativos de material num metro cúbico de concreto. Os ensaios foram realizados em betoneira de laboratório (aproximadamente 20 litros), os quantitativos foram proporcionados para o volume reduzido.

3.2.3 Dados do traço padrão

Considera-se traço padrão nesse trabalho o traço comercial da empresa X concreto.

Os dados da (Tabela 10) são padrão na X Concreto. Os valores são fixos para o traço a ser estudado.

Tabela 10 – Dados do traço padrão

Fator a/c	0,592
% de ar incorporado	1,5 do vol. total do traço
O traço contém 985 litros de concreto, já descontando o ar	
% de argamassa em vol.	52,4
% padrão da empresa X concreto.	

Fonte: X concreto, 2014.

O ar incorporado é padrão da mistura dos agregados e já conhecido em concretos convencionais e bombeáveis, o mesmo pode variar de 1,5 a 2%. A empresa X concreto adota 1,5%.

3.3 MATERIAIS UTILIZADOS NAS AMOSTRAS DE CONCRETO

3.3.1 Composição do traço padrão

A (Tabela 11) discrimina os materiais constituintes do traço padrão *fck* 30.

Tabela 11 - Materiais que compõem o traço padrão comercializado pela empresa X concreto.

MATERIAIS	ORIGEM	COMPOSIÇÃO (%)
Cimento CII F 32	Itambé	100,0%
Areia Industrial de calcário	Caltec	65,0%
Areia fina de arenito	Bassani	35,0%
Brita 1 basalto	Basalto	100,0%
Água potável	Sanepar	100,0%
Aditivo plastificante/polifuncional BF 32	Basf	0,70%

Fonte: X concreto, 2014.

O % de aditivo é referente ao peso de cimento.

3.3.2 Peso dos materiais por m³ - traço padrão

A (Tabela 12) apresenta o peso por materiais para 1 m³.

Tabela 12 - Peso dos materiais por m³

MATERIAIS	kg	%
Cimento CII F 32	291	12,0%
Areia Industrial	614	25,4%
Areia fina	307	12,7%
Brita 1	1033	42,7%
Água	172	7,1%
Aditivo	2,034	0,1%
TOTAL	2419	100%

Fonte: X concreto, 2014.

O peso dos materiais por m³ foram determinados no laboratório da X concreto.

A (Figura 3) mostra os resíduos de lavagem do caminhão betoneira.



Figura 3 - Resíduo de concreto
Fonte: O autor, 2015.

Os resíduos de lavagem ficam sedimentados no fundo do lastro de concreto, o mesmo é proveniente de partículas mais grossas.

A (Figura 4) mostra a água de lavagem dos caminhões de concreto



Figura 4 - Água de lavagem dos caminhões
Fonte: O autor, 2015.

A água é decantada por três tanques (lastro de concreto, decantador 1 e decantador 2) até chegar a cisterna, de onde será reaproveitada no processo produtivo.

3.4 METODOLOGIA

3.4.1 Método de composição das amostras

A (Tabela 13) mostra a quantidade de material do traço padrão, a qual será base de composição para a etapa 1, 2 e 3.

Tabela 13 – Quantidade de material do traço padrão

AMOSTRAS	CPII F 32 kg	Areia Industrial kg	Areia fina kg	Brita 1 kg	Aditivo g	Água potável kg	Água de lavagem kg	Resíduo de lavagem kg
TP	6,842	14,459	7,237	24,333	47,896	4,051	0,000	0,000

Fonte: O autor, 2014.

Os valores da (Tabela 13 – Quantidade de material do traço padrão) são referente a uma quantidade de doze (12) corpos de prova, sendo seis corpos de prova para 7 dias e seis para 28 dias. Essas quantidades são baseadas em um metro cúbico de concreto.

A (Tabela 14) mostra a composição em percentual (%) para cada amostra tendo como base o traço padrão apresentado na (Tabela 13).

Tabela 14 - % de material por amostra – etapa 1

AMOSTRAS	CPII %	Areia Industrial %	Areia fina %	Brita 1 %	Aditivo %	Água potável %	Água de lavagem %	Residuo de lavagem %
A1	100	100	100	100	100	50	50	0
A2	100	100	100	100	100	0	100	0
A3	100	100	100	100	100	50	25	25
A4	100	100	100	100	100	0	50	50
A5	90	100	100	100	100	100	0	10
A6	90	100	100	100	100	0	100	10
A7	90	100	100	100	100	75	25	10
A8	90	100	100	100	100	25	75	10

Fonte: O autor, 2014.

A primeira etapa foi composta por 8 amostras de concreto com variação das quantidades da água de lavagem, do cimento e do resíduo de lavagem. Combinações com diferentes frações

foram realizadas em cada amostra e todas em função da quantidade de materiais do traço padrão (Tabela 13 – Quantidade de material do traço padrão) - Quantidade de material do traço padrão. Nessa etapa ainda não foi considerada a densidade do resíduo de lavagem, ou seja, não foi descontado a água presente no resíduo de lavagem. Nas amostras A1, A2, A3 e A4 a água potável, água de lavagem e resíduos de lavagem somam 100% na composição, assim como os demais materiais. Nas amostras A5, A6, A7 e A8 houve redução de 10% de cimento, o que foi complementado pelo resíduo de lavagem. A substituição do resíduo de lavagem pelo cimento foi um (1) para um (1) em massa.

Conforme a (Tabela 15) as amostras A2 e A6 foram escolhidas por apresentarem em suas composições 100% de água de lavagem na etapa 1, sendo assim, as composições foram reformuladas a fim de melhorar a resistência à compressão e diminuir custos. O TP – traço padrão foi reproduzido a fim de conferir os valores citados. Nessa etapa o TP foi denominado como TP-R, o qual será a amostra de controle reproduzido.

Tabela 15 - % de material por amostra – etapa 2

AMOSTRAS	CPII F	Areia Industrial	Areia fina	Brita 1	Aditivo	Água potável	Água de lavagem	Resíduo de lavagem
	32							
	kg	kg	kg	kg	g	kg	kg	kg
TP	6,842	14,459	7,237	24,333	47,896	4,051	0,000	0,000
% das amostras A2 e A6 referente as quantidades de TP								
A2	92%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	0%
A6	92%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	8%

Fonte: O autor, 2014.

Conforme (Tabela 15 - % de material por amostra – etapa 2), a amostra A2 houve redução de 8% de cimento referente à etapa 1 (Tabela 14). Não houve adição de resíduo de lavagem na amostra A2, o objetivo é analisar o desempenho com a amostra A6, a qual contém resíduo de lavagem. Na amostra A6 houve adição de 2% de cimento e redução de 2% de resíduo de lavagem referente à etapa 1 (Tabela 14).

Nessa etapa também não foi considerado a densidade do resíduo de lavagem. A substituição do resíduo de lavagem pelo cimento foi um (1) para um (1) em massa. Nessa etapa as amostras foram analisadas quanto a composição química e física através de métodos de DRX, MEV/EDS e FRX.

A etapa 3 apresenta a amostra A6 da etapa 2, a qual é a única a apresentar 8% de resíduo de lavagem em sua composição, 100% de água de lavagem e 92% de cimento conforme apresentado na (Tabela 15).

Tabela 16 - Composição da amostra A6 – sem redução de cimento – 3º etapa

AMOSTRAS	CPII F 32	Areia Industrial	Areia fina	Brita 1	Aditivo	Água potável	Água de lavagem	Resíduo de lavagem
	kg	kg	kg	kg	g	kg	kg	kg
TP-R	6,842	14,459	7,237	24,333	47,896	4,051	0,000	0,000
A6 ₁	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	8%
A6 ₂	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	16%
A6 ₃	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	32%
A6 ₄	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	48%

Fonte: O autor, 2015.

A amostra A6 foi reproduzida com 100% de cimento e 100% de água de lavagem, o que vai variar é somente o resíduo de lavagem, conforme (Tabela 16).

O resíduo de lavagem composto da amostra A6 tem um papel de aglomerante nas amostras. O resultado referente a resistência à compressão das amostras foram comparados com a amostra controle, o TP-R.

Em todas as etapas as amostras foram analisadas quanto a trabalhabilidade e resistência a compressão uniaxial.

3.4.2 Dados complementares do TP – traço padrão

- a) Resistência à compressão aos 7 dias:
 - a. Laboratório: 29,3 MPa;
 - b. Linha industrial: 26,6 MPa;
- b) Resistência à compressão aos 28 dias:
 - a. Laboratório: 35,7 MPa;
 - b. Linha industrial: 32,4 MPa;
- c) Abatimento: 120 mm.
- d) A diferença de resultado em MPa no laboratório e na linha industrial se dá na ordem de 9,2%, segundo a X concreto.
- e) A evolução da resistência à compressão de 7 para 28 dias foi na ordem de 21,8%, tanto no laboratório como na linha industrial, segundo a X concreto.

O TP-R é um traço reproduzido através do TP, a fim de conferir os resultados do traço padrão. Algumas composições tem como base o TP e outras tem como base o TP-R.

Os ensaios foram realizados no laboratório em uma das centrais da X concreto situado na região de Colombo – Pr.

3.4.3 Método da coleta da água e do resíduo de lavagem

A (Figura 5) mostra um modelo do processo de decantação da água de lavagem na empresa X concreto. O caminhão betoneira despeja a água e os resíduos no lastro de concreto, os resíduos sedimentam e a água decanta para a caixa de decantação1, caixa de decantação2, caixa separadora de óleo e cisterna de água reciclada. Caso haja algum tipo de lubrificante misturado na água, o mesmo fica retido na caixa separadora de óleo.

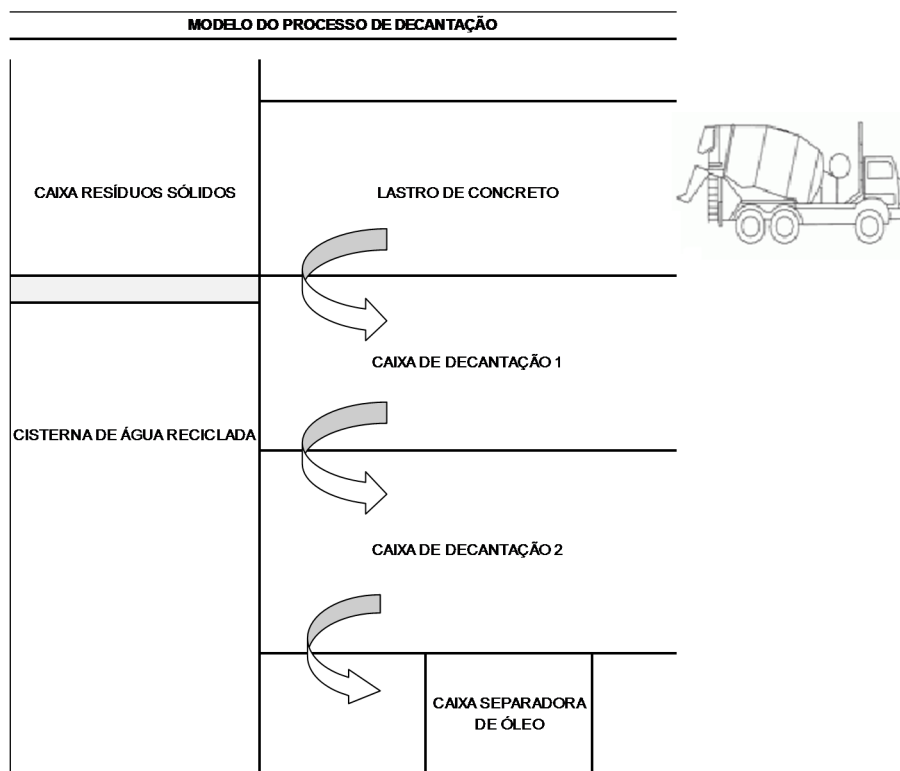


Figura 5 - Modelo do processo de decantação da água reciclada
 Fonte: O autor, 2015.

A água de lavagem e o resíduo de lavagem foram coletados no lastro de concreto no dia do ensaio. O lastro de concreto é considerado como o local mais agressivo, pois a água pode estar misturada com possíveis lubrificantes e os resíduos apresentam diferentes formas e

tamanhos. A água do lastro de concreto foi agitada através de uma concha de uma pá carregadeira e a amostra foi retirada em três pontos diferentes.

A (Figura 6) apresenta os pontos de coleta da água para ensaio.



Figura 6 - Pontos de coleta - lastro de concreto
Fonte: O autor, 2015.

A água foi coletada no lastro de concreto a uma altura de aproximadamente 30 cm, considerando que essa foi a altura máxima do líquido no dia da coleta.

3.4.4 Método de ensaio, moldagem e rompimento dos corpos de prova

Conforme percentual (%) referente a (Tabela 14) cada material teve sua quantidade pesada em função da (Tabela 13). Na sequência, colocados em uma betoneira com capacidade para 20 litros, na seguinte ordem: brita, cimento, areia, água/resíduo de lavagem e aditivo. A brita é colocada em primeiro lugar por ser um material graúdo, na sequência é colocado o cimento e depois a areia. Os materiais foram misturados e na sequência a água foi adicionada. Essa ordem se dá para haver melhor homogeneização entre os materiais. Os materiais foram misturados na betoneira por aproximadamente três minutos. Após a homogeneização, o concreto ficou em descanso por cinco minutos, aproximadamente. Na sequência foram realizados ensaios de abatimento, para cada amostra de concreto. Conforme determina a NBR NM 67 (Associação..., 1998), foi utilizado chapa metálica, cone, haste e um dispositivo de medição para medir o abatimento. O cone foi dividido em três camadas iguais e cada uma delas recebeu 25 golpes com a haste.

A quantidade de corpos de prova para cada amostra foi baseado na NBR 12655 (Associação..., 2006) - controle estatístico do concreto por amostragem parcial, aplicado a concretos do grupo I (classes até C50). Após ensaio de abatimento, foi realizada moldagem

para os seis corpos de prova. Os moldes utilizados para moldar os corpos de prova são de 100x200 mm. A NBR 5738 (Associação..., 2003) determina que o molde cilíndrico deva ter altura igual ao dobro do diâmetro. Cada corpo de prova é identificado e recebe duas camadas iguais com 12 golpes manuais para cada camada. Os corpos de provas ficaram em local com temperatura ambiente por 24 horas e na sequência foram desmoldados e postos em cura. A cura consiste em imersão em solução saturada de hidróxido de cálcio a temperatura controlada de (23 ± 2) °C.

Os corpos de prova que compõem as amostras foram retirados do tanque de cura um turno (24 horas) antes de serem rompidos, conforme NBR 5738 (Associação..., 2003), não ultrapassando 6 horas, conforme determina a NBR 5739 (Associação..., 2007).

O rompimento dos corpos de provas atende aos requisitos da NBR 5739 (Associação..., 2007). Os corpos de prova devem ser capeados utilizando pratos metálicos com discos de borracha em seu interior, conforme NBR 5738 (Associação..., 2003). Os corpos de prova 100x200 mm devem ser rompidos com o auxílio de borracha na parte inferior do prato metálico, obedecendo ao seguinte critério: corpos de prova para idade de 7 dias – uso de borracha de 65 *shore* (dureza); corpos de prova para idade de 28 dias uso de borracha de 75 *shore* (dureza).

Foram utilizados os seguintes equipamentos para realização dos ensaios: balança Marte digital de 10 kg com intervalo de 5 gramas, balança Marte digital de 50 kg com intervalo de 1 grama, equipamentos para determinar a consistência do abatimento do tronco cone conforme a NBR NM 67 (Associação..., 1998), fôrmas para corpos de prova conforme determina a NBR 5738 (Associação..., 2003), tanque de cura para corpos de prova, pratos metálicos com borracha *shore*, prensa hidráulica Solotest digital, betoneira com capacidade de 20 litros, termômetro digital e termostatos.

A cura dos corpos de prova é determinada pela NBR 9479 (Associação..., 2006) e a temperatura da água do tanque, com 23 ± 2 °C conforme a NBR 5738 (Associação..., 2003). A temperatura é controlada por termômetro digital e termostatos.

A norma ASTM C94 (American..., 2004) define que quando utilizado água reciclada em concretos, a resistência média à compressão aos 7 dias deve ser superior a noventa por cento (90%) da amostra de controle e a norma EN 1008 (European..., 2002) e a NBR 15900-1 (Associação..., 2009) definem que quando utilizado água reciclada, a resistência média à compressão aos 7 e 28 dias devem ser superiores a noventa por cento (90%) da amostra de controle.

3.4.5 Método para análise da água de lavagem

A coleta da água de lavagem foi na quantidade de 1 litro, conforme (Figura 6), a mesma foi envasada em recipiente fornecido por um laboratório externo. Após o envase, a amostra da água foi colocada em uma caixa de isopor com gelo, o qual protegeu e conservou a amostra até ser levada ao laboratório externo. Após a coleta, a amostra foi levada a um laboratório externo no período máximo de 1 hora e meia. Todo o procedimento de coleta e transporte foi determinado pelo laboratório externo, o qual foi analisado obedecendo as normas APHA; AWWA; WEF (*Standart methods for examination of water and wastewater*, 2012).

3.4.6 Método para análise do resíduo de lavagem

Uma amostra de aproximadamente 10 kg de resíduo de lavagem foi coletada em três pontos diferentes na parte inferior do lastro de concreto num período de alta produção. Foi utilizado balde novo de 5 litros para a coleta. A amostra foi colocada em bandejas metálicas medindo 30 cm x 20 cm x 10 cm de altura, depois a amostra foi seca em estufa por 48 horas, sábado e domingo, a uma temperatura de 105 ± 5 °C, conforme NBR NM 52 (Associação..., 2009). Após a secagem, a amostra foi colocada em sacos plásticos e encaminhadas ao laboratório da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná para secagem a vácuo. Após secagem a vácuo, a amostra foi submetida para análises pelo método de FRX e DRX, na UFPR - Universidade Federal do Paraná. A amostra também foi submetida para análise da distribuição granulométrica a laser, conforme método da NBR NM 248 (Associação..., 2003) e massa unitária no estado seco e úmido conforme método da NBR 45 (Associação..., 2006), na empresa X concreto.

3.4.7 Método para análise das amostras de concreto

As amostras de concreto analisadas foram somente da composição da etapa 2. A escolha foi devido a composição das amostras A2 e A6. Para cada corpo de prova rompido aos 7 e 28 dias, uma amostra do corpo de prova da segunda etapa foi coletada. As amostras foram colocadas em saco plástico, identificadas e levadas ao laboratório da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná para serem secas a vácuo. Após a secagem foram submetidas a análises através dos métodos de DRX e MEV/EDS na UFPR - Universidade Federal do Paraná.

Também foi medido no laboratório da empresa X concreto, a densidade dos corpos de provas da etapa 1 e 2 para idade de 28 dias de idade, conforme NBR 9778 (Associação..., 2009). Os corpos de provas ao serem retirados do tanque de cura, ainda no estado úmido, foram pesados em balança calibrada.

3.4.8 Medidas por análise da água potável

Segundo a (Tabela 17), as medidas por análise da água potável estão dentro dos limites estabelecidos no relatório realizado em 27/12/14 pela Companhia de Saneamento do Paraná - Sanepar, o qual está disponível no site.

Tabela 17 – Medidas por análise que determinam a qualidade da água potável

Análise	Média dos últimos 30 dias	Mínimo / máximo permitido	Portaria 2814-MS
Cor	2,53	15	uH-Un.Cor
Fluoretos	0,7	06 a 1,1	Mg/L F
Turbidez	0,45	5	NTU
<i>pH</i>	6,4	6,0 a 9,5	Un.pH
Cloro reciclada	1,2	0,2 a 5,0	Mg/L Cl

Fonte: O autor, 2014.

Observa-se que água de abastecimento público atende as normas e é considerada adequada para uso em concreto e não precisa ser ensaiada, conforme NBR 15900-1 (Associação..., 2009).

3.4.9 Método para análise quantitativa e econômica

O método consiste em analisar na linha industrial da empresa X concreto a quantidade de água e resíduos gerados pela lavagem dos caminhões betoneiras. O período de coleta de dados foi de um (1) dia, sendo amostrado em média 15 veículos betoneiras em regiões diferentes. As betoneiras amostradas estão distribuídas em 6 das 11 filiais. A coleta foi realizada entre viagens de um caminhão e outro e ao final do expediente. Um tambor de 200 litros calibrado foi usado para medir a quantidade de água e uma balança para medir os resíduos de lavagem. O caminhão betoneira ao chegar na central despejava todo conteúdo do balão betoneira no tambor, onde o líquido era medido através da escala métrica do tambor, após a medição, a água era retirada e o resíduo de lavagem era pesado descontando a tara do tambor. A

quantidade levantada através das amostras foi projetada aos demais equipamentos da empresa, a fim de se obter um quantitativo antes da aplicação do projeto em estudo. Essa quantidade foi multiplicada pelo custo de cada material, pelo custo de transporte e destinação final de resíduos. Os valores encontrados foram base para analisar a economia com o uso da água reciclada e os resíduos de lavagem.

3.4.10 Coeficiente de variação nas amostras - etapa 1

O CV - coeficiente de variação é geralmente expresso em percentagem. O CV é independente das unidades adotadas. Por essa razão, é vantajoso para a comparação de distribuições cujas unidades podem ser diferentes. Uma desvantagem do CV é que ele deixa de ser útil quando a média está próximo de zero.

3.4.11 Anova e comparações pareadas de *Tukey*

Se a diferença de médias entre as amostras comparadas forem maiores ou igual a diferença mínima significativa (DMS) haverá diferença entre as amostras e se a diferença de médias entre as amostras comparadas forem menores que a diferença mínima significativa, não haverá diferença entre as amostras.

3.4.12 Formação das estruturas dos concretos desenvolvidos

Para esclarecer as razões das mudanças acima apresentadas das propriedades mecânicas do concreto, foram realizadas as pesquisas dos processos físico-químicos de formação das estruturas de concretos com adição de resíduos de produção de concreto (água de lavagem hidratada e de resíduo de lavagem). Particularmente, foram estudadas as características responsáveis por mudanças de propriedades dos concretos durante de 7 e 28 dias de cura nas amostras TP-R, A2 e A6: composição mineralógica pesquisada através de método de DRX, as estruturas morfológicas - através de MEV e composição microquímica das novas formações - através de EDS.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

4.1 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA AREIA E BRITA

A (Tabela 18) mostra os resultados da análise física dos agregados realizada no laboratório da empresa X concreto.

Tabela 18 - Análise física dos agregados

AGREGADOS	ME - seco	ME - SSS	Absorção de água	M U	Mat. Pulverulento	Torrões de argila
	kg/m ³	kg/m ³	%	kg/m ³	%	%
	NBR NM 52:2009 / 53:2009	NBR NM 53:2009	NBR NM 53:2009	NBR NM 45:2006	NBR NM 46:2003	NBR 7218:2010
Areia Industrial	2.840	-	-	1.430	8,5	0
Areia fina	2.650	-	-	1.420	12	2
Brita 1	2.660	2.660	0,50	1.450	0,7	-

Legenda:

ME - seca: massa específica seca em estufa – massa sobre volume. Determinado pela NBR NM 52 (Associação..., 2009) e NBR NM 53 (Associação..., 2009).

ME – SSS: massa específica saturada superfície seca – massa sobre volume. Determinado pela NBR NM 53 (Associação..., 2009).

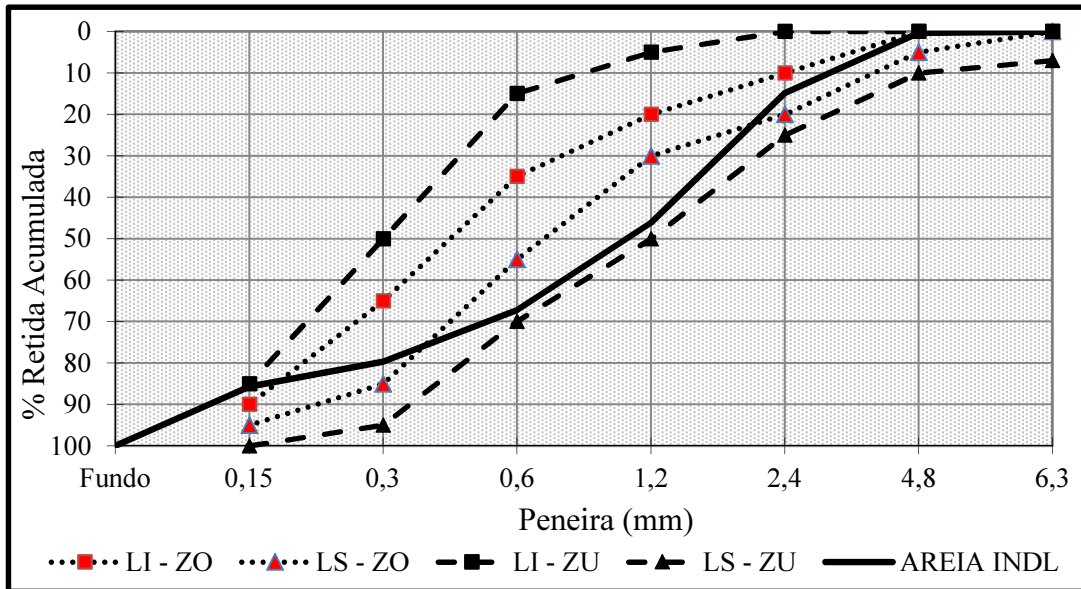
MU: Massa unitária – massa sobre volume. Determinado pela NBR NM 45 (Associação..., 2006).

Fonte: O autor, 2014.

Os resultados da (Tabela 18) para areia industrial, areia fina e brita 1 atendem o que determina as normas para confecção de concreto.

4.2 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA E BRITA

As (Figura 7), (Figura 8) e (Figura 9) mostram o ensaio da distribuição granulométrica, a qual foi realizada no laboratório da empresa X concreto em outubro de 2014, conforme NBR NM 248 (associação..., 2003).



Legenda:

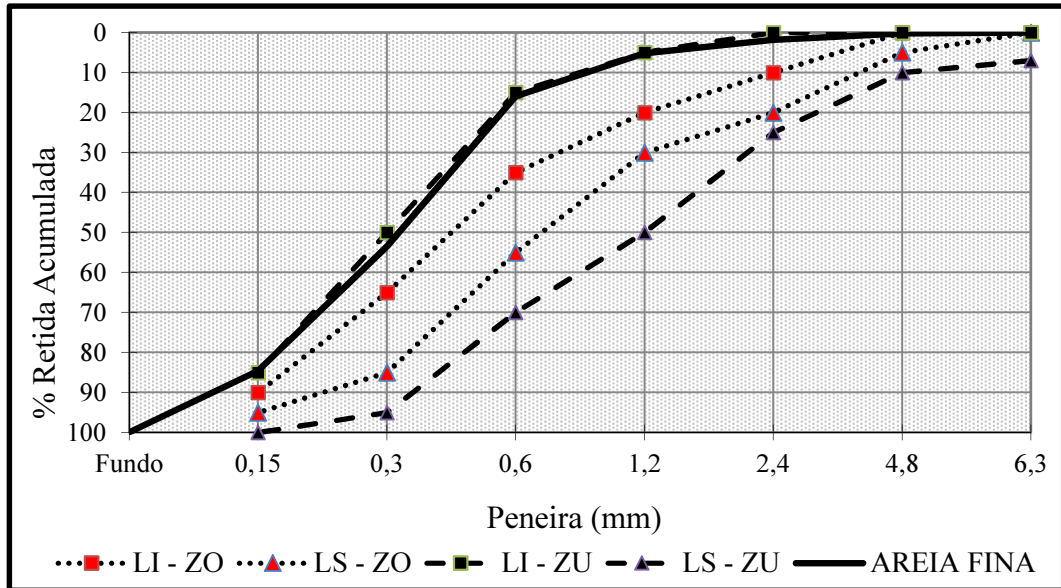
LI - ZO: Limite inferior zona ótima; LS - ZO: limite superior zona ótima; LI - ZU: limite inferior zona utilizável; LS - ZU: limite superior zona utilizável.

Figura 7 - Curva de granulometria - areia industrial Caltec
Fonte: O autor, 2014.

✚ Módulo de finura: 2,92 – está entre o módulo de finura da zona utilizável - 2,90 a 3,50.

Observa-se que a linha da areia industrial Caltec® se encontra na zona utilizável superior, conforme demonstra o módulo de finura. A dimensão máxima na peneira foi de 4,8 mm.

Os resultados atendem as normas para confecção de concreto usinado.



Legenda:

LI - ZO: Limite inferior zona ótima; LS - ZO: limite superior zona ótima; LI - ZU: limite inferior zona utilizável; LS - ZU: limite superior zona utilizável.

Figura 8 - Curva de granulometria - areia fina Bassani
Fonte: O autor, 2014.

✚ Módulo de finura: 1,62 – está entre o módulo de finura da zona utilizável - 1,55 a 2,20.

Observa-se que a linha da areia fina Bassani se encontra mais próxima da zona utilizável inferior, conforme demonstra o módulo de finura. A areia está no limite de sua utilização. A dimensão máxima na peneira foi de 1,2 mm.

Os resultados atendem as normas para confecção de concreto usinado.

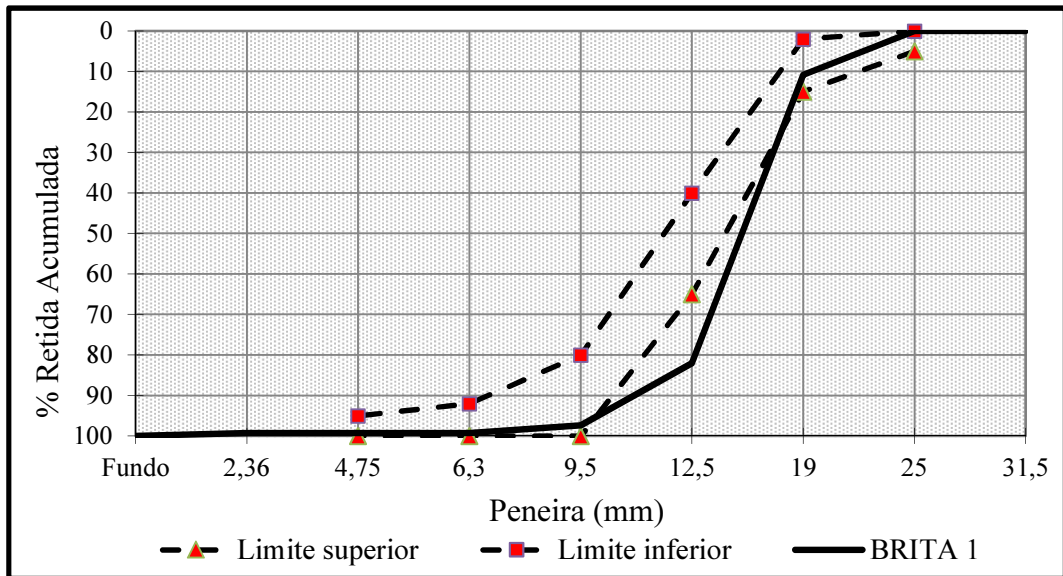


Figura 9 - Curva de granulometria - brita 1 Basalto
Fonte: O autor, 2014.

- ✚ Módulo de finura: 7,02 – está entre o módulo de finura dos limites superior e inferior - 6,67 a 7,07.

Observa-se que a linha da brita 1 Basalto se encontra fora da linha do limite superior na peneira de 12,5 mm, esse resultado não compromete o uso do agregado, pois o módulo de finura está em 7,02, dentro da faixa determinada para uso. A dimensão máxima na peneira foi de 25 mm.

Os resultados atendem as normas para confecção de concreto usinado.

4.3 CARACTERÍSTICAS DO ADITIVO PLASTIFICANTE POLIFUNCIONAL - BF 32

Para o aditivo BF 32 manteve-se as características do fabricante, conforme ANEXO C.

4.4 CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS E ECONOMICAS

Os resultados obtidos através de pesquisa nas filiais da empresa X concreto estão citados na (Tabela 19).

Tabela 19 – Dados quantitativos da água e resíduos de lavagem

Água de lavagem - média gerada por betoneira ao dia (l)	320
Resíduos de lavagem - média gerada por betoneira ao dia (kg)	55
Qtde betoneira na empresa	190
Dias trabalhado do mês	22

Fonte: O autor, 2016.

Os resultados da (Tabela 19) expressam quantidades médias levantadas na produção, ou seja, cada caminhão betoneira apresentou quantidades diferentes de resíduos e água de lavagem no interior da betoneira. O resíduo proveniente da lavagem é composto basicamente por água, areia e componentes do cimento. A proporção de material graúdo medido na análise do resíduo de lavagem foi em média quarenta por cento (40%), esse valor já foi descontado na conforme demonstrado na (Tabela 19).

Os dados da (Tabela 20) mostram o percentual de contribuição da água e o resíduo de lavagem em função do volume de produção.

Tabela 20 – Dados gerados a partir da Tabela 19

Dados gerados		Volume médio da empresa (m ³)	Volume médio por filial (m ³)	Vol produção por filial por mês (m ³)	Vol de de água e resíduo de lavagem pelo vol de produção ao mês por filial (%)
Água de lavagem - Qtde média gerada na empresa pelas 190 betoneiras ao mês (l)	1.338.311	1338	122	6193	2,0%
Resíduos de lavagem - Qtde média gerada na empresa pelas 190 betoneira ao mês (kg)	231.697	171	16		0,3%

Fonte: O autor, 2016.

Nota-se que o volume médio por filial é expressivo e que pode ser reduzido, se reutilizado adequadamente. A massa unitária utilizada para o resíduo de lavagem foi de 1354 kg/m³.

A (Tabela 21) evidencia o custo com o resíduo de lavagem gerado nas centrais de concreto.

Tabela 21 – Gastos para tratar o resíduo de lavagem

Geração		Coleta/transporte	Destinação final	Custo total
Resíduo de lavagem	m ³	R\$/m ³	R\$/m ³	R\$/mês
	171	15,00	15,00	5.133,62

Fonte: O autor, 2015.

Observa-se através da (Tabela 21) que os resíduos gerados por 190 caminhões betoneiras em 11 unidades somam um valor mensal de R\$ 5.133,62. Com o reuso do resíduo de lavagem, a empresa deixaria de pagar pelo transporte e pela destinação final do resíduo de lavagem, valor que pode ser economizado no processo, atendendo o aspecto legal da instituição, em 2002, do Ministério do Meio Ambiente (Resolução 307) através do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a qual determina que haja uma disposição adequada aos resíduos gerados em centrais de concreto.

A (Tabela 22) mostra a economia com o reuso da água de lavagem no concreto.

Tabela 22 – Economia em (R\$) com uso da água de lavagem

Geração		Litros	R\$/l	Economia total
Água de lavagem	m ³			
	1.338	1.338.311	0,06	80.298,64

Fonte: O autor, 2015.

Conforme pesquisa realizada em 6 filiais da empresa, o volume médio estimado na empresa é de 1.338 m³ de água de lavagem ao mês. A média está atrelada a quantidades diferentes de água de lavagem no interior das betoneiras. Pode-se verificar que com o reuso da água de lavagem em novos concretos, pode se economizar em média R\$ 80.298,64 ao mês, além de atender as normas do Ministério do Meio Ambiente (Resolução 307) através do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

A Tabela 23 mostra a cotação do dólar cotado no dia 21/12/2015 - Jornal Econômico.

Tabela 23 – cotação do dólar

Real (R\$)	4,02
Dólar (U\$)	1,00

Fonte: O autor, 2015.

Todos os valores em reais (R\$) citados no projeto podem ser convertidos em dólar (US\$) e atualizados conforme (Tabela 23).

4.4.1 Custo dos materiais constituintes do concreto por metro cúbico.

A (Tabela 24) apresenta os valores reais de um (1) m³ do traço padrão – TP *fck* 30.

Tabela 24 - Composição do traço em reais e dólar

Material para 1 m ³		*Custo do material		
Materiais	kg	R\$/kg	R\$ total	US\$ total
Cimento CII F	291	0,40	116,63	29,04
Areia Industrial	614	0,04	22,84	5,69
Areia fina	307	0,04	11,63	2,90
Brita 1	1033	0,04	37,50	9,34
**Água	172	0,06	10,38	2,58
Aditivo	2,034	2,68	5,45	1,36
TOTAL	2419		204,42	50,90

*O custo não contempla impostos. **O custo da água teve como base a tabela da Sanepar março/14 para categoria comercial/industrial.

Fonte: O autor, 2014.

O dólar (US\$) foi calculado conforme (Tabela 23).

Uma das metas a serem seguidas é reduzir o custo de um (1) m³ sem que haja perda de resistência mecânica. Os valores da (Tabela 24) serão bases comparativas com os resultados do trabalho.

4.5 MASSA UNITÁRIA DO RESÍDUO DE LAVAGEM

A massa unitária do resíduo de lavagem de concreto foi medido conforme metodologia da NBR 45 (Associação..., 2006). Os parâmetros medidos foram: a) Seco e úmido no estado solto; b) Seco e úmido no estado compactado. O objetivo é conhecer o volume de água presente no resíduo de lavagem:

Massa unitária - solto no estado seco: 761 kg/m³;

Massa unitária - compactado no estado seco: 910,7 kg/m³;

Massa unitária – solto no estado úmido: 1354,5 kg/m³;

Massa unitária – compactado no estado úmido: 1359,3 kg/m³.

Nota-se através dos resultados, que no estado solto, 56,2% da massa unitária do resíduo de lavagem é composto por água e no estado compactado, 67% da massa unitária do resíduo de lavagem é composto por água. Essa quantidade de água interfere diretamente na resistência do concreto e deve ser controlada para uso.

4.6 DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO RESÍDUO DE LAVAGEM

O tamanho e distribuição das partículas do resíduo lavagem foi submetido à análise de granulometria a laser de acordo com a NBR NM 248 (Associação..., 2003), conforme mostra a (Figura 10).

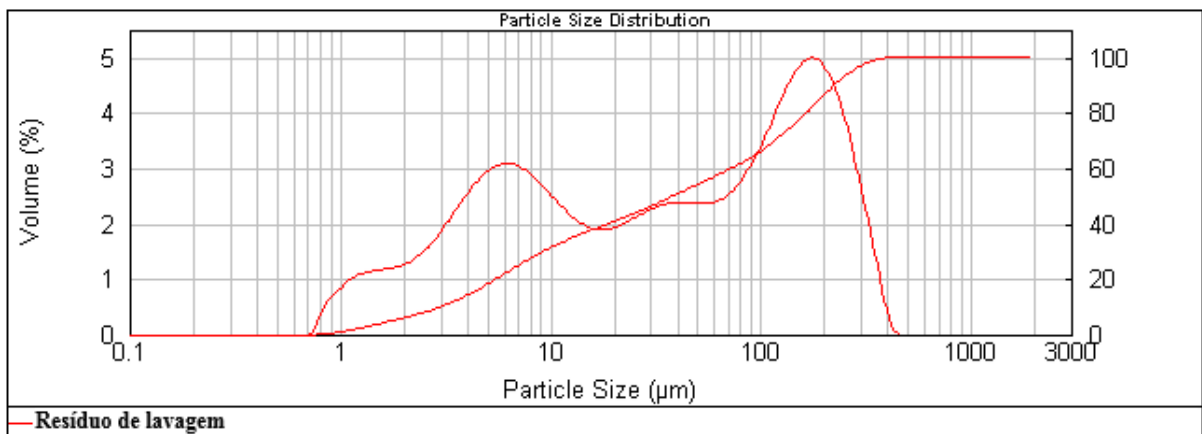


Figura 10 – Análise de granulometria a laser – resíduo de lavagem
Fonte: O autor, 2015.

Percebe-se que a maior proporção das partículas do resíduo de lavagem estão entre 1 e 10 μm , ou seja, as partículas são finas e semelhantes a do cimento. As partículas do resíduo de lavagem tem sua origem no cimento e são grãos já hidratados e podem atuar como partículas de enchimento em novos concretos. Por se tratar de grãos hidratados, ele não reage mais e pode atuar como elemento inerte.

4.7 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO RESÍDUO DE LAVAGEM POR FRX

A (Tabela 25) mostra a composição química obtida através da análise de FRX.

Tabela 25 – FRX – Análise de fluorescência por raio “x” no resíduo de lavagem.

Elementos	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	SO ₃	Na ₂ O	TiO ₂	SrO	P ₂ O ₅	MnO	ZrO ₂	NiO <	ZnO <	P.F.
% - resíduos de lavagem	38,3	33,7	7,8	3,6	2,8	1,5	1,4	0,6	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	9,3

Fonte: O autor, 2015.

A composição química e o percentual (%) da (Tabela 25) está de acordo conforme apresentado nos relatórios de ensaios de cimento da Itambé (2014) – ANEXO A. O relatório cita o teor em percentual (%) médio dos óxidos no cimento CPII F 32: CaO com 60,60%; SiO₂ com 18,10%; Al₂O₃ com 4,16%; MgO com 4,13%; SO₃ com 2,79%; Fe₂O₃ com 2,58%; perda ao fogo com 4,78% e resíduo insolúvel com 0,99%.

No Brasil o resíduo insolúvel é permitido 1,0% ou 1,5% e 16% no máximo, segundo NBR 5732 (Associação..., 1991), NBR 5733 (Associação..., 1991) e NBR 5737 (Associação..., 1992). A perda ao fogo para os cimentos *Portland* deve ser no máximo 4%, segundo a NBR 5732 (Associação..., 1991). A perda ao fogo ficou acima dos 4% devido a características dos materiais, isso se deve a queima da dolomite CaMg(CO₃)₂, onde há emissão de gases pelo dióxido de carbono (CO₂), materiais amorfos, orgânicos e a água ligada quimicamente que aumentam a perda ao fogo.

Os óxidos citados na (Tabela 25) apresentam similaridades com os ensaiados pela Itambé (2014) – ANEXO A. Os minerais encontrados no resíduo de lavagem são iguais aos encontrados no cimento, porém estão hidratados.

A (Tabela 26) mostra a legenda dos elementos químicos presentes no resíduo de lavagem.

Tabela 26 – Legenda dos elementos químicos compostos nos resíduos de lavagem

CaO	Óxido de cálcio;	TiO ₂	Dióxido de titânio
SiO ₂	Óxido de silício;	SrO	Óxido de estrôncio
Al ₂ O ₃	Óxido de alumínio;	P ₂ O ₅	Óxido de Fósforo
Fe ₂ O ₃	Óxido de ferro;	MnO	Óxido de manganês
MgO	Óxido de magnésio;	ZrO ₂	Óxido de zircônio
K ₂ O	Óxido de potássio;	NiO	Óxido de níquel
SO ₃	Óxido de enxofre;	ZnO	Óxido de zinco
Na ₂ O	Óxido de sódio;	P.F.	Perda ao fogo

Fonte: O autor, 2015.

A (Tabela 26) mostra a fórmula e o composto químico dos elementos.

4.8 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DO RESÍDUO DE LAVAGEM ATRAVÉS DE DRX.

A decifração dos picos dos elementos da (Figura 11) permite determinar a composição mineralógica (Tabela 27) do resíduo de lavagem como dois minerais de classe aluminossilicatos.

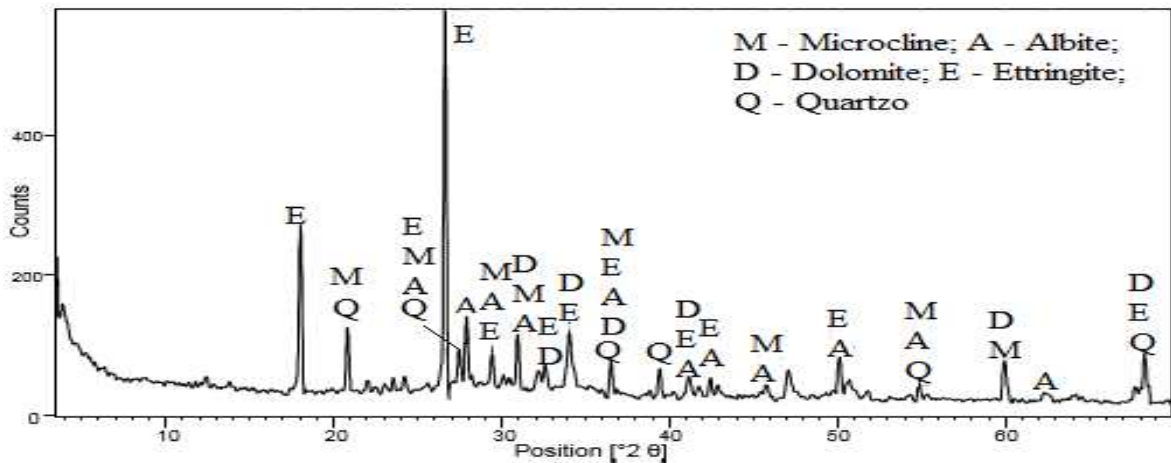


Figura 11 – DRX resíduo de lavagem
Fonte: O autor, 2015.

A (Tabela 27) apresenta a legenda dos minerais presentes no gráfico da (Figura 11).

Tabela 27 – Legenda do gráfico de DRX – resíduo de lavagem

Código	Mineral	Fórmula	Sigla
000010705	Microcline	$KAlSi_3O_8$	M
010831466	Albite	$NaAlSi_3O_8$	A
000411451	Ettringite	$Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12}26H_2O$	E
000360426	Dolomite	$CaMg(CO_3)_2$	D
010832465	Quartzo	SiO_2	Q

Fonte: O autor, 2015.

Os minerais apresentados na (Tabela 27) são típicos do concreto: Albite ($NaAlSi_3O_8$), microcline ($KAlSi_3O_8$), quartzo (SiO_2), ettringite ($Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12}26H_2O$), dolomite ($CaMg(CO_3)_2$) e quartzo SiO_2 .

4.9 RESULTADO E ANÁLISE DA ÁGUA DE LAVAGEM

Pode-se observar através da (Tabela 28) que os resultados dos parâmetros analisados foram satisfatórios e atendem as normas citadas como comparação.

Tabela 28 - Resultado da água de lavagem x normas

Água de lavagem			ASTM C94:2002	EN 1008:2002	NBR 15.900 1:2009	DIN 1008:2002
Parâmetro	Resultado	Expressão				
Cloreto	873	mg/l	<1000	<500	<1000	≤1000
pH	13,66	-	-	>4	≥5	≥4
Sólidos dissolvidos totais	3.764	mg/l	<50,000	-	<50000	-
Sulfato	2.000	mg/l	<3,000	<2,000	<2000	≤2000
Turbidez	63.500	NTU	-	-	-	-

Fonte: O autor, 2015.

Pode-se verificar que entre os parâmetros analisados somente o sulfato ficou com valor igual ao valor determinado pela NBR 15900-1 (Associação..., 2009) e EN 1008 (*European...*, 2002), sendo que as normas pedem valor abaixo de 2000 mg/l. Esse valor não afeta o resultado. No entanto nas normas como a ASTM C94 (*American...*, 2002) e a DIN 1008 (*Deutsches...*, 2002) o resultado ficou dentro do determinado. Como grande parte dos minerais e elementos químicos presentes no cimento aparecem na água e no resíduo de lavagem, isso confirma a similaridade, conforme explica Mehta e Monteiro (2008), que os sulfatos expressos como SO₃ aparecem no cimento *Portland* comum através do sulfato de cálcio (CaSO₄), o qual é adicionado ao clínquer no ato da moagem. O objetivo dessa adição é retardar a tendência a pega rápida do clínquer *Portland* moído, devido alta reatividade do aluminato tricálcico C₃A.

4.10 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS AMOSTRAS DA ETAPA 1

A (Tabela 29) mostra a média da resistência à compressão em MPa das amostras A1 a A8 aos 7 e 28 dias de idade. A média da resistência à compressão do traço padrão – TP são os valores já conhecidos, conforme citado no item 3.4.2 (Dados complementares do TP – traço padrão da página 57).

Tabela 29 - Resultados das composições da etapa 1

AMOSTRAS	CPII	Água potável	Água de lavagem	Resíduo de lavagem	Resistência a compressão - MPa	
					MÉDIA - 7 dias	MÉDIA - 28 dias
TP	100%	100%	0	0	29,30	35,70
A1	100%	50%	50%	0%	33,05	37,50
A2	100%	0%	100%	0%	27,70	34,51
A3	100%	50%	25%	25%	25,95	30,42
A4	100%	0%	50%	50%	26,93	32,65
A5	90%	100%	0%	10%	24,00	28,45
A6	90%	0%	100%	10%	23,43	28,62
A7	90%	75%	25%	10%	22,22	27,85
A8	90%	25%	75%	10%	22,93	28,49

Fonte: O autor, 2015.

Observa-se através da (Tabela 29 - Resultados das composições), que a média da resistência à compressão do TP aos 7 dias de idade é de 29,30 MPa e aos 28 dias de idade é de 35,70 MPa. A resistência à compressão do TP está com 5,70 MPa acima do traço padrão estudado de 30 MPa. Segundo a empresa X concreto há uma variação de 9% entre os ensaios de laboratório e a resistência obtida na linha industrial, isso se dá devido as variações de carregamento como quantidade de água e umidade da areia. Segundo a empresa X concreto, cada MPa representa em média 8 kg de cimento para um (1) metro cúbico de concreto.

A média da resistência à compressão das amostras A1 a A4 aos 7 dias de idade foi de 28,41 MPa e aos 28 dias foi de 33,77 MPa, os valores estão dentro do resultado comercial, pois em média foi usado 25% de água potável, 56,25% de água reciclada e 18,75% de resíduo de lavagem. Com essa combinação pode-se economizar aproximadamente 75% de água potável e 1,93 MPa em comparação à média da resistência à compressão do TP aos 28 dias de idade.

A média da resistência à compressão das amostras A5 a A8 aos 7 dias de idade foi de 23,15 MPa e aos 28 dias de idade é de 28,35 MPa. Os valores médios não atingiram a resistência à compressão do traço padrão devido a quantidade do cimento ser de 90%. Possivelmente, além

do cimento, o valor não foi alcançado devido aos 10% de resíduo de lavagem, que elevou a quantidade de água nas amostras, aumentando o fator a/c e reduzindo a resistência à compressão.

A (Figura 12) mostra a resistência média à compressão de 7 e 28 dias de idade.

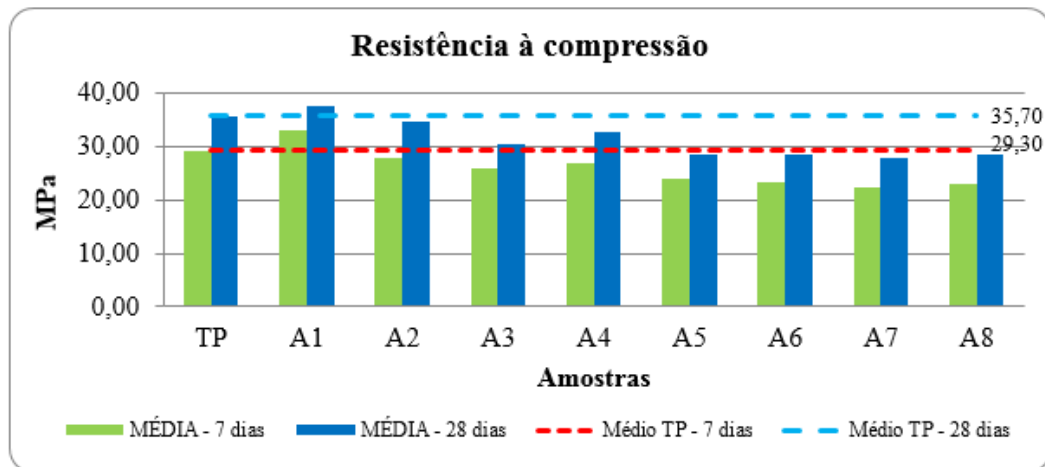


Figura 12 - Resistência média à compressão aos 7 e 28 dias de idade – etapa 1

Fonte: O autor, 2015.

O gráfico apresenta o comportamento da resistência à compressão das amostras para 7 e 28 dias, conforme mostrado na (Tabela 29) página 75. As amostras A1, A2, A3 e A4 contêm em sua composição cem por cento (100%) de cimento e as demais amostras noventa por cento (90%) de cimento, isso mostra que a redução de cimento afetou o resultado.

4.10.1 Coeficiente de variação das amostras A1 a A8 - etapa 1

Baixa dispersão: $CV \leq 15\%$; Média dispersão: $CV 15-30\%$; Alta dispersão: $CV \geq 30\%$

O coeficiente de variação entre as amostras aos 7 dias de idade apresentou 15,55%, ou seja, demonstra que os dados são homogêneos e há uma média dispersão;

O coeficiente de variação entre as amostras aos 28 dias de idade apresentou 13,39%, ou seja, demonstra que os dados são homogêneos e há uma baixa dispersão.

Os resultados obtidos nos ensaios apresentam uma dispersão baixa e média, o que denota uniformidade e confiabilidade nos ensaios realizados, ou seja, os ensaios foram realizados de forma padrão.

4.10.2 Análise da correlação entre a resistência à compressão e o percentual (%) de água de lavagem - etapa 1

Ao se analisar o comportamento da correlação entre a resistência à compressão e o percentual (%) da água de lavagem, notou-se que não há correlação nas amostras com composição em 100% de cimento e nas amostras com composição em 90% de cimento. O resultado obtido mostra que o percentual (%) de água de lavagem não interferiu na resistência à compressão. A correlação baixa mostra que há outros fatores que interferem na resistência do concreto e que o percentual (%) de água não influencia. Em outras palavras, pode-se utilizar a água de lavagem dos caminhões no concreto usinado, no entanto é necessário controle.

4.10.3 Análise do percentual (%) de evolução entre as idades de 7 e 28 dias das amostras – etapa 1

A (Tabela 30) apresenta a evolução da resistência à compressão de 7 para 28 dias de idade para cada amostra.

Tabela 30 - Evolução da resistência à compressão – de 7 para 28 dias

AMOSTRAS	CPII	Água potável	Água de lavagem	Resíduo de lavagem	Resistência a compressão - MPa		% de evolução da resistência - 7 para 28 dias
					MÉDIA - 7 dias	MÉDIA - 28 dias	
TP	100%	100%	0	0	29,30	35,70	21,8%
A1	100%	50%	50%	0%	33,05	37,50	13,4%
A2	100%	0%	100%	0%	27,70	34,51	24,6%
A3	100%	50%	25%	25%	25,95	30,42	17,2%
A4	100%	0%	50%	50%	26,93	32,65	21,2%
A5	90%	100%	0%	10%	24,00	28,45	18,5%
A6	90%	0%	100%	10%	23,43	28,62	22,1%
A7	90%	75%	25%	10%	22,22	27,85	25,4%
A8	90%	25%	75%	10%	22,93	28,49	24,2%

Fonte: O autor, 2015.

O percentual médio de evolução da resistência à compressão entre as amostras A1 e A8 de 7 para 28 dias de idade é de 20,8%, muito próximo ao da amostra de controle – TP, que apresentou 21,8%.

A (Figura 13) apresenta graficamente o percentual de evolução da resistência a compressão para cada amostra.

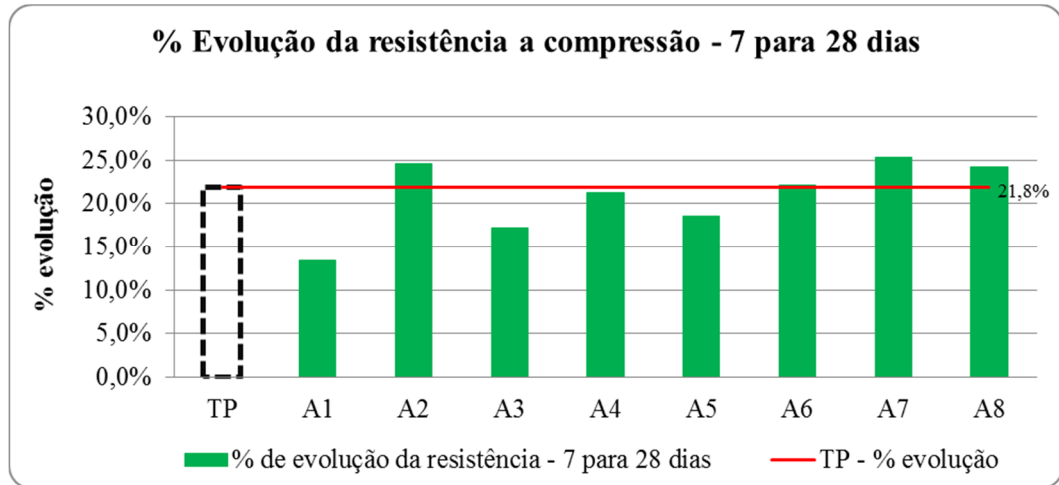


Figura 13 - Evolução da resistência - 7 para 28 dias de idade – etapa 1
Fonte: O autor, 2015.

Nota-se através da (Figura 13) que o % de evolução da resistência à compressão de 7 para 28 dias entre as amostras, em comparação ao TP – traço padrão, ficou homogêneo, no entanto, as amostras A1 (13,4%), A3 (17,2%) e A5 (18,5%) ficaram abaixo do valor do TP – traço padrão (21,8%). Isso pode ser explicado conforme estudo realizado por Su, Miao e Liu (2002), onde a resistência à compressão do concreto aos 7 dias aumenta com uso da água e o resíduo de lavagem utilizado nas amostras, devido a presença do CaOH_2 – hidróxido de cálcio e NaOH – hidróxido de sódio presentes na água, os quais aumentam a alcalinidade.

4.10.4 Análise da resistência à compressão referente ao traço padrão – TP

A (Tabela 31) apresenta o percentual da resistência à compressão em função da amostra controle, o TP – traço padrão.

Tabela 31 - % da resistência à compressão das amostras em função do TP – etapa 1

AMOSTRAS	CPII	Água potável	Água de lavagem	Resíduo de lavagem	Resistência a compressão - MPa		% de resistência referente ao TP - 7 dias	% de resistência referente ao TP - 28 dias
					MÉDIA - 7 dias	MÉDIA - 28 dias		
TP	100%	100%	0	0	29,30	35,70	-	-
A1	100%	50%	50%	0%	33,05	37,50	112,8%	105,0%
A2	100%	0%	100%	0%	27,70	34,51	94,5%	96,7%
A3	100%	50%	25%	25%	25,95	30,42	88,6%	85,2%
A4	100%	0%	50%	50%	26,93	32,65	91,9%	91,5%
A5	90%	100%	0%	10%	24,00	28,45	81,9%	79,7%
A6	90%	0%	100%	10%	23,43	28,62	80,0%	80,2%
A7	90%	75%	25%	10%	22,22	27,85	75,8%	78,0%
A8	90%	25%	75%	10%	22,93	28,49	78,3%	79,8%

Fonte: O autor, 2015.

Nota-se através da (Tabela 31) que somente as amostras A1, A2 e A4 apresentaram resistência média à compressão superior a noventa por cento (90%) referente ao TP – traço padrão. A amostra 3 (com 100% de cimento em sua composição) apresentou um resultado abaixo de noventa por cento (90%), isso pode ser explicado devido a presença de água no resíduo de lavagem (25%), a qual não foi retirada. Pode-se ver através do fator a/c elevado de 0,77 mostrado na (Tabela 34) página 82. As demais amostras não alcançaram a resistência proposta devido a presença de dez por cento (10%) de resíduo de lavagem e 90% de cimento. O resíduo de lavagem contém água e a mesma não foi retirada no ato do ensaio, com isso o fator a/c foi elevado e a resistência à compressão se reduziu.

A (Tabela 32) apresenta os valores economizados das três amostras que apresentaram valores superiores a 90% em comparação a amostra controle, o TP.

Tabela 32 – Análise econômica da etapa 1 - amostra A1, A2 e A4

AMOSTRAS	CPII F 32	Água potável	Água de lavagem	Resíduo de lavagem	Economia		
					Água potável (R\$/m³)	Transp. e destinação (R\$/m³)	Total por amostra (R\$/m³)
A1	100%	50%	50%	-			
Peso (kg)	291	86	86	-	5,19		5,19
A2	100%	-	100%	-			
Peso (kg)	291	-	172	-	10,38		10,38
A4	100%	-	50%	50%			
Peso (kg)	291	-	86	86	5,19	1,91	7,10
Custo da água (R\$/kg)	0,06						
Custo com transporte e destinação final (R\$/m³)	30,00	R\$/kg	0,022				
MU resíduo de lavagem (kg/m³)	1354						

*Os valores foram calculados para 1 m³ de concreto

Fonte: O autor, 2016.

As quantidades e valores utilizados na (Tabela 32) são para 1 m³ de concreto. Na amostra A1, a qual contempla 50% de água potável e 50% de água de lavagem pode-se economizar 5,19 R\$/m³ através do uso da água de lavagem. Na amostra A2, a qual contempla 100% de água de lavagem pode-se economizar 10,38 R\$/m³ através do uso da água de lavagem. Na amostra A4, a qual contempla 50% de água de lavagem e 50% de resíduo de lavagem, pode-se economizar 5,19 R\$/m³ mais 1,91 R\$/m³ de resíduo que foi deixado de transportar e destinar. A amostra A2 apresentou a maior economia usando 100% de água de lavagem.

A (Figura 14) mostra a resistência à compressão das amostras em função do TP – traço padrão nas idades de 7 e 28 dias.

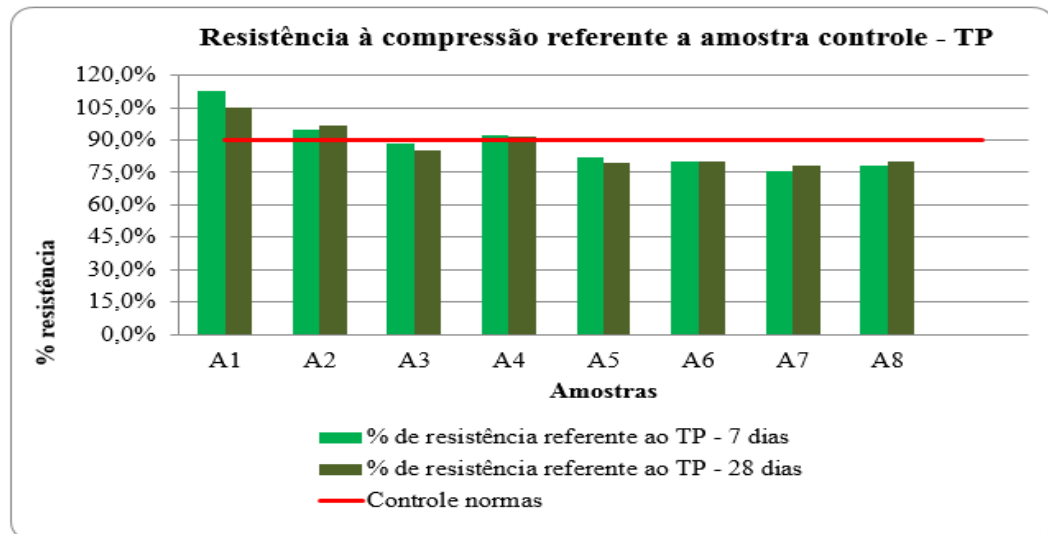


Figura 14 - Resistência à compressão das amostras referente ao TP – etapa 1
 Fonte: O autor, 2015.

As amostras A1, A2, A3 e A4 contêm em sua composição cem por cento (100%) de cimento e as demais amostras noventa por cento (90%) de cimento.

4.10.5 Abatimento do concreto – etapa 1

Observa-se na (Tabela 33) que o abatimento foi fixado em 120 mm com variação de 20 mm para mais ou para menos, atendendo a NBR NM 67 (Associação..., 1998).

Tabela 33 – Abatimento do concreto

ABATIMENTO 7 - 28 DIAS		
AMOSTRAS	Data ensaio / moldagem	Abatimento (cm)
TP	-	12,0
A1	29/12/2014	13,0
A2	29/12/2014	13,5
A3	29/12/2014	12,5
A4	29/12/2014	12,5
A5	29/12/2014	14,0
A6	29/12/2014	13,5
A7	29/12/2014	14,0
A8	29/12/2014	13,5
NBR		NM 67:1998

Fonte: O autor, 2015.

Pode-se observar que o abatimento das amostras apresentou variação referente ao TP – traço padrão, mas o limite determinado em norma foi respeitado, não afetando a trabalhabilidade do concreto. Conforme citado por Tsimas e Zervaki (2011), que o abatimento só é afetado com a presença de aditivos e não pela qualidade da água reciclada, mesmo com a presença excessiva de sólidos totais, no entanto Su, Miao e Liu (2002) salienta que a trabalhabilidade não é alterada, ela pode diminuir com a água reciclada do fundo do tanque de lavagem, em proporção muito pequena, isso se dá ao fato das partículas de cimentos hidratadas estarem presentes.

4.10.6 Fator a/c por amostra de concreto – etapa 1

A (Tabela 34) comprova que conforme a resistência à compressão aumenta e o fator a/c diminui.

Tabela 34 - Fator a/c e resistência à compressão

AMOSTRAS	Água total - amostra (kg)	Cimento total - amostra (kg)	Águas utilizada (kg)	Fator A/C	Resistência a compressão - MPa
					MÉDIA - 28 dias
TP	4,051	6,842	4,051	0,592	35,70
A1	4,051	6,842	4,017	0,587	37,50
A2	4,051	6,842	4,151	0,607	34,51
A3	4,051	6,842	5,268	0,770	30,42
A4	4,051	6,842	5,292	0,773	32,65
A5	4,051	6,158	3,895	0,633	28,45
A6	4,051	6,158	3,821	0,620	28,62
A7	4,051	6,158	3,862	0,627	27,85
A8	4,051	6,158	3,822	0,621	28,49

Fonte: O autor, 2015.

O fator a/c nas amostras que contêm resíduo de lavagem em sua composição, aumentou em função da água presente no resíduo de concreto, a qual não foi desconsiderada nos ensaios. Observa-se também que as amostras A5, A6, A7, A8 possuem noventa por cento (90%) de cimento em sua composição e dez por cento (10%) de resíduo de lavagem, o qual contém água e a mesma também não foi desconsiderada nos ensaios. Com isso o fator a/c é elevado diminuindo a resistência à compressão das amostras.

A (Figura 15) mostra que há correlação ($r^2=0,824$) entre o percentual (%) de resíduo de lavagem e o fator a/c das amostras de concreto.

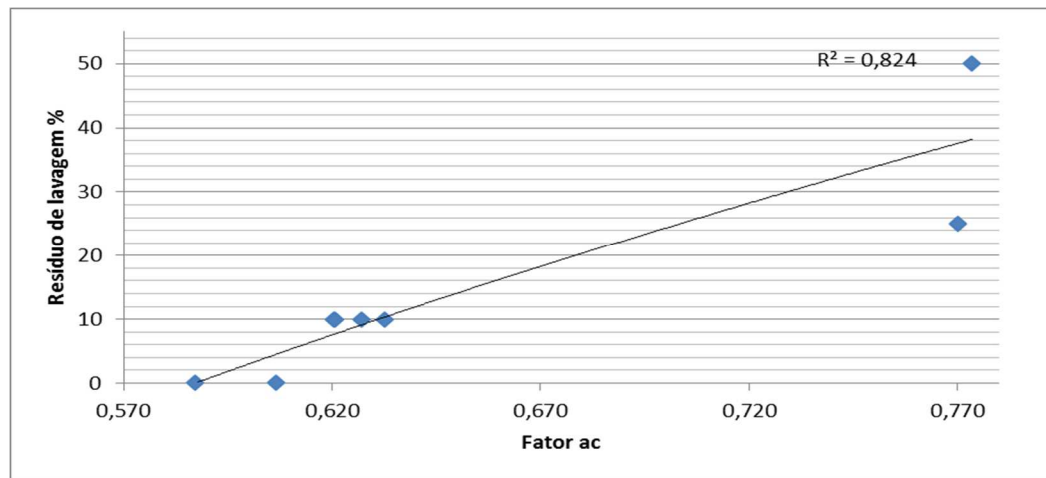


Figura 15 - Correlação entre fator a/c e percentual (%) de resíduo de lavagem
Fonte: O autor, 2015.

As amostras que tiveram maior percentual de resíduo de lavagem tiveram o fator de a/c elevado, devido a quantidade de água presente no resíduo de lavagem, a qual é maior que 50%.

4.10.7 Análise do comportamento das amostras através da Anova e comparações pareadas de *Tukey* – etapa 1.

Conforme a (Tabela 35) - anova de 7 dias de idade.

Tabela 35 - Análise estatística através da anova - 7 dias de idade

<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	524,25	7,00	74,89	81,23	0,00	2,25
Dentro dos grupos	36,88	40,00	0,92			
Total	561,12	47,00				

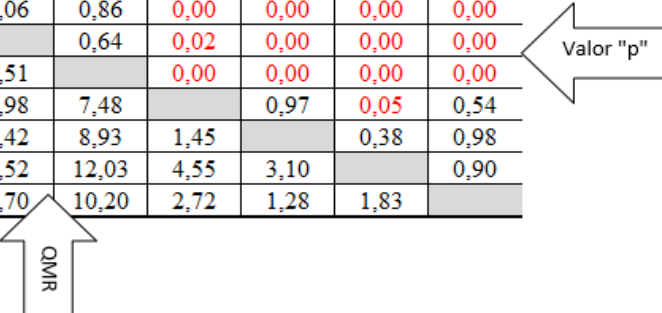
Fonte: O autor, 2015.

Os dados comprovam que há diferença entre as amostras de 7 dias, pois o valor de **F** é maior que o de **F crítico** evidenciando que existe significância, além do valor de **P** ser menor que 5% (nível de significância).

Aos valores mostrados na (Tabela 36) na parte inferior se referem ao QMR – quadrado médio do resíduo da anova e os valores na parte superior referem-se ao valor de **p** da anova.

Tabela 36 - Comparações pareadas de Tukey das amostras de 7 dias de idade

Amostras	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A2	13,65		0,06	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00
A3	18,11	4,46		0,64	0,02	0,00	0,00	0,00
A4	15,60	1,96	2,51		0,00	0,00	0,00	0,00
A5	23,09	9,44	4,98	7,48		0,97	0,05	0,54
A6	24,53	10,88	6,42	8,93	1,45		0,38	0,98
A7	27,64	13,99	9,52	12,03	4,55	3,10		0,90
A8	25,81	12,16	7,70	10,20	2,72	1,28	1,83	



Fonte: O autor, 2015.

Os valores em vermelho da (Tabela 36) apresentam diferenças de médias entre as amostras comparadas, o que são maiores ou igual a diferença mínima significativa.

Conforme a (Tabela 37) - anova de 28 dias de idade.

Tabela 37 - Análise estatística através da anova - 28 dias de idade

Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	valor-P	<i>F crítico</i>
Entre grupos	515,73	7,00	73,68	46,28	0,00	2,25
Dentro dos grupos	63,68	40,00	1,59			
Total	579,41	47,00				

Fonte: O autor, 2015.

De acordo com a (Tabela 37) também há diferença entre as amostras de 28 dias, pois o valor de **F** é maior que o de **F crítico** evidenciando que existe significância e o valor de **P** é menor que 5% (nível de significância).

Aos valores mostrados na (Tabela 38) na parte inferior se referem ao QMR – quadrado médio do resíduo da anova e os valores na parte superior referem-se ao valor de **p** da anova.

Tabela 38 - Comparações pareadas de Tukey das amostras de 28 dias de idade

Amostras	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A2	5,79		0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
A3	13,75	7,96		0,07	0,15	0,24	0,02	0,17
A4	9,40	3,61	4,35		0,00	0,00	0,00	0,00
A5	17,57	11,78	3,82	8,17		1,00	0,99	1,00
A6	17,23	11,44	3,49	7,83	0,34		0,96	1,00
A7	18,72	12,93	4,98	9,32	1,16	1,49		0,99
A8	17,48	11,69	3,74	8,08	0,08	0,25	1,24	

Valor "p"

QMR

Fonte: O autor, 2015.

Os valores em vermelho da (Tabela 38) apresentam diferenças de médias entre as amostras comparadas, o que são maiores ou igual a diferença mínima significativa.

4.10.8 Análise da correlação entre a resistência à compressão e o percentual (%) de resíduo de lavagem - etapa 1

Ao se analisar o comportamento da correlação entre a resistência à compressão e o percentual (%) de resíduo de lavagem, notou-se baixa correlação nas amostras com composição em 100% de cimento e nas amostras com composição em 90% de cimento. O resultado obtido mostra que o percentual (%) de resíduo de lavagem, sob controle, não interferiu na resistência à compressão. A correlação baixa mostra que há outros fatores que interferem na resistência do concreto.

4.10.9 Análise da densidade dos corpos de prova – etapa 1

A (Tabela 39) mostra a densidade do corpo de prova 100x200 mm por amostra aos 28 dias de idade.

Tabela 39 - Densidade das amostras

	Amostras	Peso médio (g)	Densidade (g/cm ³)	Ordem
100% cimento	A1	4019,0	2,459	1
	A2	3971,0	2,430	2
	A3	3911,2	2,393	4
	A4	3932,0	2,406	3
90% cimento	A5	3907,5	2,391	5
	A6	3856,0	2,360	8
	A7	3901,8	2,388	6
	A8	3902,8	2,388	7

Fonte: O autor, 2015.

Observa-se através da ordem na (Tabela 39) que a maiores densidades estão entre a ordem 1 e 4, devido a composição ser de cem por cento (100%) de cimento. As ordens 5,6,7 e 8 apresentam noventa por cento (90%) de cimento nas composições, por isso apresentaram menor peso. A variação de peso entre as amostras se dá devido a presença das partículas finas já hidratadas presentes nas amostras. A amplitude da densidade é na ordem de 0,100 g/cm³, ou seja, não há uma diferença significativa.

4.11 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DAS AMOSTRAS DA ETAPA 2

Na etapa 1 o TP era o traço padrão, nessa etapa será denominado como TP-R – traço padrão reproduzido. O objetivo é conferir se os valores de TP estão corretos. Na etapa 2, o TP-R é a amostra de controle.

Conforme mostra a (Tabela 40) os resultados obtidos aos 7 e 28 dias de idade nas amostras A2 e A6.

Tabela 40 - Resultado das amostras

AMOSTRAS	Cimento - CPII F 32	Água potável	Água reciclada	Resíduo de lavagem	Data ensaio / moldagem	Abatimento (mm)	Rompimento à compressão (MPa)	% de resistência referente ao TP - R 7 dias	Rompimento à compressão (MPa)	% de resistência referente ao TP - R 28 dias
	kg	Kg	Kg	Kg			MÉDIA - 7 dias		MÉDIA - 28 dias	
TP-R	100%	100%	0,000	0,000	18/02/2015	140	27,7	-	34,7	-
A2	92%	0%	100%	0%	18/02/2015	130	27,8	100,3%	31,9	92,0%
A6	92%	0%	100%	8%	18/02/2015	140	25,3	91,6%	32,4	93,6%
NBR						NM 67:1998	5739:2007	15900-1:2009	5739:2007	15900-1:2009

Fonte: O autor, 2015.

O TP-R – traço padrão reproduzido apresentou resistência à compressão de 27,7 MPa aos 7 dias de idade, sendo que o TP apresentava 29,30 MPa, uma queda de 5,4%. Aos 28 dias de idade o TP-R apresentou resistência à compressão de 34,7 MPa, sendo que o TP apresentava 35,70 MPa, uma queda de 2,8%. A variação é pequena e pode ser atribuída a forma de execução do ensaio, a qual pode variar entre operadores. O abatimento apresentou valor de 140 mm, dentro dos limites estabelecidos na NBR NM 67 (Associação..., 1998).

A amostra A2 apresentou resistência à compressão de 27,8 MPa aos 7 dias de idade e 31,9 MPa aos 28 dias. A resistência à compressão de A2 aos 7 dias foi superior do traço padrão reproduzido - TP-R, o qual apresenta cem por cento (100%) de cimento em sua composição. Isso pode ser explicado devido a presença de óxido de cálcio (CaO) na água reciclada, o óxido aumenta a alcalinidade nas primeiras idades e contribui com a resistência à compressão. O abatimento apresentou valor de 130 mm, dentro dos limites estabelecidos na NBR NM 67 (Associação..., 1998).

A amostra A6 apresentou resistência à compressão de 25,3 MPa aos 7 dias de idade e 32,4 MPa aos 28 dias. A resistência à compressão de A6 foi inferior de do traço padrão reproduzido - TP-R devido a presença de resíduo de concreto que contempla água, a qual não foi descontada nos ensaios. O abatimento apresentou valor de 140 mm, dentro dos limites estabelecidos na NBR NM 67 (Associação..., 1998).

O percentual de resistência das amostras A2 e A6 referente a amostra de controle, o TP-R, foi maior que 90% para as idades de 7 e 28 dias de idade, conforme determina a NBR 15900-1 (Associação..., 2009).

A (Tabela 41) mostra o resultado econômico da etapa 2 referente as amostras A2 e A6.

Tabela 41 – Análise econômica da etapa 2 – amostras A2 e A6.

AMOSTRAS	CPII F 32	Água potável	Água de lavagem	Resíduo de lavagem	Economia			
					Cimento (R\$/m ³)	Água potável (R\$/m ³)	Transp. e destinação (R\$/m ³)	Total por amostra (R\$/m ³)
A2	92%	-	100%	-				
Peso (kg)	267,7	-	172	-	9,31	10,38		19,69
A6	92%	-	100%	8%				
Peso (kg)	267,7	-	172	23,28	9,31	10,38	0,52	20,21
Custo da água (R\$/kg)	0,06							
Custo com transporte e destinação final (R\$/m ³)	30,00	R\$/kg	0,022					
MU resíduo de lavagem (kg/m ³)	1354							
Cimento (R\$/kg)	0,40							

*Os valores foram calculados para 1 m³ de concreto

Fonte: O autor, 2016.

As quantidades e valores utilizados na (Tabela 41) são para 1 m³ de concreto. Nessa etapa para a amostra A2 foi possível reduzir oito por cento (8%) de cimento, o que resulta em 23,28 kg de cimento por m³ de concreto, essa quantidade resulta em 9,31 R\$/m³ mais 10,38 R\$/m³ de economia para água potável, ou seja, uma economia de 19,69 R\$/m³. Para a amostra A6 também foi possível reduzir oito por cento (8%) de cimento, o que resulta em 23,28 kg de cimento por m³ de concreto, o que resulta em 9,31 R\$/m³ mais 100% de água potável, ou seja, 10,38 R\$/m³ e 8% de resíduo de lavagem, que resulta em 0,52 R\$/m³, ou seja, uma economia de 20,21 R\$/m³. A economia mais significativa foi para a amostra A4.

Os dados para composição do peso foi extraído da (Tabela 12) página 54 e para composição de valores foi extraído da (Tabela 24) página 70.

A (Figura 16) apresenta graficamente a resistência média à compressão de 7 e 28 dias.

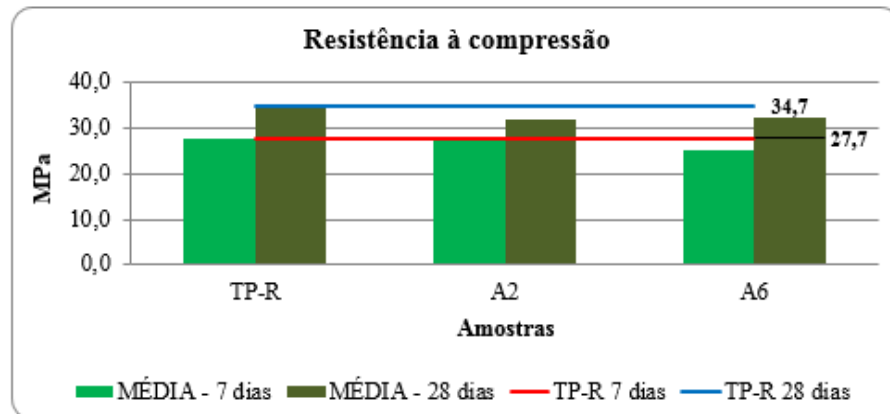


Figura 16 - Resistência média à compressão aos 7 e 28 dias de idade
Fonte: O autor, 2015.

A (Tabela 42) apresenta a quantidade de água utilizada nas amostras e o fator a/c em função da resistência média aos 28 dias de idade.

Tabela 42 – Fator a/c e resistência a compressão

AMOSTRAS	Água do traço por amostra (kg)	Cimento do traço por amostra (kg)	Água utilizada (kg)	Fator a/c	Resistência à compressão - MPa
					Média - 28 dias
TP-R	4,051	6,842	3,947	0,577	34,7
A2	4,051	6,295	4,151	0,659	31,9
A6	4,051	6,295	3,821	0,607	32,4

Fonte: O autor, 2015.

Observa-se que a quantidade de água da amostra A6, a que contém 8% de resíduo de lavagem em sua composição, foi a que mais diminuiu água. Esse fato está ligado a presença de água no resíduo de lavagem. O fator a/c está com valor elevado devido a quantidade do cimento ser de 92% nas composições das amostras A2 e A6.

A (Tabela 43) apresenta a densidade do corpo de prova 100x200 mm por amostra. Observa-se que a amostra A6 apresentou maior densidade e o TP-R menor densidade.

Tabela 43- Densidade das amostras

Amostras	Peso médio (g)	Densidade (g/cm ³)	Ordem
TP-R	3972,6	2,431	3
A2	3988,2	2,440	2
A6	4010,5	2,454	1

Fonte: O autor, 2015.

A densidade é maior na amostra A6 devido à presença de partículas finas presente no resíduo de lavagem. A amostra A2 também apresenta partículas finas, as quais estão presentes na água reciclada e a amostra TP-R não contém água reciclada nem resíduo de lavagem. A amplitude da densidade é na ordem de 0,023 g/cm³, ou seja, não há uma diferença significativa.

4.11.1 Análise do comportamento das amostras através da Anova e comparações pareadas de Tukey – etapa 2.

De acordo com a (Tabela 44) os valores mostrados são das amostras obtidos através da anova aos 7 dias de idade.

Tabela 44 - Análise estatística através da *anova* – 7 dias de idade

<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	22,58	2,00	11,29	13,01	0,00	3,68
Dentro dos grupos	13,02	15,00	0,87			
Total	35,61	17,00				

Fonte: O autor, 2015.

A (Tabela 44) comprova que há diferença entre as amostras de 7 dias de idade, o valor de **F** é maior que **F crítico**, evidenciando que existe significância e o valor de **P** é menor que 5% (nível de significância).

Como mostra a (Tabela 45) os valores na parte inferior se referem ao QMR – quadrado médio do resíduo da anova e os valores na parte superior referem-se ao valor de **P** da anova.

Tabela 45 – Comparações pareadas de Tukey das amostras de 7 dias de idade

Amostras	TP-R	A2	A6
TP-R		0,99	0,00
A2	0,22		0,00
A6	6,13	6,35	

Valor "p" (indicado por uma seta apontando para os valores 0,00)

QMR (indicado por uma seta apontando para os valores 6,13 e 6,35)

Fonte: O autor, 2015.

Os valores em vermelho da (Tabela 45) apresentam diferenças de médias entre as amostras comparadas, o que são maiores ou igual a diferença mínima significativa.

Conforme mostra a (Tabela 46) os valores das amostras obtidos através da anova são de 28 dias de idade.

Tabela 46 - Análise estatística através da anova – 28 dias de idade

Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	valor-P	<i>F crítico</i>
Entre grupos	25,85	2,00	12,93	10,44	0,00	3,68
Dentro dos grupos	18,57	15,00	1,24			
Total	44,43	17,00				

Fonte: O autor, 2015.

A (Tabela 46) comprova que há diferença entre as amostras de 28 dias, o valor de **F** é maior que **F crítico**, evidenciando que existe significância e o valor de **p** é menor que 5% (nível de significância).

Conforme mostra a (Tabela 47) os valores na parte inferior se referem ao QMR – quadrado médio do resíduo da anova e os valores na parte superior referem-se ao valor de **p** da anova.

Tabela 47 – Comparações pareadas de Tukey das amostras de 28 dias de idade

Amostras	TP-R	A2	A6
TP-R		0,00	0,01
A2	6,09		0,69
A6	4,92	1,17	

Valor "p" (indicado por uma seta apontando para os valores 0,00 e 0,01)

QMR (indicado por uma seta apontando para os valores 6,09 e 4,92)

Fonte: O autor, 2015.

Os valores em vermelho na (Tabela 47) demonstram diferenças de médias entre as amostras comparadas o que são maiores ou igual a diferença mínima significativa.

4.12 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DAS AMOSTRAS DA 3ª ETAPA

A (Tabela 48) apresenta os dados levantados no momento do ensaio das amostras.

Tabela 48 - Dados dos ensaios da amostra A6

AMOSTRAS	Abatimento	(+)Adição (-)subtração da água da amostra	Quantidade real de água utilizada	Fator a/c
	mm	g	g	-
A6 ₁	125	-214,8	3836,2	0,561
A6 ₂	140	-224,4	3826,6	0,559
A6 ₃	140	-314,1	3736,9	0,546
A6 ₄	140	-407,0	3644,0	0,533

Fonte: O autor, 2015.

Observa-se que na amostra A6₁ com 8% de resíduo foi subtraído 214,8 g de água, na amostra A6₂ com 16% de resíduo foi subtraído 224,4 g de água, na amostra A6₃ com 32% de resíduo foi subtraído 314,1 g de água e na amostra A6₄ com 48% de resíduo foi subtraído 407 g de água, ou seja, quanto maior o teor de resíduo de água maior a quantidade de água subtraída.

Dessa forma diminuiu o fator a/c em função do maior % percentual de resíduo de lavagem. A tabela ainda mostra que o abatimento medido se manteve fixado em 120 mm com variações de 20 mm.

A (Tabela 49) mostra o resultado do rompimento à compressão aos 7 e 28 dias, além do percentual (%) de resistência à compressão referente ao traço padrão reproduzido - TP-R e o percentual (%) de evolução da resistência à compressão de 7 para 28 dias de idade.

Tabela 49 – Resultado dos ensaios da amostra A6

AMOSTRAS	Rompimento à compressão (MPa)	% de resistência referente ao TP-R 7 dias	Rompimento à compressão (MPa)	% de resistência referente ao TP-R 28 dias	Evolução em (%) de 7 para 28 dias
	MÉDIA - 7 dias		MÉDIA - 28 dias		
TP-R	27,7		34,7		25%
A6 ₁	34,2	123%	42,2	122%	23%
A6 ₂	30,7	110,6%	37,0	107%	21%
A6 ₃	26,9	97,1%	33,4	96%	24%
A6 ₄	26,6	96,1%	33,1	95%	24%
NBRs	5739:2007	15900-1:2009	5739:2007	15900-1:2009	

Fonte: O autor, 2015.

Nota-se através da (Tabela 49) que as amostras A6₁, A6₂, A6₃ e A6₄ apresentaram resistência média à compressão superior a 90% referente a amostra do traço padrão reproduzido - TP-R. O percentual (%) de resistência das amostras em função ao TP-R diminuiu conforme o aumento da quantidade de resíduo de lavagem adicionado nas amostras. Esse fator pode estar atrelado a quantidade de água presente no resíduo de lavagem que compromete o fator a/c e consequentemente a resistência a compressão. As amostras atenderam as determinação da norma ASTM C94 (*American...*, 2002), a qual define que quando utilizado água reciclada em concretos, a resistência média à compressão aos 7 dias deve ser superior a 90% da amostra de controle e a norma EN 1008 (*European...*, 2002) e a NBR 15900-1 (*Associação...*, 2009), a quais definem que quando utilizado água reciclada, a resistência média à compressão aos 7 e 28 dias devem ser superiores a 90% da amostra de controle.

Como mostra a (Tabela 50) o resultado econômico da etapa 3 se refere as amostras A6₁, A6₂, A6₃ e A6₄.

Tabela 50 – Análise econômica da etapa 3

AMOSTRAS	CPII F 32	Água potável	Água de lavagem	Resíduo de lavagem	Economia		
					Água potável (R\$/m ³)	Transp. e destinação (R\$/m ³)	Total por amostra (R\$/m ³)
A6₁	100%	-	100%	8%			
Peso (kg)	291	-	172	23,28	10,38	0,52	10,90
A6₂	100%	-	100%	16%			
Peso (kg)	291	-	172	46,56	10,38	1,03	11,41
A6₃	100%	-	100%	32%			
Peso (kg)	291	-	172	93,12	10,38	2,06	12,44
A6₄	100%	-	100%	48%			
Peso (kg)	291	-	172	139,68	10,38	3,09	13,47
Custo da água (R\$/kg)	0,06						
Custo com transporte e destinação final (R\$/m ³)	30,00	R\$/kg	0,022				
MU resíduo de lavagem (kg/m ³)	1354						

*Os valores foram calculados para 1 m³ de concreto

Fonte: O autor, 2016.

As quantidades e valores utilizados na (Tabela 50) são para 1 m³ de concreto. Em todas as amostras foi usado 100% de água de lavagem, ou seja, economizou-se 100% de água potável, isso representa uma economia de 10,38 R\$/m³, por amostra. Também foi adicionado nas amostras, 8% (A6₁), 16% (A6₂), 32% (A6₃) e 48% (A6₄) de resíduos de lavagem. Isso significa que foi deixado de pagar para transportar e destinar os resíduos de lavagem, o equivalente a 23,28 kg (A6₁), 46,56 kg (A6₂), 93,12 kg (A6₃) e 139,68 kg (A6₄). A economia gerada é na ordem de 0,52 R\$/m³ (A6₁), 1,03 R\$/m³ (A6₂), 2,06 R\$/m³ (A6₃) e 3,09 R\$/m³ (A6₄). Totalizando 10,90 R\$/m³, 11,41 R\$/m³, 12,44 R\$/m³ e 13,77 R\$/m³ por amostra respectivamente. A amostra A6₄ apresentou a melhor economia diante das demais composições da etapa 3.

Conforme mostra a (Figura 17), não há correlação baixa ($r^2 = 0,33$) entre a resistência à compressão e o percentual (%) de resíduo de lavagem utilizado nas amostras.

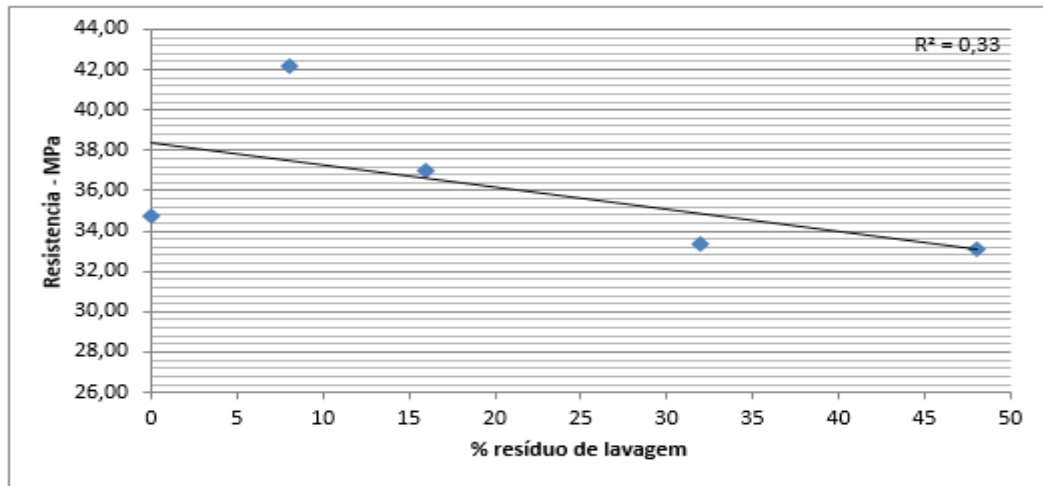


Figura 17 – Correlação entre a resistência a compressão e o percentual (%) de resíduo de lavagem
 Fonte: O autor, 2015.

De acordo com a (Figura 17) não há correlação entre o percentual (%) de resíduo de lavagem e a resistência à compressão nas amostras de concreto. A variação do percentual (%) do resíduo de lavagem tem pouca influência sobre a resistência, no entanto, sugere-se que haja controle da água no concreto.

Conforme a (Figura 18) há correlação ($r^2 = 0,96$) entre o fator a/c e o percentual (%) de resíduo de lavagem utilizado nas amostras.

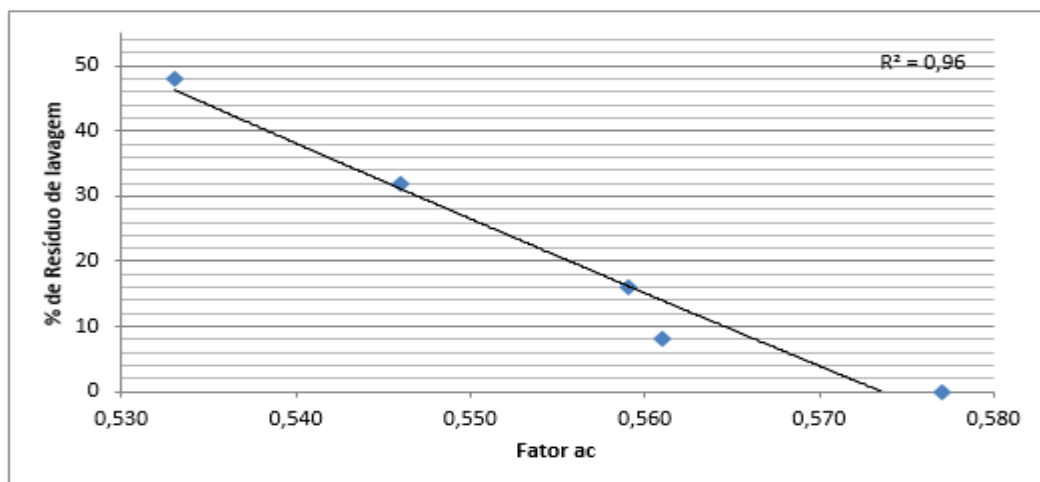


Figura 18 – correlação entre o fator a/c e o percentual (%) de resíduo de lavagem
 Fonte: O autor, 2015.

A (Figura 18) mostra que a quantidade de cimento, água e resíduos de lavagem nas amostras de concreto interferem diretamente no fator a/c , ele pode aumentar ou diminuir, interferindo na resistência à compressão.

A (Tabela 51) mostra os valores das amostras obtidos através da anova aos 7 dias de idade.

<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	231,25	3,00	77,08	121,86	0,00	3,10
Dentro dos grupos	12,65	20,00	0,63			
Total	243,91	23,00				

Tabela 51 - Análise estatística através da *anova* - 7 dias de idade

Fonte: O autor, 2015.

De acordo com a (Tabela 51) há diferença entre as amostras de 7 dias, pois o valor de **F** é maior que o de **F crítico** evidenciando que existe significância e o valor de **P** é menor que 5% (nível de significância).

Os valores em vermelho da (Tabela 52) apresentam diferenças de médias entre as amostras comparadas, o que são maiores ou igual a diferença mínima significativa.

Tabela 52 - Comparações pareadas de *Tukey* das amostras de 7 dias de idade

Amostras	A6 ₁	A6 ₂	A6 ₃	A6 ₄
A6 ₁		0,00	0,00	0,00
A6 ₂	10,93		0,00	0,00
A6 ₃	22,53	11,60		0,94
A6 ₄	23,35	12,42	0,82	

Valor "p" (indicado por uma seta apontando para os valores em vermelho na tabela)

QMR (indicado por uma seta apontando para o valor 23,35 na tabela)

Fonte: O autor, 2015.

Conforme a (Tabela 52) os valores na parte inferior se referem ao QMR – quadrado médio do resíduo da anova e os valores na parte superior referem-se ao valor de **p** da anova.

A (Tabela 53) mostra os valores das amostras obtidos através da anova aos 28 dias de idade.

<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	325,37	3,00	108,46	79,30	0,00	3,10
Dentro dos grupos	27,35	20,00	1,37			
Total	352,72	23,00				

Tabela 53 - Análise estatística através da *anova* - 28 dias de idade

Fonte: O autor, 2015.

A (Tabela 53) comprova que há diferença entre as amostras de 28 dias, pois o valor de **F** é maior que o de **F crítico** evidenciando que existe significância e o valor de **P** é menor que 5% (nível de significância).

Os valores em vermelho da (Tabela 54) apresentam diferenças de médias entre as amostras comparadas, o que são maiores ou igual a diferença mínima significativa.

Tabela 54 - Comparações pareadas de *Tukey* das amostras de 28 dias de idade

Amostras	A6 ₁	A6 ₂	A6 ₃	A6 ₄
A6 ₁		0,00	0,00	0,00
A6 ₂	11,02		0,00	0,00
A6 ₃	18,63	7,61		0,97
A6 ₄	19,27	8,24	0,63	

Fonte: O autor, 2015.

De acordo com a (Tabela 54) os valores na parte inferior se referem ao QMR – quadrado médio do resíduo da anova e os valores na parte superior referem-se ao valor de **p** da anova.

5 PROCESSOS DE FORMAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETOS TRADICIONAIS – TP-R

5.1 MUDANÇA DE COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA (ATRAVÉS DE MÉTODO DE DRX)

A (Tabela 56) apresenta a posição e intensidade dos picos da amostra do traço padrão reproduzida – TP-R. O concreto de composição tradicional TP-R no 7º dia de cura (Figura 19 - A) composto de minerais seguintes: quartzo SiO_2 , alumino-silicatos – albite $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ e microcline KAlSi_3O_8 , mineral de hidratação de cal virgem portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e mineral dos carbonatos dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Bem visível também alto teor das substancias amorfas.

A Figura 19 – A e B apresentam a composição mineral da amostra TP-R aos 7 e 28 dias de idade.

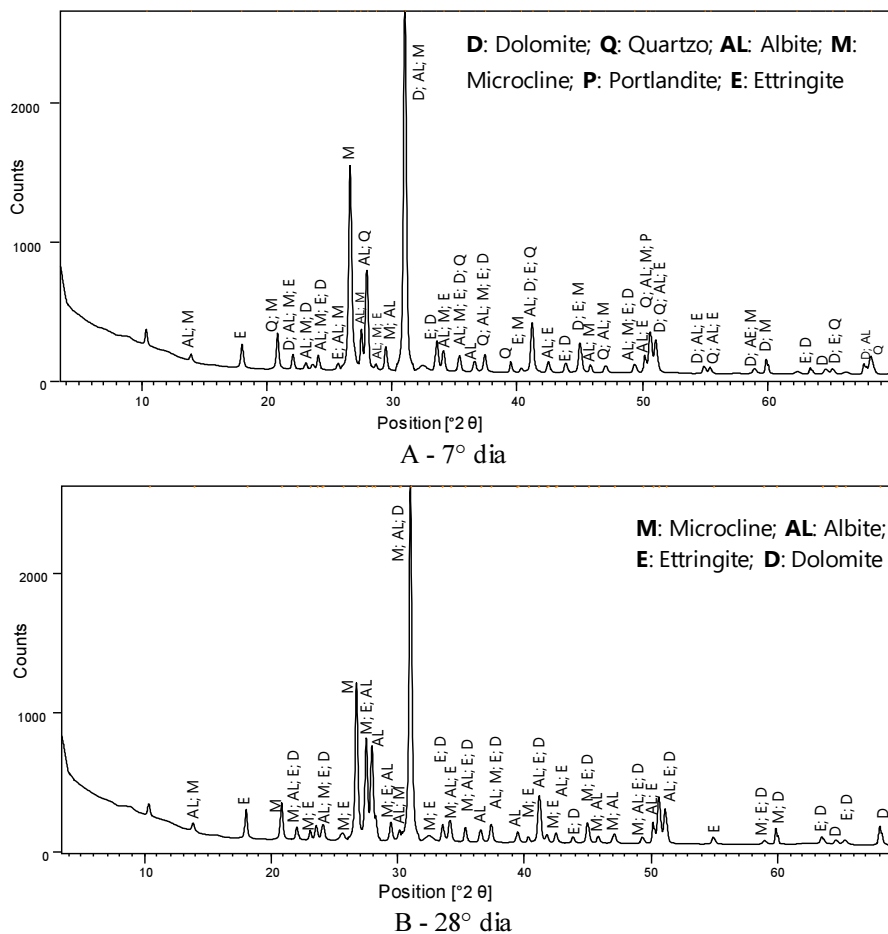


Figura 19 – Composição mineralógica das amostras de composição TP - R no 7º (A) e no 28º (B) dias de cura.

Fonte: O autor, 2015.

A (Tabela 55) mostra o código utilizado na pesquisa, os minerais, fórmula química e a sigla utilizada no gráficos.

Tabela 55 – Legenda referente a (Figura 19)

Código	Mineral	Fórmula	Sigla
000010705	Microcline	KAlSi_3O_8	M
010831466	Albite	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	AL
0108120140	Portlandite	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	P
000411451	Ettringite	$\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}26\text{H}_2\text{O}$	E
000360426	Dolomite	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	D
010832465	Quartzo	SiO_2	Q

Fonte: O autor, 2015.

Comparando os difratogramas de raios x de mesma composição no 7° e 28° dias de cura (Figura 19 - B e Tabela 56) é evidente a ausência dos picos de portlandite e quartzo no 28° dia. Talvez o conteúdo deles permaneça abaixo do limite de detecção do método (cerca de 5%). O único pico de quartzo ($2\theta^\circ = 39,5 \text{ \AA}$) livre de coincidência com picos de outros minerais desaparece do difratograma de 28 dias. Bem visível também a diminuição de intensidade de picos de albite e microcline ($2\theta^\circ = 13,9 - 23,6 - 26,6 - 27,9 - 36,6 \text{ \AA}$). Os íons e moléculas de portlandite podem entrar em formação de redes cristalinas de carbonatos – dolomite, calcita, ankerita e outros. No difratograma (Figura 19 - B) estão visíveis somente os picos de dolomite, mas muito provável também síntese de outros carbonatos acima nomeados em quantidades menores do que sensibilidade de método DRX (+/- 5%). A portlandite (produto de hidratação do cálcio ($\text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$) = $\text{Ca}(\text{OH})_2$) depois de absorver o CO_2 do ar, ela também pode aumentar o valor de carbonatos ou cristalinos ou amorfos.

Íons e moléculas de quartzo, albite e microcline de redes cristalinos dissolvidos em ambiente altamente alcalino, não foram sintetizados em novos cristais dos outros minerais; aparentemente, eles foram absorvidos com os materiais amorfos.

A (Tabela 56) apresenta os minerais e a intensidade em (%) da amostra de composição TP-R (traço padrão reproduzido) de 7° e 28° dias de idade (método DRX).

Tabela 56 - Mudança de composição mineralógica e de intensidades de picos

2θ°	A - TP-R 7 dias			D - TP-R 28 dias		
	d, Å	I, %	Minerais	d, Å	I, %	Minerais
13,9	6,4	2,8	AL M	6,4	1,2	AL M
18	4,9	5,2	P	4,9	7,9	E
20,8	4,3	10,7	Q M	4,3	8	M
22,1	4	4	D AL M	4	4,5	M AL E D
23,1	3,9	1,8	AL M	3,9	2,6	M AL E
23,6	3,8	4,3	AL M	3,8	1,9	AL
24,1	3,7	3,9	D AL M	3,7	4	AL M E D
25,6	3,5	1,8	AL M	3,5	2	AL M E
26,6	3,3	58,3	AL M	3,3	51	AL M
27	3,3	2,6	M AL	3,2	27,8	M AL E
27,5	3,2	10,6	AL M	3,2	25,7	AL M E
27,9	3,2	5,8	AL M	3,2	27,5	AL M E
28,7	3,1	1,8	P	3	5,3	M E AL
31	2,89	100	D AL M	2,89	100	AL M D
32,4	2,76	1,5	M	2,76	1,5	M E
33,6	2,67	4,6	D AL	2,67	4,8	E AL D
34,1	2,63	5,7	P AL M	2,63	6,1	M AL E
35,4	2,54	4,6	D AL M	2,54	4,6	M AL E D
36,6	2,46	5,1	P Q AL	2,46	3,6	AL
37,4	2,4	5	D AL M	2,4	5,4	AL M E D
39,5	2,28	3,5	Q			
40,3	2,24	1,3	Q AL M	2,24	2	M E AL
41,2	2,19	14,6	D AL M	2,19	14,9	AL E D
42,5	2,127	3,2	Q AL M	2,127	3,4	AL E
43,9	2,064	2,9	D AL M	2,065		D AL
45	2,014	9,1	M E D	2,014	6,3	M E D
45,9	1,979	2,6	Q AL M	1,98	2,3	M AL E
47,1	1,931	2,1	P AL M	1,929	0,9	M AL
49,4	1,846	2,6	D AL M	1,848	1,9	M AL E D
50,2	1,818	6	Q AL M	1,818	7,2	AL E
50,6	1,803	12,7	P D Q AL M	1,803	14,7	M AL E D
51,1	1,789	9,7	D P AL M	1,787	10,9	AL E D
54,9	1,672	2,3	Q AL M	1,672	3,9	E
58,9	1,567	1,5	D AL M	1,567	1,7	M E AL D
59,9	1,544	5,4	D Q AL M	1,544	5,9	M AL D
63,4	1,467	2,3	D AL M	1,465	2,5	E D
64,6	1,442	1,6	D AL M	1,443	2,8	D
65,6	1,432	1,7	D AL M	1,429	2,7	E D
67,7	1,374	4,4	Q	1,376	5,3	D

Fonte: O autor, 2015.

O pico com $2\theta^\circ = 27,5^\circ$ cresce por razão de síntese de ettringite - $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}26\text{H}_2\text{O}$. A diminuição de intensidade de picos de alumino-silicatos (albite e microcline) e de quartzo acontece por razão de dissolução parcial deles em meio ambiente de alta alcalinidade ($\text{pH} = 13,66$), especialmente das camadas externas das partículas destes minerais, danificados por fissuras durante longa história geológica de cada partícula de areia. O aumento de intensidade dos picos de dolomite ($2\theta^\circ=64,6; 65,6$ e $67,7^\circ$) acontece pela absorção do CO_2 do ar; com aumento de quantidade do nível de perfeição da estrutura cristalina aumenta a resistência à compressão. A ettringite ($2\theta^\circ =18,0; 54,9^\circ$) apresentam instabilidade devido as quantidades de moléculas de água, que pode aumentar durante a hidratação até 32 moléculas.

As maiorias das intensidades crescem devido síntese de quantidade adicional e perfeição das estruturas cristalinas de dolomite e ettringite. Em caso de coincidência dos picos destes minerais com os picos de portlandite, microcline e albite, o efeito final (diminuição ou aumento do pico) depende de prevalência de síntese dos primeiros ou dissolução dos segundos. Este efeito é visível (Figura 19 A e B) no crescimento do pico $2\theta^\circ=27,9^\circ$ de microcline e albite de 5,8% depois de síntese de ettringite no mesmo posição $2\theta^\circ=27,9^\circ$ no 28º dia até 27,5%. Em contrário, o pico com $2\theta^\circ=45,0^\circ$ diminui de 9,1% do 7º dia até 6,3% no 28º dia porque intensidade de dissolução dos albites e microclines são maiores do que síntese de dolomite.

5.2 ESTRUTURAS MORFOLÓGICAS DE CONCRETOS TRADICIONAIS TP-R

A (Figura 20) apresenta as imagens mais comuns de micro imagens das estruturas morfológicas obtidas através do método de MEV com magnificação de 3.000, 6.000 e 12.000 vezes, respectivamente das amostras do traço padrão reproduzido (TP-R), a qual contém água potável em sua composição, nos 7º e 28º dias de cura. Ao 7º dia de hidratação o material apresenta as partículas dispersas de diferentes morfologias e tamanhos (entre 0,5 e 30 μm) e configuração com vários diâmetros e tamanhos de agulhas ligadas entre si, assim como poros de diferentes tamanhos e configurações. Somente nas grandes magnificações (6.000 e 12.000 vezes) é possível observar a existência dos campos das partículas relativamente ligados entre si.

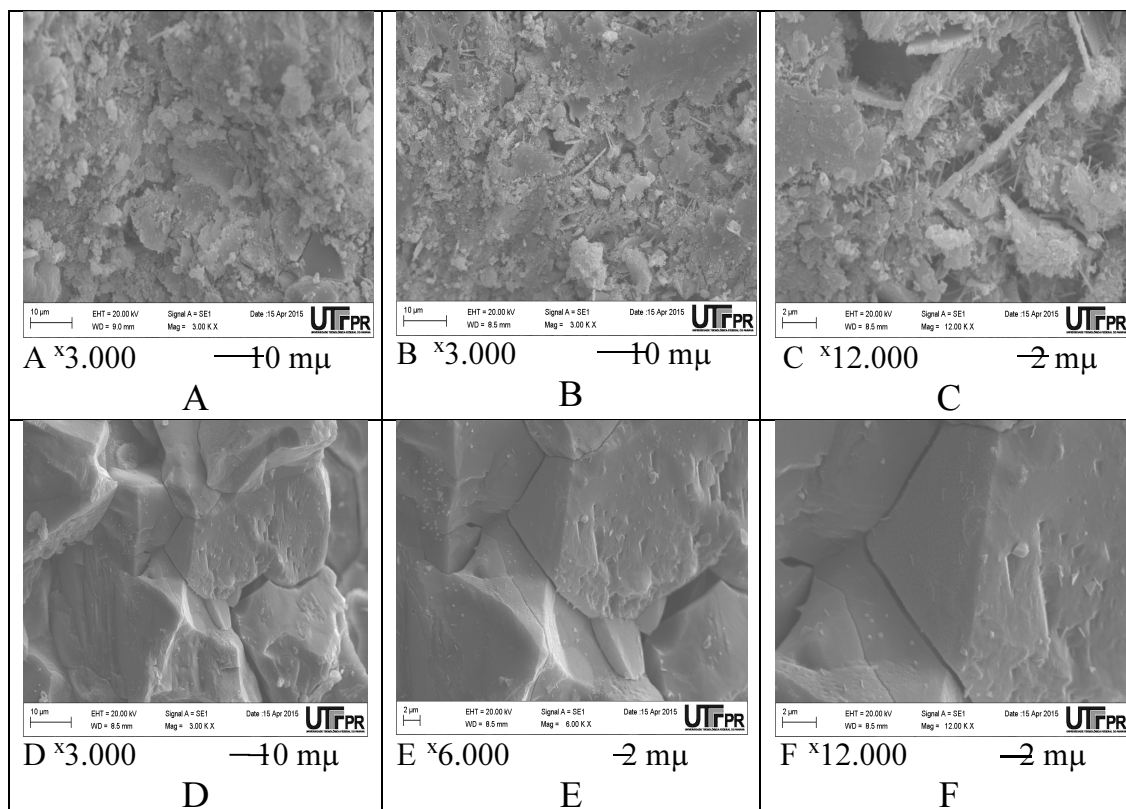


Figura 20 - Micro imagens das estruturas morfológicas das amostras de TPR nos 7° (A, B e C) e 28° (D, E e F) dias de cura.
Fonte: O autor, 2015.

Pode-se observar que as estruturas com mesmos números de magnificação das amostras de mesma composição após o 28° dia de cura são diferentes. Toda a morfologia das amostras é representada por uns grandes blocos monolíticos lisos e densos de aproximadamente tamanhos iguais entre 20 e 50 μm , com poucas fendas visíveis na interface entre eles. As faces destes blocos são praticamente lisas com pequenas amolgadelas e elevações. As partículas ainda demonstram algumas fissuras e diferentes contornos.

5.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS NOVAS FORMAÇÕES DAS AMOSTRAS DO TRAÇO PADRÃO REPRODUZIDO (TP-R)

As amostras de TP-R pesquisadas nos 7° e 28° dias de cura (Figura 21) pelo método de *Energy Dispersive System* (EDS) com magnificação de 5.000 vezes, o qual mostra um nível de heterogeneidade de composição microquímica em cada ponto de análise. Os teores de cada elemento químico em pontos próximos um do outro são diferentes. Como exemplo: os pontos 1 e 2 da (Figura 21 – A) apresentam teores de Si 9,10 e 17,45%, de Ca 83,77 e 74,13%. A variedade de números testemunham sobre a estrutura amorfa de novas formações

responsáveis por todas as propriedades mecânicas das amostras de TP-R, porque uma das mais importantes características das estruturas cristalinas é a constância de composição química em todos os pontos do corpo da estrutura cristalina.

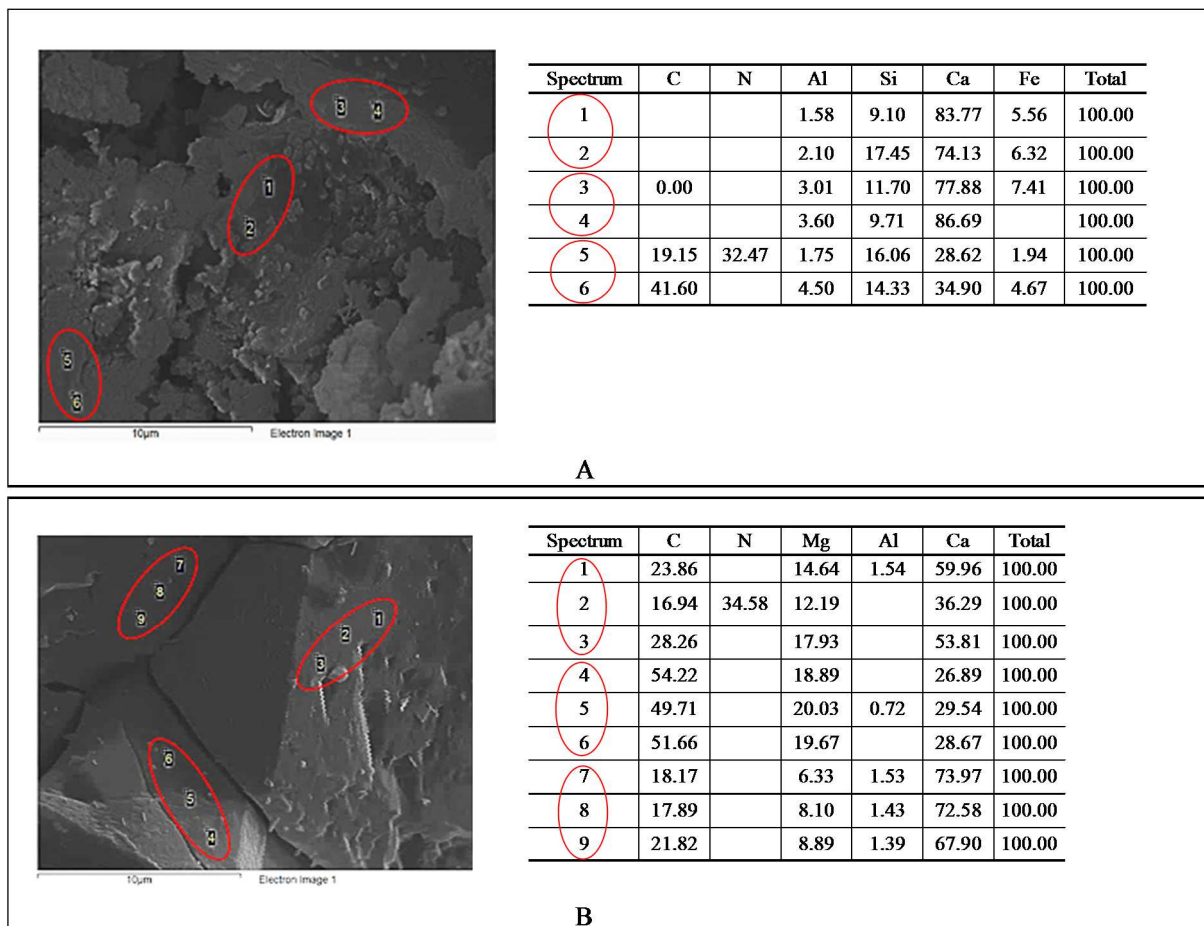


Figura 21 – Composição de novas formações das amostras TP-R por método EDS no 7° (A) e 28° (B) dias de cura.

Fonte: O autor, 2015.

A heterogeneidade dos espectros de EDS se repetem em todos os pontos de análise da composição micro química. Isso significa que com tempo de cura não apareceram nenhuma disposição ordenada dos elementos químicos na estrutura de concreto TP-R, não há qualquer aproximação da sua estrutura com a estrutura dos cristais.

5.4 PROCESSOS DE FORMAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETOS DE COMPOSIÇÃO A2

As mudanças de composição mineralógica das amostras de composição A2 foram determinadas e comparadas através do método DRX - difractogramas de raios x (Figura 22) após o 7° e 28° dias de cura (Tabela 56 e Tabela 57). As estruturas morfológicas foram pesquisadas através de MEV (Figura 22) com EDS (Figura 24).

5.5 MUDANÇAS DE COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA ATRAVÉS DE DRX

Comparando os difratogramas da (Figura 22) e (Tabela 58), nota-se significativa queda de intensidades de picos das estruturas cristalinas dos minerais microcline e albite ($2\theta=20,8 - 30,2 \text{ \AA}$) com completo desaparecimento dos picos de quartzo. Os picos de dolomite ($2\theta = 43,83 - 51,15 \text{ e } 65,19 \text{ \AA}$) e ettringite ($2\theta= 18,2 - 27,9 - 41,9 - 50,2 - 54,9 \text{ \AA}$), ao contrário, aumentaram sua intensidade. No DRX de 7° dia (Figura 22 - A) o pico mais alto ultrapassa a intensidade de nível de 3.500 contas/segundo; mesmo pico (Figura 22 - B) diminui até a intensidade de 2.000 contas/segundos. Mesmo pico aumenta visivelmente a largura em sua base por razão de síntese de nova quantidade de dolomite. Aumenta também a altura da maioria de picos cristalinos, o que significa o crescimento de quantidade e de nível de perfeição das estruturas cristalinas. O aumento de intensidade da dolomite acontece pela absorção do CO_2 do ar e com aumento de volume e perfeição da estrutura cristalina, o que aumenta a resistência à compressão. A rede cristalina de ettringite apresenta instabilidade devida a quantidade de moléculas de água, que pode aumentar durante de hidratação até 32 moléculas.

Conforme citado por Mymrin (1987), no mesmo tempo aumenta a altura de fundo da curva, que significa o crescimento de quantidade das substancias amorfas. As reações sol-gel apresentam um papel importante no crescimento das propriedades mecânicas influenciado pelos materiais amorfos.

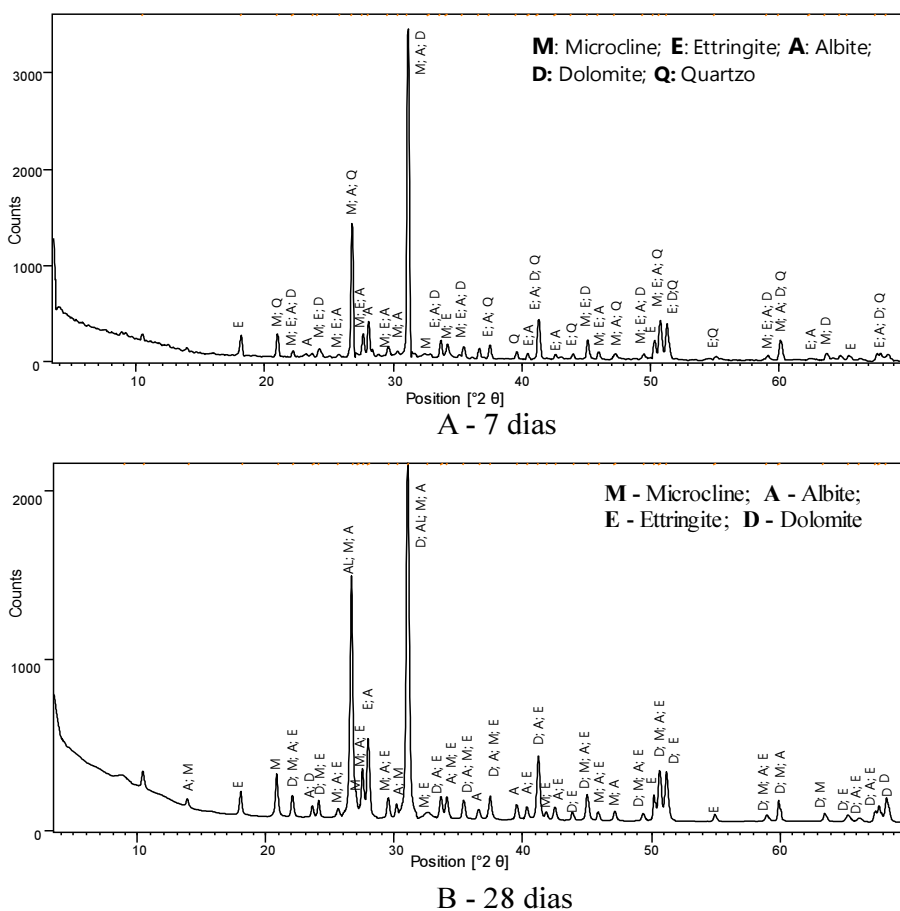


Figura 22 – Análise de DRX na amostra A2 nos 7° e 28° dias de cura
 Fonte: O autor, 2015.

Tabela 57 – Legenda de Figura 22 – análise de DRX na amostra A2 aos 7 e 28 dias

Código	Mineral	Fórmula	Sigla
000010705	Microcline	$KAlSi_3O_8$	M
010831466	Albite	$NaAlSi_3O_8$	A
000411451	Ettringite	$Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12}26H_2O$	E
000360426	Dolomite	$CaMg(CO_3)_2$	D
010832465	Quartzo	SiO_2	Q

Fonte: O autor, 2015.

A (Tabela 57) mostra o código utilizado na pesquisa, os minerais, fórmula química e a sigla utilizada no gráficos.

A análise de todas as mudanças de composição mineralógica de composição A2 durante 7 e 28 dias demonstra significativa semelhança com os processos determinados no composição TP-R. Uma das maiores diferenças entre eles é ausência dos picos cristalinos de portlandite no 7º dia de cura (Figura 22 - A), comparado com DRX de composição TP-R (Figura 19 - A). Todas as diferenças, inclusive esta, pode ser explicada pela substituição de 100% de água potável quimicamente neutra por água residual extremamente reativa com $pH = 13,66$ com maior teor de carbonatos e CO_2 . Por isso o processo de carbonização de portlandite $Ca(OH)_2$ em carbonatos (dolomite $CaMg(CO_3)_2$ e calcita $CaCO_3$, cristalinos e amorfos) pode acontecer mais rápido durante a cura até o 7º dia. O processo com água potável neutra usualmente acontece mais devagar. Pode-se comprovar isso através da escala de contas dos impulsos de DRX - de TP-R (Figura 19 - A) terminando no nível de 2.000 contas/segundo, enquanto a escala de contas dos impulsos de DRX – de A2 (Figura 22) terminando no nível de 3.500 contas/seg. (quase duas vezes maior). Como pode-se ver, a escala de contas é um indicador significativo de análise.

Tabela 58 – Mudança de composição mineralógica e de intensidades dos picos cristalinos de minerais das amostras A2 no 7° e 28° dias de cura (método de DRX).

2 θ °	B – 7° dia			E – 28° dia	
	d, Å	I, %	Minerais	I, %	Minerais
18	4,9	5,9	E	6,3	E
20,8	4,3	9,3	Q; M	4,8	M
22	4	1,9	D; M; E; A	6	D; M; A; E
23,5	3,8	1,2	A	3,1	A, D
24,1	3,7	2,4	M; E; D	4,8	D; M; E
25,6	3,5	0,9	M; E; A	2,5	M; A; E
26,6	3,3	39,3	M; A; Q	66,9	M; A; E
27,5	3,24	7,3	M; E; A	13,1	M; A; E
27,9	3,2	10,8	A	21,7	A; E
29,5	3,03	3,5	M; E; A	5,8	A; M; E
30,2	2,96	4	M; A	1,2	A; M
31	2,89	100	M; A; D	100	D; A; M
32,5	2,75	1	M	1,7	M; E
33,6	2,67	5,5	D; E; A	6,4	D; A; E
34,1	2,63	4,3	A; M; E	6,3	A; M; E
35,4	2,54	3,6	D; E; A; Q	5,5	D; M; A; E
36,6	2,46	3,2	A; D	3	A; D
37,4	2,4	4,2	E; A; Q	6,8	D; A; M; E
39,5	2,28	2,2	Q		
40,37	2,23	1,6	E; A	3,9	A; M; E
41,21	2,19	12,1	E; A; D; Q	19,1	D; A; E
41,90				2,1	M; E
42,5	2,13	1,5	E; A	4	A; E
43,83	2,07	1,7	E	2,7	D; E
45,01	2,01	6	M; E	8,1	D; M; A; E
45,86	1,979	2,3	M; E; A	3,1	M; A; E
47,16	1,927	1,8	M; A	3	M; A
49,36	1,846	1,8	M; E; A; D	2,5	D; M; A; E
50,2	1,817	5,9	E	9,2	E
50,62	1,803	12,1	D; M; E; A	15,6	D; M; A; E
51,15	1,786	11,1	E; D; Q	15,3	D; E
54,94	1,671	1,1	E; Q	2,3	E
58,95	1,567	1,6	M; E; A; D	2,1	D; M; A; E
59,92	1,544	5,9	M; A; D; Q	7,7	D; M; A
63,46	1,466	2	M; D	2,8	D; M
65,19	1,431	1,6	E	2,1	D; E
67,39	1,39	2	E; A; D; Q	2,9	D; A; E
67,90				5	D; A
68,31	1,372	1,9	D	6,3	D

Fonte: O autor, 2015.

Comparando as difratogramas de (Figura 22) e (Tabela 58), nota-se significativa queda de intensidades de picos das estruturas cristalinas dos minerais microcline e albite ($2\theta=20,8$ e $30,2 \text{ \AA}$) além do completo desaparecimento dos picos de quartzo. Os picos de dolomite ($2\theta^\circ = 43,83 - 51,15$ e $65,19 \text{ \AA}$) e ettringite ($2\theta^\circ = 18,2 - 27,9 - 41,9 - 50,2 - 54,9 \text{ \AA}$), em contrário, aumentam sua intensidade. No DRX do 7º dia conforme (Figura 22 – A), o pico mais alto ultrapassa a intensidade do nível de 3.500 contas/segundo; mesmo pico ao 28º dia conforme (Figura 22 – B) diminui até intensidade de 2.000 contas/segundo. O mesmo pico da (Figura 22 – B) aumentou a largura em sua base por razão de síntese de nova quantidade de dolomite. Aumentou também a altura da maioria de picos cristalinos, o que significa o crescimento de quantidade e de nível de perfeição das estruturas cristalinas. O aumento de intensidade da dolomite acontece pela absorção do CO_2 do ar. Com aumento de volume e perfeição da estrutura cristalina aumenta a resistência à compressão. A rede cristalina de ettringite apresenta instabilidade devida a quantidade de moléculas de água, que pode aumentar durante a hidratação em até 32 moléculas, conforme pode-se ver através da fórmula molecular ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}26\text{H}_2\text{O}$).

5.6 MUDANÇAS DE ESTRUTURA MORFOLÓGICA ATRAVÉS DE MEV

A Figura 23 mostra a estrutura morfológica da amostra A2.

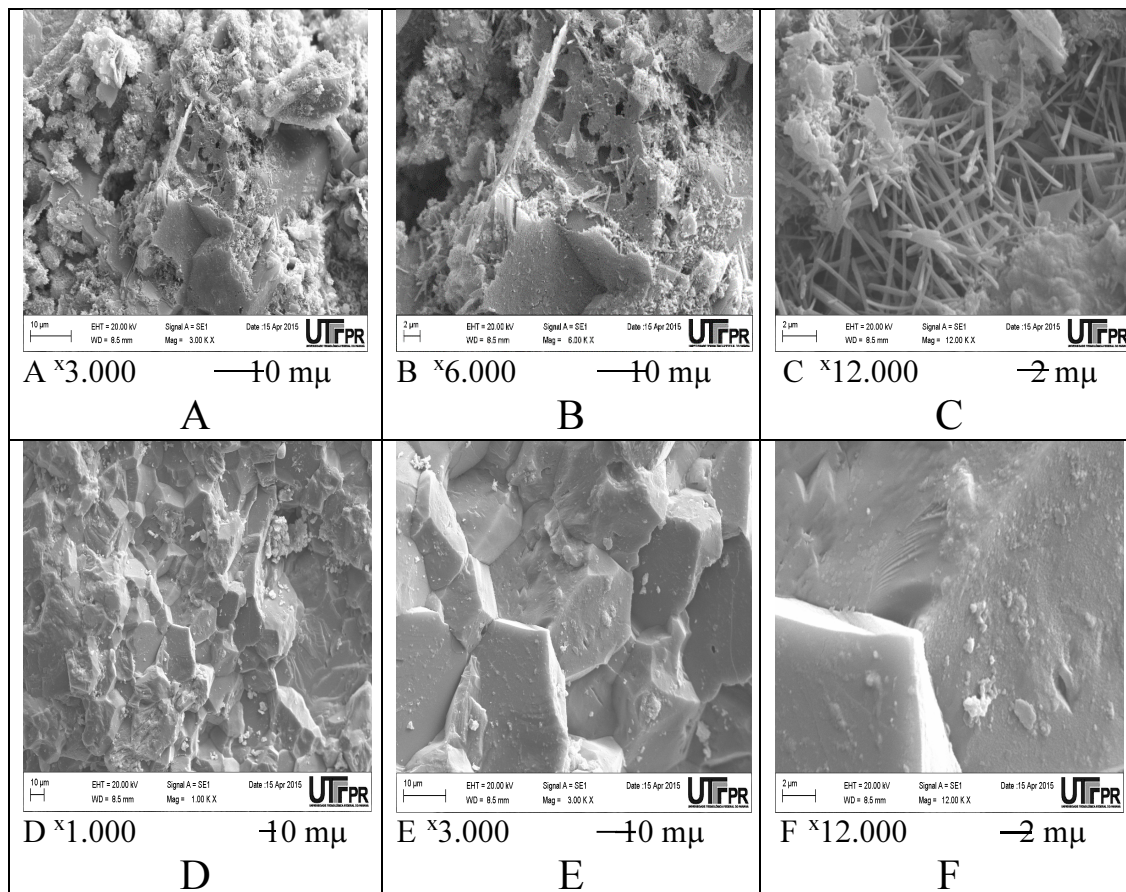


Figura 23 – Micro imagens das estruturas morfológicas das amostras de comp. A-2 nos 7° (A, B e C) e 28° (D, E e F) dias de cura.

Fonte: O autor, 2015.

O estudo de estruturas morfológicas da amostra A2 no 7° e 28° dias de cura (Figura 23) através de método MEV com magnificação de 1.000, 3.000, 6.000 e 12.000 vezes demonstra a presença das formações das partículas de diferentes tamanhos e configuração; entre eles é visível a quantidade de formas parecidas a drusas (várias pontas de cristais que compartilham a mesma base) de cristais agulhados com diâmetro entre 0,01 e 0,1 μm e comprimento até 30 μm . No 28° dia de cura eles desaparecem completamente (Figura 23 - B), substituído por grandes blocos, completamente iguais às amostras de TP-R no 28° dia de cura (Figura 20 - B). A estrutura deles é muito densa, com pequena quantidade de fissuras. Os tamanhos de partículas no 28° dia de cura variam entre 10 e 30 μm .

5.7 COMPOSIÇÃO MICROQUÍMICA DE NOVAS FORMAÇÕES ATRAVÉS DE EDS – ENERGY DISPERSIVE SYSTEM

A Figura 24 mostra a composição micro química através de EDS na amostra A2.

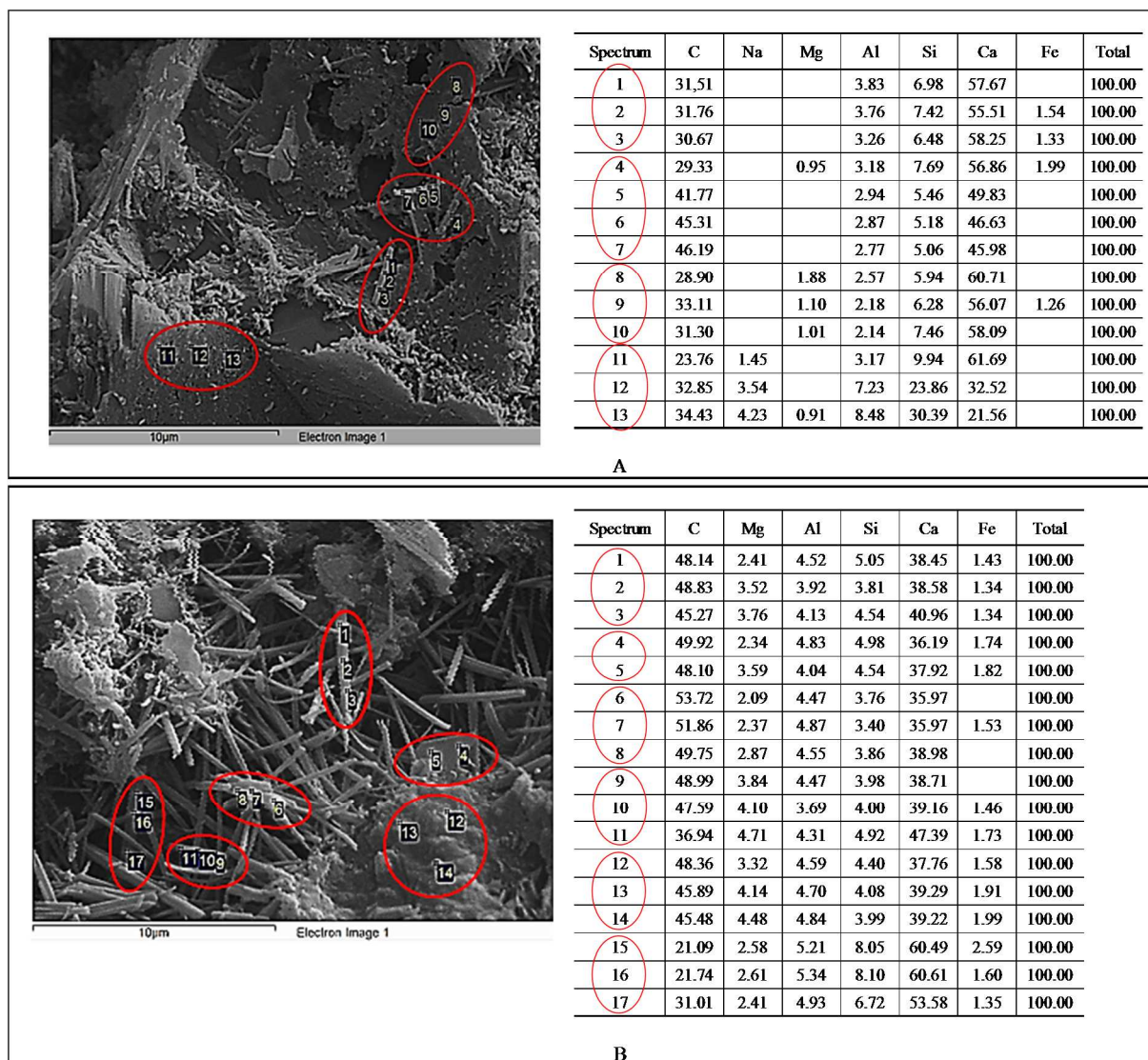


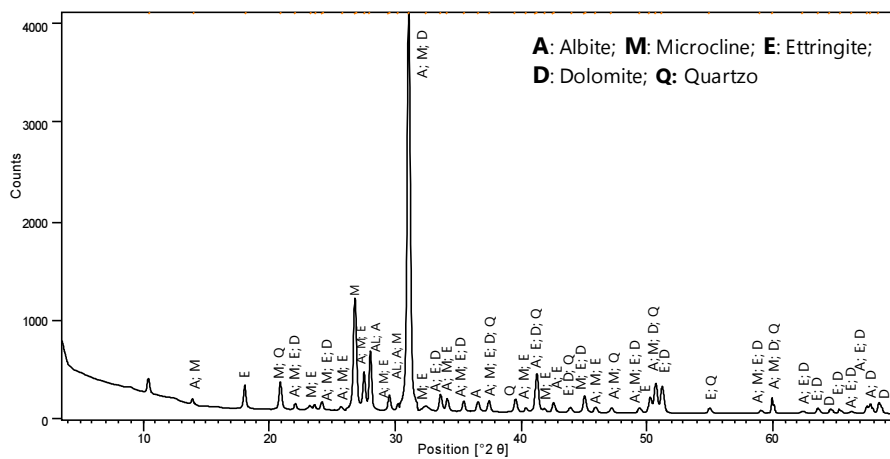
Figura 24 - EDS da amostra A2 7 e 28 dias
Fonte: O autor, 2015.

A amostra A2 no 7º e 28º dia de cura foi estudado através do método EDS (Figura 24) demonstra grande nível de heterogeneidade entre eles, como foi determinado nas amostras de TP-R (Figura 21). As partículas agulhosas são muito parecidas aos cristais encontrados na (Figura 23 – A) e estudados pelo método de EDS (Figura 24), o que demonstram falta de estabilidade das composições químicas, característico para estruturas cristalinas. Isso significa que a natureza deles é amórfica, apesar de ser semelhante as formas cristalinas.

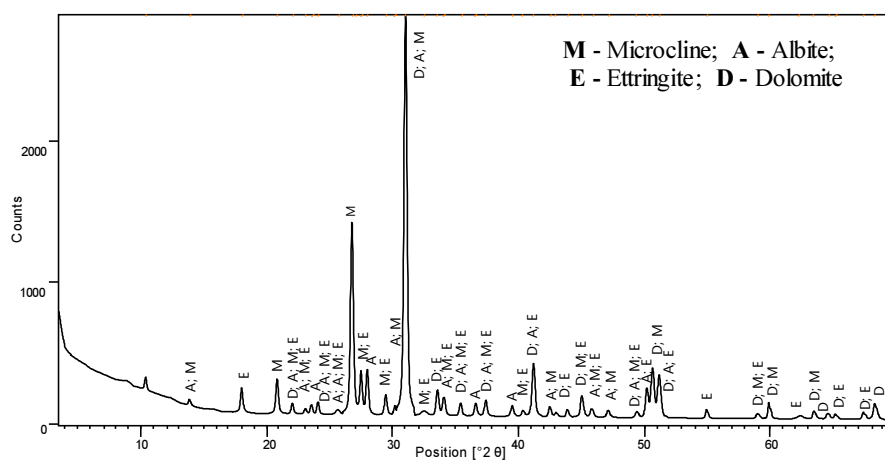
5.8 PROCESSOS DE FORMAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETOS DE COMPOSIÇÃO A6

As mudanças de composição mineralógica das amostras de composição A6 foram determinadas, comparando as posições e intensidades dos picos de DRX da amostra A6 aos 7° e 28° dias de cura (Figura 25), (Tabela 59) e (Tabela 60). As principais diferenças entre difratogramas das amostras A6 de 7° dia de cura (Figura 25 - página 112 - A) e da amostra TP-R (Figura 19 - página 98 - A) são ausência de picos de portlandite e maior intensidade de todos os picos de A6. Por isso a escala de intensidade prevalece no valor de 4.000 contas/segundos, em comparação com 2.000 contas/segundos no DRX de TP-R ou 3.500 contas/segundos no DRX da amostra A2.

Para os outros processos as mudanças de intensidades e posições dos picos acontecem aproximadamente igual: desaparecimento dos picos de quartzo, único pico sem coincidências com picos de outros minerais ($2\theta = 39,5 \text{ \AA}$), diminuição de picos de microcline ($2\theta = 20,8 \text{ \AA}$) e albite ($2\theta = 23,5 - 28,0 - 36,5 \text{ \AA}$) com crescimento de intensidades dos picos de dolomite ($2\theta = 64,52 \text{ \AA}$) e ettringite ($2\theta = 18,0 - 54,92 - 62,28 \text{ \AA}$).



A - 7 dias



B - 28 dias

Figura 25 - Composições mineralógica da amostra A6 no 7º e 28º dias de cura
 Fonte: O autor, 2015.

Tabela 59 - Legenda das difratogramas da Figura 25

Código	Mineral	Fórmula	Sigla
000010705	Microcline	KAlSi_3O_8	M
010831466	Albite	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	A
000411451	Ettringite	$\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}26\text{H}_2\text{O}$	E
000360426	Dolomite	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	D
010832465	Quartzo	SiO_2	Q

Fonte: O autor, 2015.

Tabela 60 - Tabela DRX das amostras A6 no 7º e 28º dias de cura.

20°	C A6 7 dias			F A6 28 dias		
	d, Å	I, %	Minerais	d, Å	I, %	Minerais
13,9	6,39	2,3	A M	6,38	1	A M
18	4,93	5,7	E	4,92	6	E
20,8	4,26	6,8	M Q	4,27	3,4	M
22	4,04	1,6	A M E D	4,04	2,7	D A M E
23,1	3,84	1	A M E	3,86	1,3	A M E
23,5	3,78	2,3	A	3,78	1,1	A
24,1	3,69	2,1	A M E D	3,7	3,1	D A M E
25,6	3,48	0,9	A M C E	3,48	1,1	A M E
26,7	3,33	27,5	M Q D	3,33	47,5	M D
27,5	3,25	9,2	A M E	3,25	10,3	A M E
28	3,19	15	A	3,19	11,2	A
29,5	3,03	4	A M E	3,04	5,1	A M E
30,2	2,96	1,8	A M	2,96	1,1	A M
31	2,88	100	A M D	2,88	100	D A M
33,6	2,67	4,3	E D	2,67	6,6	D A E
34,1	2,63	3,1	A M E	2,63	4,6	M E
35,41	2,53	2,8	A M E D	2,53	3,4	D A M E
36,55	2,46	2,6	A	2,45	1,2	A
37,42	2,4	2,9	M E D Q	2,4	4,2	D M E
39,53	2,28	2,5	Q			
40,34	2,24	1,4	A M E	2,23	1,7	A M E
41,21	2,19	10,2	A E D Q	2,19	13,9	D A L A E
42,54	2,13	2,6	A E	2,13	2,8	A E
43,86	2,06	1,3	E D Q	2,06	2,1	D E
45	2,01	4,5	M E D	2,01	5,8	D M E
45,86	1,98	1,6	A M E D	1,98	2,3	A M E
47,13	1,93	1,4	A M Q	1,93	2	A M
49,35	1,85	1,5	A M E D	1,85	1,7	D A M E
50,2	1,82	4,3	A E	1,82	8,3	A E
50,64	1,8	8,3	A M D	1,8	13,5	D A M
51,16	1,79	7,5	A E D Q	1,79	11,7	D E
54,92	1,67	1,6	E Q	1,67	2,8	E
58,97	1,57	0,9	M E D	1,57	1,5	D M E
59,9	1,54	5,2	M D Q	1,54	5,4	D M
62,28	1,49	0,6	E D	1,49	0,7	E
63,5	1,47	1,7	E D	1,47	2,6	D M
64,52	1,44	1,4	D	1,44	1,8	D
65,22	1,43	1,4	E D	1,43	1,6	D E
67,41	1,39	1,7	E D	1,39	2,5	D E
68,37	1,37	2,6	D Q	1,37	3,7	D

Fonte: O autor, 2015.

Comparando as amostras A6 7º dia com A6 28º dia, da (Tabela 60), nota-se que a maioria das intensidades crescem devido a hidratação e perfeição das estruturas cristalinas desses minerais em ambiente alcalino (pH= 13,66).

5.9 ESTRUTURAS MORFOLÓGICAS DA AMOSTRA DE COMPOSIÇÃO A6 - 7 E 28 DIAS DE IDADE

A comparação das amostras da composição A6 no 7º e 28º dias (Figura 26) pelo método MEV com magnificações de 3.000, 6.000 e 12.000 vezes mostram completas mudanças que acontecem durante os 28 dias de cura. A amostra A6 aos 7 dias de cura (Figura 26 - A, B e C) apresenta variações de morfologia, diferentes tamanhos de partículas como (10 – 20 μm), diferentes superfícies, grandes pedaços de partículas em desconformidade, lâminas, redes das agulhas de vários diâmetros e comprimentos e etc. A amostra têm alta porosidade com canais de diferentes tamanhos e desconformidade entre partículas sólidas.

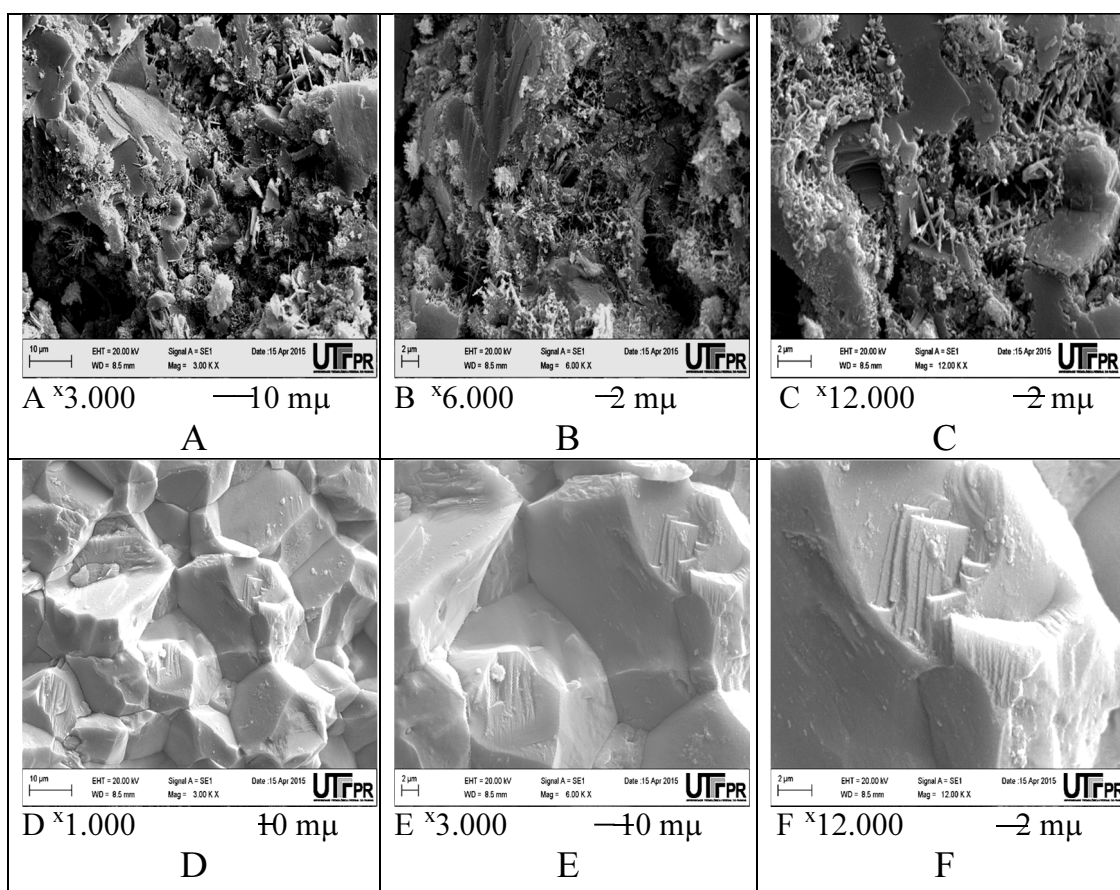


Figura 26 - Micro imagens das estruturas morfológicas da amostra A6 no 7º (A, B e C) e 28º (D, E e F) dias de cura.

Fonte: O autor, 2015.

Depois de 28 dias de cura (Figura 26 - D, E e F) a morfologia da amostra de mesma composição A6 apresenta um conglomerado de grandes (20 – 50 μm) blocos quimicamente ligados, praticamente sem fissuras e poros entre as mesmas. Na superfície de alguns blocos estão visíveis as formas, em cristal químico geralmente chamado de “vicinais do crescimento” dos cristais.

5.10 COMPOSIÇÃO MICROQUÍMICA DAS NOVAS FORMAÇÕES DA AMOSTRAS DE COMPOSIÇÃO A6

A origem de novas formações cristalinas (Figura 27 - A) pelo método EDS, explica as propriedades mecânicas do concreto, os quais se mostraram limitados em sua composição química, apenas três elementos químicos – C, Mg e Ca. As discordância dos valores destes elementos nos pontos duplos e triplos da (Figura 27) não permitem considerar eles como cristais, pois há grandes distorções nas redes cristalinas.

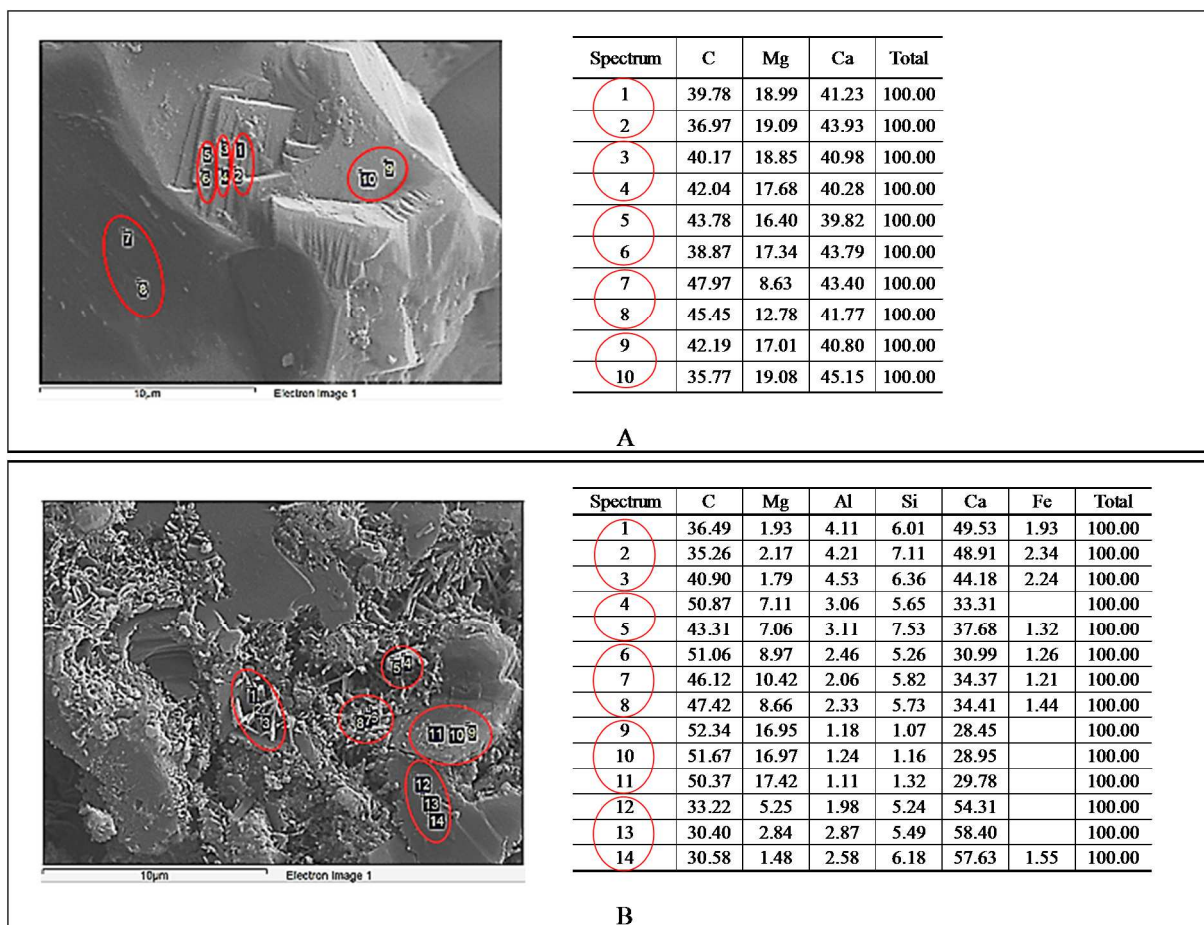


Figura 27 - EDS da amostra A6 7 e 28 dias
Fonte: O autor, 2015.

Em resumo, conforme mostrado na (Figura 25), (Figura 26) e (Figura 27) nenhum ponto apresenta similaridade entre eles, ou seja, são materiais amorfos. Para ser cristalino, os pontos de cada elemento, devem apresentar similaridades entre eles. O carbono aparece em maior proporção devido à presença de carbonatos e fumaças de queima do material orgânico, assim como o próprio material orgânico já queimado.

6. CONCLUSÕES

Com relação à resistência à compressão do concreto preparado a partir do reuso da água e resíduo da lavagem dos caminhões betoneiras, a partir de um traço padrão de concreto usinado de 30 MPa, concluiu-se que a água de lavagem não afeta a resistência à compressão do concreto e os resíduos de lavagem, se utilizados na dosagem certa, também não afetam a resistência à compressão.

A caracterização dos agregados foi realizada e utilizada nas amostras deste trabalho e constatou-se que foram adequadas ao bom resultado.

A água e os resíduos da lavagem dos caminhões betoneiras foram caracterizados e nem um elemento químico foi encontrado que pudesse comprometer a resistência à compressão do concreto. Os minerais caracterizados nos resíduos de lavagem são iguais aos encontrados no cimento.

A resistência à compressão das amostras de concreto deste trabalho foram analisadas e conclui-se que as amostras que não atingiram resistência superior a 90% da amostra controle foram aquelas que continham 90% de cimento ou excesso de água nos resíduos de lavagem.

No que concerne a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, concluiu-se que as amostras não apresentaram trabalhabilidade, pois o abatimento foi mantido fixo.

No que diz respeito a viabilidade econômica referente a substituição da água e dos resíduos provenientes da lavagem dos caminhões betoneiras, findou-se que entre as amostras estudadas, duas delas expressam economia na quantidade de cimento, água e resíduos de lavagem.

O trabalho foi finalizado com êxito em relação aos objetivos propostos, todavia, recomenda-se como sugestão para trabalhos futuros, refazer os ensaios com materiais e composições diferentes.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C143-05a**: Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 2005, <<http://www.astm.org>>.

_____. **ASTM C125**: Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1993, <<http://www.astm.org>>.

_____. **ASTM C143**: Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete. Philadelphia. American Society for Testing and Materials, 2002, <<http://www.astm.org>>.

_____. **ASTM C150/C150M**: Standard Specification for Portland Cement. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 2009, <<http://www.astm.org>>.

_____. **ASTM C494/C494M-05a**: Historical Standard: Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 2005, <<http://www.astm.org>>.

_____. **ASTM C94/2004**: Standard Specification for Ready-Mix Concrete. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials, 2004, <<http://www.astm.org>>.

_____. **ASTM C94/C94M-03a**: Standard specification for Ready-Mixed Concrete. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1998, <<http://www.astm.org>>.

_____. **ASTM C94**: Standard Specification for Ready-mixed Concrete. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 2002, <<http://www.astm.org>>.

_____. **ASTM C94**: Standard Specification for Ready-mixed Concrete. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1992, <<http://www.astm.org>>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – preparo, controle e recebimento – procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 5732**: Cimento Portland Comum. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5736**: Cimento Portland Pozolânico. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5737**: Cimentos Portland resistentes a sulfatos. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 5738:** Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739:** Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7211:** Agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7212:** Execução de concreto dosado em central. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7218:** Agregados – determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 9479:** Argamassa e concreto – câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 23:** Cimento Portland e outros materiais em pó – determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR NM 248:** Agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 46:** Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 53:** Agregado graúdo – determinação da massa específica, massa aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 67:** Concreto – Determinação de consistência pelo abatimento do tronco cone. Rio de Janeiro, 1998.

ALBERS, A.P.F. *et al.* Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X. **Cerâmica** 48: 305. São Paulo, 2002.

ANGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHM, V.M. Materiais reciclados e suas aplicações. In: IV SEMINÁRIO: DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL. **IBRACON** - Instituto Brasileiro do Concreto. Comitê Técnico CT 206 - Meio Ambiente. Anais. P.43-56, São Paulo-SP, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM. **ABESC**. São Paulo. 2011. Disponível no site: <<http://www.abesc.org.br>>. Acesso em: 27 mai. 2011.

BARBOSA, P. G. José *et al.* A implantação do SASSMAQ (Sistema de avaliação em saúde, segurança, meio ambiente e qualidade) em empresas de transporte de produtos perigosos: dificuldades enfrentadas e soluções encontradas. **Revista P&D Engenharia de Produção**. V.07 n°. 02, p.01-21, 2009.

BASF, The Chemical Company. **AEH – aditivo estabilizador de hidratação**. Disponível no site: <<http://www.master-builders-solutions.basf.com.br>>. Acesso em: 19 dez. 2014.

BENINI, Ribeiro H.; CINCOTTO, Alba M.; REPETTE, W. **Reaproveitamento de Concreto fresco dosado em central com o uso de aditivo estabilizador de hidratação**. São Paulo: EPUSP, 2007.

BETONMAC. **Modelo de reciclador industrial**. Disponível no site: www.betonmac.com. Acesso em: 12 dez. 2014.

BRASIL. Boletim Regional do Banco Central do Brasil. **A Expansão da Construção Civil e os Efeitos da Crise Internacional**. 2009.

BRASIL. Lei nº. 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Ministério do Meio Ambiente. Poder Executivo, Brasília, DF, 02 dez. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº. 307, de 05 de julho de 2002. Dispõe sobre a Gestão de resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasil, D.F., 17 de julho de 2002.

_____. _____. Resolução nº. 448, de 18 de janeiro de 2012. Dispõe sobre a alteração dos arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil nº 14**. Brasil, D.F., 19 de janeiro de 2012.

BREGA, Filho D.; MANCUSO, P. C. S. Conceito de reúso da água. São Paulo: Universidade de São Paulo - Faculdade de Saúde Pública, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – **ABES**, 2002.

BRITISH STANDARDS. **BS 1377, parte 2**: Methods of test for soils for civil engineering purposes. Classification tests. BSI, London, 1991, <http://bsigroup.com>.

BRITISH STANDARDS. **BS 812**: Testing of aggregates part 2: method of determination of density. BSI, London, 1995, <http://bsigroup.com>.

CALLISTER, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 7º edição. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CASTRO, A. L.; PANDOLFELLI, V. C. **Revisão: conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil**. Cerâmica v. 5 nº. 333, São Paulo Jan./Mar. 2009.

CHATVEERA, B.; LERTWATTANARUK, P.; MAKUL, N. Effect of Sludge Water from Ready-mixed Concrete Plant on Properties and Durability of Concrete Cement and Concrete Composites. **Elsevier**, v. 28, n. 5, p. 441-450, 2006.

DE SCHUTTER, G.; POPPE, M. P. Quantification of the water demand of sand in mortar. **Construction and Building Materials** 18 (2004) 517-521.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 1008**: Zugabewasser für Beton – Festlegung für die Probenahme, Prüfung und Beurteilung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendem Wasser, als Zugabewasser für Beton; Deutsche Fassung, 2002, <<http://din.com>>.

DUARTE, C. Lauren *et al.* **Aplicações de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e sistema de energia dispersiva (EDS) no estudo de gemas: exemplos brasileiros.** Pesquisas em Geociências, 30(2): 3-15. ISSN 1518-2398. Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, RS, 2003.

DYER, Thomas. **Durabilidade do concreto.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2015.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1008:** Mixing water for concrete – specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2002, <http://www.cen.eu>.

FENNIS-HUIJBEN, S.A.A.M. **Design of Ecological Concrete by Particle Packing Optimization.** 2003. 277 f. Thesis (Doctor in civil engineering), Delft University of Technology, Netherlands, 2011.

FIALHO, *et al.* ASPECTOS ECONÔMICOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 11, 2014. Maceió. **Anais...ENTAC**, 2014.

FUNG, W. W. S.; KWAN, A. K. H.; WONG, H. H. C. Wet packing of crushed rock fine aggregate. **Materials and Structures**, 2009. 42:631–643. DOI 10.1617/s11527-008-9409-3. GONÇALVES, J. P. *et al.* Comparison of natural and manufactured fine aggregates in cement mortars. In: **Cement and Concrete Research**. 37, 2007, p. 924–932.

HELLENIC ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ELOT:** Water for mixing and curing of concrete. Hellenic Standard ELOT 345, ELOT, Athens, 1977, <<http://www.elot.gr>>.

ITAMBÉ, Cia de Cimento. **Relatório de ensaio de cimento**, 2014. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br>>. Acesso em: 22 dez. 2014.

JAPAN INDUSTRIAL STANDARTS. **JIS 5308:** Ready Mixed Concrete. 1989, <<http://www.jisc.go.jp>>.

JEFFREY J. Thomas; HAMLIN M. Jennings. A colloidal interpretation of chemical aging of the C-S-H gel and its effects on the properties of cement paste j. **Cement and Concrete Research** 36, 1, 2006, 30-38. DOI:10.1016/j.cemconres.2004.10.022.

JOHN, V.M. Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção. In: CASSA, J.C.S. *et al.* (Org): RECICLAGEM DE ENTULHO PARA A PRODUÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO: PROJETO ENTULHO BOM. **EDUFBA** - Caixa Econômica Federal, Salvador, 2001.

JOHN, Vanderley M. Panorâmica sobre a reciclagem de resíduos na construção civil. In: II SEMINÁRIO - DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL. **IBRACON** - Instituto Brasileiro do Concreto. Comitê Técnico CT 206-Meio Ambiente. Anais. São Paulo, 1999.

JOHN, Vanderley M. **Reciclagem de resíduos na construção civil - contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** 2000. 113 f. Tese (livre docência) - Escola

Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo - SP, 2000.

JOHN, Vanderley M.; ÂNGULO, Sirelli C. Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos. **COLETÂNEA HABITARE** - vol. 4. [200-?]. Disponível em: <<http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/126.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2014.

KULAKOWSKI, M.; GUERREIRO, M.; GONZÁLEZ, M. Viabilidad de utilización de aditivo estabilizador de hidratación (AEH) para el reciclaje del hormigón en estado fresco – Estudio de caso en el sur de Brasil. **Revista de la Construcción**, volumen 11 N. 3 – 2012.

KWAN, A. K. H.; FUNG, W. W. S.; WONG, H. H. C. Water film thickness, flowability and rheology of cement–sand mortar. Department of Civil Engineering, The University of Hong Kong: **Advances in Cement Research**, 22, No. 1, January, 3–14, 2010. DOI: 10.1680/adcr.2008.22.1.3.

KWAN, A. K. H.; NG, P. L.; HUEN, K. Y. Effects of fines content on packing density of fine aggregate in concrete. In.: **Construction and Building Materials** 61, 2014, p. 270–277.

KWAN, Albert K. H.; WONG, Henry H. C. Packing density of cementitious materials: Part 2 —packing and flow of OPC + PFA + CSF, **Mater. Struct.** 41 (4), 2008, p.773–784. DOI 10.1617/s11527-007-9281-6.

LARRARD, François de. **Concrete Mixture Proportioning: a Scientific Approach**, I&FN SPON, 1999.

LI, L. G.; KWAN, A. K. H. Packing density of concrete mix under dry and wet conditions. **Powder Technology**. 253, 2014, p.514–521.

LIMNOBRAS, laboratório. **Laboratório de análise físico – química**. Curitiba, 2015.

LOW, G.L. *et al.* Use of recycled cement-based slurry water for making concrete. **Journal - The Institution of Engineers, Malaysia**, Vol. 68, N°.4, December 2007).

MARQUES FILHO, José; FREITAS JR. A. José; COSTA, M.M. Marianne. **A estrutura do concreto** - Setor de Tecnologia - Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, 2005.

MARQUES FILHO, José; FREITAS JR. A. José; COSTA, M.M. Marianne. **Propriedades do concreto fresco e endurecido** - Setor de Tecnologia - Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, 2005.

MEHTA, Kumar P.; MONTEIRO, Paulo J. M. **CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

MOSTOFINEJAD, D.; REISI, M. A new DEM-based method to predict packing density of coarse aggregates considering their grading and shapes. **Construction and Building Materials** 35, 2012, p. 414–420.

MYMRIN, V.A. *Et al.* **Microstructure and mechanical properties of cementless construction materials from thermal engineering wastes.** J. Applied Thermal Engineering, ISSN 13594311, v. 81, p. 185-192. DOI:10.1016/j.appltherma leng. 2015.

MYMRIN, V.A. **Theoretical bases of clay soils strengthening by dump ferrous slags for road base construction.** 1987. 528p. Tese (Doutorado), Moscow.

MYMRIN, V.A.; WALTRICK, C.; CERRI, J. A. **Mechanical strength and analyses of new construction materials on the base of plaster waste and Debris.** Archiv EuroEco, ISSN 2193-3731, 2012, v.2, n° 1.

NAZARI, Ali (autor correspondente) *et al.* An investigation on the Strength and workability of cement based concrete performance by using ZrO₂ nanoparticles. **Journal of American Science:** Department of Technical and Engineering Sciences, Islamic Azad University (Saveh Branch), Felestin Sq., Saveh, Islamic Republic of Iran. 2010, 6 (4).

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto.** 2°. ed. Porto Alegre: Brookman, 2013.

NUNES, S.C.B. **Betão auto-compactável: tecnologia e propriedades.** 2001. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Estruturas de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto, Porto. 2001.

OLIVEIRA, Márcio Joaquim E. **Materiais Descartados pelas Obras de Construção Civil: Estudo dos resíduos de Concreto para Reciclagem.** 2002. 191p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, SP, 2002.

PAULA, H.M.; ILHA, M.S. Qualidade da água residuária de usina de concreto para fins de aproveitamento. **Revista IBRACON de estrutura e materiais.** V.7, n°3, 2014, p.349-366.

SANDROLINI, Franco; FRANZONI, Elisa. Waste wash water recycling in ready-mixed concrete plants. **Cement and Concrete Research,** 2001, 485±489.

SINDICATO DA CONSTRUÇÃO CIVIL DE MINAS GERAIS. **SINDUSCON-MG:** Panorama da situação dos ensaios e diagnóstico. Disponível em: <<http://www.sinduscon-mg.org.br/site/arquivos/up/geral/PanoramaSituacaoEnsaioDiagnostico.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2012.

SINDICATO DA CONSTRUÇÃO CIVIL DE SÃO PAULO. **SINDUSCON-SP:** Desempenho e perspectiva. Disponível em: <<http://www.sindusconsp.com.br/downloads/imprensa/2011/fiesp.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2012.

SU, N.; MIAO, Buquan; LIU, Shung F. Effect of wash water and underground water on properties of concrete. **Cement and Concrete Research** 32 (2002) 777–782.

TELLES, D. D.; COSTA, R. H. P. G. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas.** São Paulo: Editora Blucher, 2007.

THE BUREAU OF STANDARD. **CNS 13961**: Standard specification for mixing water of concrete. Department of Economic Affairs, Taiwan, 1998, <<http://www.cnsonline.com.tw>>.

TOLEDO, Rosane. **Técnicas fototérmicas e de raios-X para o monitoramento de sólidos e gases em materiais cerâmicos**. 2003. 303 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) –Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Materiais Avançados. Campos dos Goytacazes, 2003.

TSIMAS, S; ZERVAKI, M. Reuse of waste water from ready--mixed concrete plants. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 22, n. 1, p. 7–17. DOI 10.1108/14777831111098444, 2011.

UCKER, Ernesto F.; BARROSO, Bittencourt L.; LOPES, Pimenta I.M. Reuso da água da lavagem de caminhões em indústria concreteira. *Disciplinarum Scientia*. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 141-150, 2012.

WONG, H. H. C.; KWAN, A. K. H. Packing density of cementitious materials: Part 1— measurement using a wet packing method. **Materials and Structures**, 2008, 41:689–701.

TIPO / CLASSE : **CP II-F-32**

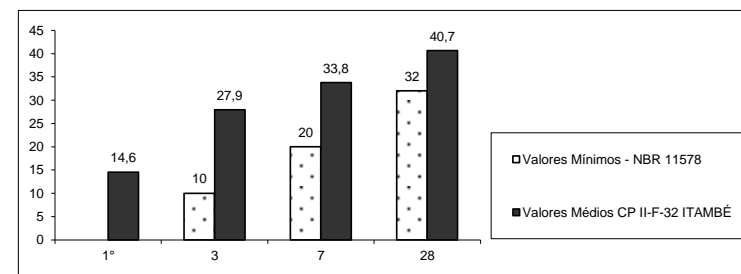
RELATÓRIO DE ENSAIOS DE CIMENTO

PERÍODO : nov/14

EMISSÃO : 15/12/14

Data	Químicos										Físicos										
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Perda Fogo	CaO Livre	Resíd. Insol.	Equiv. Alcal.	Exp. Quente	Tempo de Pega		Cons. Normal	Blaine	# 200	# 325	Resistência à Compressão			
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	mm	Início	Fim	%	cm ² /g	%	%	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	h : min	h : min	h : min	%	cm ² /g	%	%	MPa	MPa	MPa	MPa
03	4,11	18,05	2,57	60,53	4,21	2,77	4,05	0,79	1,47	0,59	0,50	03:10	04:00	26,2	3,090	3,20	14,50	15,1	27,1	33,1	40,6
05	4,18	17,93	2,61	60,01	4,41	2,73	4,88	0,70	1,26	0,55	0,00	03:05	03:45	26,5	2,990	2,70	13,90	12,9	25,8	33,1	40,2
07	4,14	18,14	2,55	60,17	4,25	2,71	4,78	0,79	0,84	0,57	0,00	03:10	04:00	26,7	3,130	2,50	13,60	14,6	28,2	33,4	40,5
11	4,12	18,04	2,57	60,98	4,49	2,77	4,97	0,93	0,72	0,56	0,00	03:10	04:00	26,8	3,150	2,70	14,80	14,1	27,5	33,1	41,2
13	4,13	17,95	2,54	60,29	4,37	2,79	4,81	0,84	0,85	0,57	0,50	03:10	04:00	27,0	3,160	3,30	12,70	13,8	27,1	32,6	41,0
17	4,16	17,98	2,56	60,11	4,31	2,81	4,60	1,07	0,93	0,59	0,50	03:10	04:00	27,2	3,140	2,60	14,50	14,1	27,3	33,0	-
19	4,07	17,89	2,53	60,02	4,23	2,82	5,05	0,84	0,83	0,57	0,00	03:00	03:30	26,7	3,250	2,60	14,20	14,1	27,7	34,0	-
21	4,22	18,18	2,61	60,96	4,01	2,87	4,85	0,95	1,18	0,59	0,50	03:00	03:30	26,7	3,370	1,60	11,10	14,6	28,9	35,2	-
25	4,18	18,33	2,62	61,23	3,49	2,79	4,87	1,12	0,87	0,60	0,00	02:45	03:15	26,9	3,460	1,80	12,90	16,6	29,8	35,0	-
27	4,25	18,53	2,63	61,71	3,53	2,85	4,93	1,12	0,94	0,61	1,00	03:10	04:00	27,2	3,530	1,81	13,40	15,9	30,0	35,3	-
Média	4,16	18,10	2,58	60,60	4,13	2,79	4,78	0,92	0,99	0,58	0,30	03:05	03:48	26,8	3,227	2,48	13,56	14,6	27,9	33,8	40,7
Sd	0,05	0,20	0,04	0,59	0,35	0,05	0,28	0,15	0,24	0,02	0,35	00:08	00:17	0,3	173,02	0,58	1,11	1,1	1,3	1,0	0,4
Min	4,07	17,89	2,53	60,01	3,49	2,71	4,05	0,70	0,72	0,55	0,00	02:45	03:15	26,2	2,990	1,60	11,10	12,9	25,8	32,6	40,2
Max	4,25	18,53	2,63	61,71	4,49	2,87	5,05	1,12	1,47	0,61	1,00	03:10	04:00	27,2	3,530	3,30	14,80	16,6	30,0	35,3	41,2

Obs.: A Norma da ABNT não prevê a determinação da Resistência à Compressão a um dia para o CP II-F-32.
A massa específica média do CP II-F-32 ITAMBÉ é 3,11 g/cm³ (NBR NM 23).
As datas do relatório se referem ao dia de expedição do cimento.



Parâmetros	CP II-F-32	CP II-Z-32	CP IV-32	CP V-ARI	CP V-ARI RS
Tempo de início de pega (horas)	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 1
MgO (%)	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 6,5
Perda ao fogo (%)	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,5	≤ 4,5	≤ 4,5
Resíduo insolúvel (%)	≤ 2,5	≤ 16,0	-	≤ 1,0	-
SO ₃ (%)	≤ 4,0	≤ 4,0	≤ 4,0	*	*
Resistência à Compressão (MPa)					
1 dia	-	-	-	≥ 14,0	≥ 11,0
3 dias	≥ 10,0	≥ 10,0	≥ 10,0	≥ 24,0	≥ 24,0
7 dias	≥ 20,0	≥ 20,0	≥ 20,0	≥ 34,0	≥ 34,0
28 dias	≥ 32,0	≥ 32,0	≥ 32,0	-	-
Adições Permitidas (%)					
Escória	0	0	0	0	**
Fíler calcário	6 a 10	0 a 10	0 a 5	0 a 5	0 a 5
Material pozolânico	0	6 a 14	15 a 50	0	**

* ≤ 3,5% para C₃A do clínquer ≤ 8,0% e ≤ 4,5% para C₃A do clínquer > 8,0%

** CP V-ARI RS admite adição de escória ou material pozolânico, porém a NBR 5737 (Cimentos Portland resistentes a sulfatos) não fixa limites.

MasterPolyheed® 32

Antigo Mastermix® BF 32

Aditivo Plastificante Polifuncional

Descrição do produto

Aditivo líquido para concreto, livre de cloretos e pronto para uso. Composto por substâncias que atuam como dispersantes do material aglomerante propiciando elevada redução de água sem alteração do tempo de pega do concreto. Atende os requisitos da norma Brasileira ABNT NBR 11768 (Tipo P) e ASTM C494 (Tipo A).

Indicado para regiões Norte e Nordeste do Brasil ou onde a temperatura ambiente seja elevada.

Campos de aplicação

Recomendado para todos os tipos de concreto quando se pretende maior plasticidade ou redução da água de amassamento e aumento do tempo de trabalhabilidade, tais como:

- Concretos usinados em geral (dosados em centrais, barragens, rodovias, etc);
- Concreto armado ou pré-fabricados;
- Concretos bombeados e fluidos;
- Concreto protendido;
- Concretos para reparação de superfícies de pontes;
- Concreto aparente.

Propriedades e benefícios

- Compatível com todos os tipos de cimento Portland;
- Concreto mais uniforme e com melhor qualidade;
- Aumento da coesão e redução da segregação;
- Incremento da manutenção de slump;
- Facilita o adensamento e lançamento;
- Facilita o bombeamento;
- Permite a redução do fator água/cimento
- Aditivo com características polifuncionais podendo ser dosado em uma ampla faixa, propiciando efeitos diferentes de acordo com a aplicação do concreto;
- Permite o incremento da resistência à compressão e flexão;
- Permite o aumento do módulo de elasticidade;
- Permite o aumento da durabilidade do concreto;
- Melhor acabamento do concreto endurecido;
- Permite a redução da permeabilidade;
- Permite a redução da retração diminuindo a tendência à fissuração do concreto.

Embalagem

Caminhão tanque e embalagem de 231 kg

Dados técnicos

Base Química

Lignosulfonatos e aditivos especiais

Aspecto

TM 761B*

Líquido castanho escuro

Densidade (g/cm³)

TM 103B*

1,115 a 1,155

pH

TM 112B*

8 – 10

Sólidos

TM 613B*

30,85 a 33,85

*Método Interno

Modo de Aplicação

O MasterPolyheed® 32 deve ser adicionado após a homogeneização dos materiais (cimento, água, agregados, etc) junto com a segunda parte da água de amassamento a ser utilizada na mistura. Nunca deve ser adicionado aos componentes secos do concreto.

Consumo

Deve ser definido baseado em ensaios de laboratório e industriais.

Dosagem

0,6% a 1,0% em relação ao peso do cimento

Observações / Limitações

- As dosagens acima são orientativas sendo imprescindível a realização ensaios laboratoriais ou de campo. A dosagem ótima do MasterPolyheed® 32 (reduções de água >10%) pode variar de acordo com a temperatura ambiente, tipo de cimento, quantidade de finos



The Chemical Company

na mistura, relação água/cimento, condições de mistura, tipo de agregado utilizado, etc.

- O tempo de pega do concreto pode ser influenciado pela temperatura e umidade ambiente bem como pelo aumento da dosagem do MasterPolyheed® 32.
- O MasterPolyheed® 32 é compatível com outros aditivos utilizados na produção de concreto, porém recomenda-se entrar em contato com nosso departamento técnico;
- Para dosagens fora da faixa recomendada e para mais informações, entrar em contato com o nosso departamento técnico.

Manuseio

Quando utilizado em conjunto com outros aditivos para concreto, o MasterPolyheed® 32 deve ser adicionado separadamente.

Limpeza de Ferramentas

A limpeza das ferramentas ou equipamentos contaminados com MasterPolyheed® 32 deve ser realizada com água em abundância.

Armazenagem

MasterPolyheed® 32 deve ser armazenado em local coberto, seco e fresco, longe de temperaturas extremas ou fontes de calor nas embalagens originais lacradas. Se for armazenado em recipientes originais nas condições indicadas, a validade é de 9 meses.

Precauções de segurança

MasterPolyheed® 32 não é classificado como produto perigoso para transporte, não é inflamável nem explosivo;

Produto não considerado tóxico, porém, impróprio para consumo humano;

Para obter informação adicional, consulte à Ficha de Segurança do produto;

Informações complementares

Para informações, contate seu representante local da Master Builders Solutions da BASF.

Os dados mencionados nesta ficha técnica são baseados em provas de laboratório cuidadosamente controlados. Possíveis variações podem ocorrer dentro de limites que consideramos razoáveis, mas recomendamos que o cliente realize testes previamente nas suas condições específica para possíveis ajustes, se necessário. Em caso de dúvidas, recomendamos consultar nosso Departamento Técnico.

BASF SA

Avenida das Nações Unidas,
14.171, Morumbi
04794-000 Sao Paulo – SP, Brasil
Tel: +55 11 2718 5507

www.basf-cc.com.br

BASF Construction Chemicals Ltda.

Rio Palena 9665
Núcleo Empresarial ENEA
Santiago de Chile, Chile
Tel: +56-2 2799 4300

www.basf-cc.cl

BASF Construction Chemicals Perú S.A.

Jr. Plácido Jiménez N° 630
Lima 1.Peru
Tel: +51-1 219 0630

www.basf-cc.com.pe

BASF Química Colombia S.A.

Calle 99 # 69C – 32
Bogotá, D.C. Colombia
Tel: +57 1 632 20 90

www.basf-cc.com.co

BASF Venezolana S.A.

Edif. Torreón, Piso 4, Of. 4B
Av. Veracruz con calle la Guairita,
Tel : + 58 212 9586711

www.basf-cc.com.ve

BASF Ecuatoriana S.A.

Av. Naciones Unidas 1014
y Av. Amazonas Edif. La Previsora
Tel : + 593 2397 9500

www.basf-cc.com.ec