

**REDE DOCTUM DE ENSINO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DA QUALIDADE DO CONCRETO
EM OBRAS DE PEQUENO PORTE**

**FRANCISCO DE OLIVEIRA ALBEFARO
LUCAS RODRIGUES ALVES**

Trabalho de Conclusão de Curso

Caratinga/MG

2016

**FRANCISCO DE OLIVEIRA ALBEFARO
LUCAS RODRIGUES ALVES**

**ANÁLISE DA QUALIDADE DO CONCRETO
EM OBRAS DE PEQUENO PORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Tecnológico de Caratinga da DOCTUM Caratinga como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: José Salvador Alves.

Caratinga/MG

2016

ANÁLISE DA QUALIDADE DO CONCRETO EM OBRAS DE PEQUENO PORTE

Nome completo do aluno: FRANCISCO DE OLIVEIRA ALBEFARO
LUCAS RODRIGUES ALVES

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado perante a Banca de Avaliação composta pelos professores José Salvador Alves, Sidinei Silva Araújo e Camila Alves Da Silva, às 19:00 horas do dia 12 de dezembro de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil. Após a avaliação de cada professor e discussão, a Banca Avaladora considerou o trabalho: Aprovado (aprovado ou não aprovado), com a qualificação: _____ (Excelente, Ótima, Bom, Satisfatório ou Insatisfatório).

Trabalho indicado para publicação: () SIM () NÃO

Caratinga,

12 de dezembro de 2016

José Salvador Alves
Professor Orientador e Presidente da Banca

Sidinei Silva Araújo
Professor Avaliador 1

Camila Alves da Silva
Professor Avaliador 2

Lucas Rodrigues Alves
Aluno(a)

Francisco de Oliveira Albevaro

[Assinatura]
Coordenador(a) do Curso

AGRADECIMENTOS

Nossos sinceros agradecimentos a todos que, de alguma maneira, contribuíram para que a conclusão deste trabalho se tornasse possível:

A Deus, por estar sempre no comando, conduzindo nossos passos e nos ajudando a prosseguir.

Ao nosso Professor Orientador José Salvador Alves, pelo auxílio, atenção e disponibilidade de tempo e extrema prontidão e sabedoria nos direcionou a conclusão deste trabalho.

Aos nossos colegas de classe, que mesmo sem perceber nos instigaram a buscar respostas, e conseqüentemente nos aperfeiçoamos com a humildade dos que aspiram a sabedoria. Sentiremos saudades.

Ao Leandro do laboratório da Faculdade Integrada de Caratinga, pela ajuda e apoio durante todo o processo de realização dos ensaios.

A nossa família, que sempre nos incentivaram a buscar constantemente o êxito sobre as dificuldades, e a alcançar nossos objetivos.

Francisco de Oliveira Albefaro
Lucas Rodrigues Alves

ALBEFARO, Francisco de Oliveira e ALVES, Lucas Rodrigues. **Análise da Qualidade do Concreto em Obras de Pequeno Porte**. Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

RESUMO

A construção civil está em constante evolução, e a cada dia que passa os esforços exigidos das estruturas aumenta, o papel do engenheiro nesse contexto é produzir concretos de qualidade que atendam tanto as solicitações das estruturas, quanto aos requisitos contidos nas normas regulamentadoras da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Para que este controle tecnológico normatizado seja feito de forma eficiente, existem alguns recursos para assegurar que as propriedades do concreto estão alcançando as expectativas, mantendo assim, a confiabilidade estrutural e a segurança das obras, o ensaio de resistência à compressão é um dos parâmetros importantes, e é parte integrante da segurança do projeto estrutural.

Os concretos das estruturas de concreto armado devem ser projetados para a resistência à compressão característica mínima de 20 MPa (classe C20). Este trabalho teve como objetivo, visitar pequenas obras da cidade de Inhapim pertencente a região do Vale do Rio Doce situado a leste de Minas Gerais, que produzem seu próprio concreto estrutural, acompanhar os seus processos de produção e coletar amostras desse material para verificação em laboratório, através dos rompimentos dos corpos de prova, se a resistência alcançada pelos mesmos está condizente com a especificada em projeto.

O preparo do concreto de maneira inadequada pode acarretar em patologias nas estruturas, causando grandes prejuízos econômicos, além de afetar o nível de segurança e a vida útil da obra. Neste estudo destacamos como o cuidado durante a produção do concreto pode influenciar na sua qualidade final, mostrando como é importante que todos os profissionais que lidam com o concreto adotem um controle de qualidade eficiente para garantir que o concreto produzido em obra tenha a mesma qualidade quanto o concreto usinado.

Palavras-chave: Concreto. Controle de Qualidade. Resistência à Compressão. Ensaio. Corpos de Prova.

ALBEFARO, Francisco de Oliveira e Alves, Lucas Rodrigues. **Análise da Qualidade do Concreto em Obras de Pequeno Porte**. Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

ABSTRACT

The construction industry is constantly evolving, and every day the efforts required of the structures increases, the role of the engineer in this context is quality concrete produce that meet the demands of structures both, as the requirements contained in the regulatory Brazilian Association of Technical Standards.

For this standardized technological control is done efficiently, there are some resources to ensure that the concrete properties are meeting expectations, thereby maintaining the structural reliability and safety of the works, the compressive resistance test is one of the factors ensure that safety and security is an integral part of the structural design.

The concrete of reinforced concrete structures must be designed for minimum resistance to compression feature 20 MPa (C20 class). This work aims, visiting small works of the city of Inhapim-MG that produce their own structural concrete, monitor their production processes and collect samples of this material for laboratory verification by the disruptions of the specimens, if the achieved resistance the same is consistent with the specified project.

The preparation of improperly concrete can result in pathologies in structures, causing large economic losses, and affect the level of safety and service life of the work. In this study we highlight as care during the production of concrete can influence its final quality, showing how important it is that all professionals who deal with the concrete adopt an efficient quality control to ensure that the concrete produced on site has the same quality as the ready-mix concrete.

Key-words: Concrete. Quality control. Compressive Strength. Essay. Proof bodies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Comportamento típico tensão-deformação do agregado, concreto e pasta cimento.	12
Figura 2 – Classes de Agressividade, que certamente afetarão a estrutura.	15
Figura 3 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.	17
Figura 4 – Fases que constituem a microestrutura do concreto no estado endurecido.	18
Figura 5 – Partícula de cimento em processo de hidratação.	19
Figura 6 – Zona de transição agregado - pasta de cimento.	20
Figura 7 – Betoneira com a mistura de água e cimento.	31
Figura 8 – Transporte do concreto onde ocorre o assentamento dos agregados graúdos e formação de nata de cimento por exsudação.	32
Figura 9 – Aplicação do concreto as formas.	33
Figura 10 – Revestimento dos moldes com óleo mineral.	36
Figura 11 – Preenchimento dos moldes utilizando a concha de seção U.	37
Figura 12 – Número de camadas e número de golpes para montagem e adensamento dos corpos de prova.	37
Figura 13 – Tanque para armazenamento dos corpos de prova.	38
Figura 14 – Fôrma cilíndrica para moldar os corpos de prova.	39
Figura 15 – Concha em seção U.	39
Figura 16 – Prensa Manual para os ensaios de compressão do concreto.	40
Figura 17 – Amostra após o rompimento em 7 dias.	41
Figura 18 – Valores de ψ_6	42
Figura 19 – Resistências esperadas das amostras de concreto.	46
Figura 20 – Gráfico baseado nos valores obtidos das amostras da Obra 1.	47
Figura 21 – Gráfico baseado nos valores obtidos das amostras da Obra 2.	48
Figura 22 – Gráfico baseado nos valores obtidos das amostras da Obra 3.	49
Figura 23 – Gráfico baseado nos valores obtidos das amostras da Obra 4.	50
Figura 24 – Baseado nos valores obtidos das amostras da Obra 5.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Limites máximos para impurezas em água de amassamento para concreto. . .	17
Tabela 2	– Valores obtidos pelo rompimento das amostras de concreto.	46
Tabela 3	– Resultados das amostras em Mega Pascoal.	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivo Geral	11
1.2 Objetivos Específicos	11
2 REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1 CONCRETO	12
2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DO PROBLEMA	13
2.3 COMPONENTES DO CONCRETO	14
2.3.1 Cimento	14
2.3.2 Agregado	15
2.3.3 Água de Amassamento	16
2.4 MICROESTRUTURA DO CONCRETO	18
2.4.1 Fase 1: Agregado	18
2.4.2 Fase 2: Pasta de Cimento	18
2.4.3 Fase 3: Zona de Transição	19
2.5 IMPORTÂNCIA DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO	20
2.5.1 Resistência a Compressão do Concreto Endurecido com Tempo de Cura	23
2.5.2 Controle de Qualidade da Resistência do Concreto	24
2.6 DOSAGEM DO CONCRETO	25
2.6.1 Ajuste e Comprovação do Traço	25
2.6.2 Trabalhabilidade e Homogeneidade	27
2.7 PATOLOGIAS	27
2.8 OBRAS DE PEQUENO PORTE	28
2.9 PROCEDIMENTO PADRÃO PARA A PRODUÇÃO DO CONCRETO	29
2.9.1 Concreto Produzido em Obra	30
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	34
3.1 PREPARAÇÃO DOS MOLDES	35
3.2 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA	35
3.3 ADENSAMENTO DOS CORPOS DE PROVA	37
3.4 CURA	38
3.5 MATERIAIS UTILIZADOS	38
3.6 PROCEDIMENTOS PARA A PREPARAÇÃO E ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA	40
3.7 CONTROLE ESTATÍSTICO DO CONCRETO POR AMOSTRAGEM PARCIAL	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44

5 CONCLUSÃO	52
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
APÊNDICE A - Cálculos para análise dos resultados em MPa	55
A.1 OBRA 1	55
A.2 OBRA 2	56
A.3 OBRA 3	57
A.4 OBRA 4	58
A.5 OBRA 5	59
A.6 Cálculos da resistência estimada	60

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o concreto se apresenta como o material de construção mais amplamente usado no país e no mundo. O seu alto índice de consumo pode ser atribuído as suas propriedades, como: boa resistência; durabilidade quando submetido a agentes agressivos; boa trabalhabilidade, adaptando-se a várias formas, conferindo liberdade na concepção do projeto; e, não menos importante, seu baixo custo de fabricação.

Os níveis de resistência à compressão alcançados pelo concreto é um dos principais motivos pra a sua grande utilização, sem deixar de lado o seu custo de produção, que comparado com outros materiais leva uma vantagem muito grande. (HELENE; TERZIAN, 1992). Esse fato se deve à relativa simplicidade do procedimento de moldagem dos corpos de prova e do ensaio de compressão axial, mas também pela resistência à compressão ser um parâmetro que se mostra sensível às alterações de composição e mistura do concreto, permitindo inferir modificações em outras propriedades do material.

Infelizmente nem sempre o concreto obtidos através de métodos de produção dentro do canteiro de obras chega a atingir a resistência exigida no projeto estrutural. A não conformidade da resistência destes concretos implica, por conseguinte, em estruturas cujo nível de segurança não corresponde mais ao previsto pelas normas, comprometendo a confiabilidade da construção.

Há muitos fatores que podem influenciar na qualidade e resistência final do concreto que se produz num canteiro de obras, além da intrínseca heterogeneidade dos materiais que o compõem, e a complexidade do seu comportamento, tanto em estado fresco quanto endurecido, também a falta de acompanhamento da obra onde em sua maioria por se tratar de edificações pequenas, com prazos de execução curtos, engenheiros e outros responsáveis não dão o devido acompanhamento, implicando na qualidade dos materiais utilizados, na mão de obra empregada, nos processos de fabricação e até mesmo na própria moldagem dos corpos de prova. (SELEGIN, 2013).

Concretos que não apresentam conformidade em sua resistência apresentam perdas econômicas, podendo haver a necessidade de executar reforço estrutural, ou mesmo pelos atrasos no cronograma da obra, que podem chegar até mesmo a inviabilizar o empreendimento.

Desta forma, o controle de qualidade, analisado quantitativa e qualitativamente, nos processos de fabricação e utilização do concreto, bem como de seus materiais constituintes, é algo que deve ser enfatizado nos diversos ambientes de construção da engenharia, objetivando a padronização e ao cumprimento dos parâmetros estabelecidos pelas normas brasileiras disponíveis. Os resultados imediatos de se produzir e utilizar um concreto de melhor qualidade aumentando a confiabilidade das estruturas e a racionalização do processo construtivo, ou seja, eliminação de despesas desnecessárias.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo descrever e analisar o processo produtivo do concreto dentro da obra de pequeno porte, levando em consideração os parâmetros exigidos pelas normas, que regem a conformidade do concreto. Esse estudo se delimita em obras de até 3 (três) pavimentos, localizadas na cidade de Inhapim-MG, dando ênfase nos meios de produção, fiscalização e possíveis fatores que possam influenciar na qualidade final do concreto.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar, quantitativamente, a conformidade do concreto, para fins estruturais, produzidos no canteiro de obras de pequeno porte, de modo que os valores de resistência obtidos pelo ensaio de rompimento de corpos de prova comprovem a adequação do ponto de vista técnico.

Verificar através das normas, se os procedimentos adotados para a fabricação de concreto, bem como os métodos de dosagem e de moldagem dos corpos de prova estão em conformidade com as mesmas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CONCRETO

O concreto estrutural é um material particularizado e composto, tem por definição: rocha artificial formada por mistura de agregados miúdos (areia) e agregados graúdos (brita ou pedras), água, cimento e ar, podendo ainda conter alguns aditivos químicos e/ou minerais (cinzas, pozolanas, sílica ativa, etc.) na sua mistura. A figura 1 mostra o comportamento dos componentes do concreto quanto às tensões e deformações, que colabora em muito para o bom desempenho do concreto estrutural.(CARVALHO; FIGUEIREDO, 2007).

O cimento Portland é um material aglomerante, quando misturado a água forma uma espécie de gel com propriedades ligantes que se adapta a diversos tipos de aplicações na construção, uma das razões do concreto ser utilizado em grande escala na construção de prédios, obras públicas e industriais, pontes, pavimentos, viadutos, túneis, reservatórios, barragens e, etc.(SELEGIN, 2011).

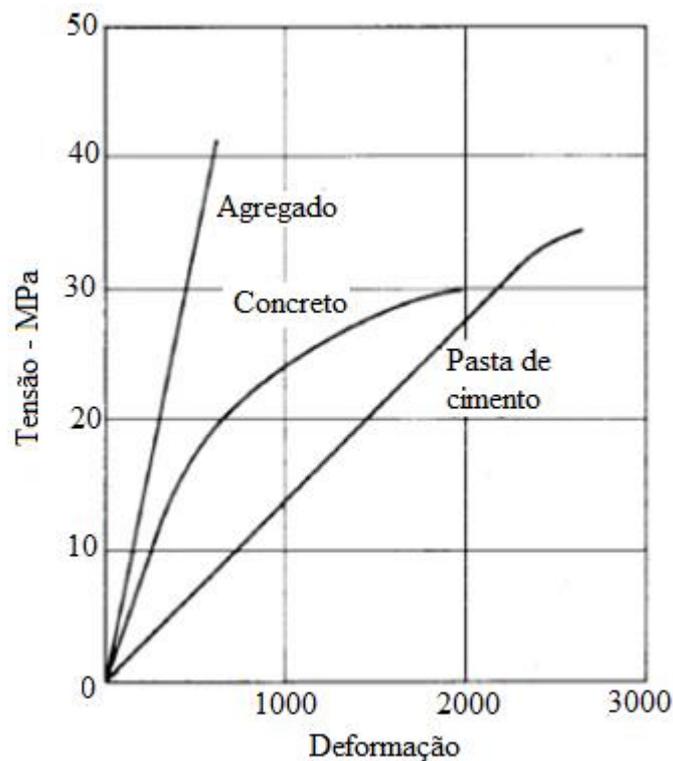


Figura 1: Comportamento típico tensão-deformação do agregado, concreto e pasta cimento.

Fonte: Selegin, 2011.

Dentre outras se destacam algumas vantagens da utilização do concreto em estruturas:

- Custo relativamente baixo se comparado a outros materiais, podendo ser mais viável que o aço em diversas situações;
- Fornecimento dos materiais que o constituem em quase todos os lugares;
- Por ser um material versátil, o seu uso em projetos permite uma escolha muito plausível quanto o ponto de vista estrutural, dando maior liberdade ao projetista;
- De execução razoavelmente fácil e de amplo conhecimento;
- Possui longa durabilidade, se produzido e executado conforme as normas técnicas recomendam.

2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DO PROBLEMA

De acordo com Coutinho (1993), nas aplicações primitivas do concreto não havia controle de dosagem, talvez porque as solicitações das estruturas não eram tão altas como hoje. Seus constituintes/agregados eram adicionados de maneira empírica, conhecimento que foi passado ao longo dos anos sem nenhuma preocupação com a qualidade na produção do concreto e em alcançar índices de resistência à compressão mais elevada. Até o início do século XIX, as exigências acerca dos componentes do concreto para garantir a sua qualidade ainda eram pouco conhecidas.

Com a evolução da tecnologia empregada na produção e dosagem dos materiais ao longo dos anos, foi possível criar um cenário de discussões e estudos mais profundos sobre o tema.

Conforme Helene e Tutikian (2011), somente em maio de 1954, em um Simpósio que aconteceu em Londres (Symposium on Mix Design and Quality Control of Concrete), considerado o evento com contribuições mais significativas, foi apresentado um modelo estatístico para a representação de fenômenos decorrentes da qualidade do concreto. Naquela oportunidade mostraram as influências da variabilidade da qualidade com a escolha da resistência de dosagem da produção de concreto, no mesmo simpósio foi proposto que o desvio-padrão serviria como parâmetro para aplicar maior rigor no processo de produção, também foi apresentado que o concreto seria classificado com base nos recursos e equipamentos disponíveis em obra e as resistências seriam indicadas conforme cada situação.

Uma classificação semelhante foi adotada posteriormente pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na NBR 6118.

Segundo Helene e Tutikian (2011), com a instalação do Gabinete de Resistências dos Materiais em 1899, teve início no Brasil a implantação das tecnologias relacionadas à qualidade do concreto, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas foi criado pela USP (Universidade de São Paulo) e a partir de 1905 já eram publicados resultados de atividades e ensaios de cimentos e outros materiais utilizados na construção civil.

Conforme Selegin (2013), já em 1936, foi publicado um trabalho pioneiro pelo chefe da Divisão da Indústria da Construção do Instituto Nacional de Tecnologia - INT, Paulo de Sá, sobre as propriedades características dos materiais de construção, que mostra a necessidade, as implantações e as vantagens de uma análise estatística dos resultados dos ensaios na avaliação de parâmetros característicos das madeiras, abordando, sobretudo um problema de segurança estrutural, na mesma linha de raciocínio de Sá. Três anos depois foi publicada a primeira aplicação do uso dos conceitos estatísticos no controle da resistência à compressão do concreto pelo também engenheiro do INT, Alberto Pastor de Oliveira que em sua pesquisa, analisou 600 amostras de concreto de uma mesma construção. Durante um Simpósio realizado no Rio de Janeiro em 1944, promovido pelo INT, Lobo Carneiro propôs a adoção das resistências de dosagem com base em valores mínimos representados por 2,5%. Proporção essa que era baseada em um conceito muito avançado para a época, já que grandes nomes internacionais haviam publicado trabalhos relacionados poucos meses antes, determinando que o quantil devesse ser de 1%. Com o avanço dos estudos ao longo do tempo, ficou claro que Lobo estava mais próximo do consenso, que hoje a nível mundial é de 5% para resistência mínima.

De acordo com Selegin (2013), na sequência, com o surgimento do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-h), em 1991, teve início a busca por uma metodologia dos processos de produção na construção mais rigorosa. Em 2009, com a constituição de um Comitê Técnico de Conformidade do Concreto, pela ABECE (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural), foram desenvolvidos estudos e implantadas práticas para agir em casos onde o concreto estrutural não atende aos requisitos das normas.

A constante busca por padrões de qualidade cada vez mais altos no processo de produção tornou necessária a definição de parâmetros e procedimentos padronizados que devem ser levados em conta na produção e execução do concreto, tudo fundamentado pela necessidade de se comprovar através de ensaios e análises a qualidade final e os fatores que o levaram a tal. Tudo previamente analisado, desde os materiais utilizados até as técnicas de preparo que são recomendados e estabelecidos pelas normas da ABNT.

2.3 COMPONENTES DO CONCRETO

2.3.1 Cimento

Sendo um dos materiais mais utilizados na construção civil, principalmente por sua larga utilização em várias fases da construção. Classificado na família dos aglomerantes hidráulicos, ao se misturar com a água entra em processo químico, tornando-se um elemento sólido e com grande resistência às forças de compressão, a água e ao sulfato. (SELEGIN, 2013).

O cimento sozinho não é capaz de desenvolver propriedades aglomerantes, por ser um material fino, seco e pulverulento, portanto ele precisa de uma hidratação,

ou seja, reações químicas entre as partículas do cimento e da água."(MEHTA; MONTEIRO, 2009).

Para a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), o cimento tem por definição: pó fino, com propriedades aglomerantes, ligante ou aglutinante, que adquire propriedades rígidas em reação com a água.

A ABNT NBR 12655 (2006), que define a preparação, o controle e o recebimento de concreto de cimento Portland no Brasil, exige que o cimento utilizado no concreto cumpra os requisitos constantes em suas normas específicas, conforme o seu item 5.1.2.2 e dispõe a Figura 2.

"O tipo de cimento deve ser especificado levando-se em consideração detalhes arquitetônicos e executivos, a aplicação do concreto, o calor de hidratação do cimento, as condições de cura, as dimensões da estrutura e as condições de exposição naturais ou peculiares de trabalho da estrutura".(ABNT NBR 12655, 2006).

Tabela 1 — Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

Figura 2: Classes de Agressividade, que certamente afetarão a estrutura.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 12655.

2.3.2 Agregado

De acordo com Santiago (2011. P. 30.) , ocupando cerca de 60% a 80% do volume do concreto, o agregado é um material granular, que não tem formas e volumes definidos. Apesar de não sofrer reações químicas durante a hidratação do concreto, o agregado não pode ser tratado apenas como um material para simples preenchimento.

Em contrapartida, características como: porosidade, graduação, umidade e textura superficial, forma e módulo de elasticidade entre outras, podem influenciar a resistência, durabilidade e estabilidade dimensional tornando-se muito importante na produção do concreto.

Segundo a ABNT NBR 12655 (2006), todos os agregados usados no concreto devem atender os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 7211 (2009).

Isso porque os agregados têm várias características que dependem basicamente de sua origem, predominantemente mineral onde suas propriedades vão variar de acordo com a rocha matriz, caso natural ou o processo industrial utilizado para obtê-lo, caso artificial. Classificados de acordo com suas dimensões, o agregado é dividido em dois subconjuntos: agregado graúdo e agregado miúdo.

A) Agregado Graúdo

Definido por norma:

“Aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm em ensaios realizados de acordo com a ABNT NBR NM 248 (2001), com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.”(ABNT NBR 7211, 2009).

B) Agregado Miúdo

Também definido pela mesma norma:

“Aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m em ensaios realizados de acordo com a ABNT NBR NM 248 (2001), com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.”(ABNT NBR 7211, 2009).

2.3.3 Água de Amassamento

A água usada no processo de produção do concreto não pode conter um nível de impurezas capaz de prejudicar as reações químicas entre cimento e água, pois desenvolve papel muito importante, devendo ser utilizada na quantidade estritamente necessária para envolver os grãos, a fim de que possa permitir a hidratação e posterior cristalização do cimento.

Segundo Selegin (2011, p. 27), a qualidade da água não deve ser julgada em parâmetros baseados como sua cor ou cheiro, devem ser feitos ensaios a fim de avaliar a possível influência das impurezas encontradas na água sobre o tempo de pega do concreto produzido com a mesma, a resistência mecânica, a estabilidade dimensional e ainda a durabilidade do concreto visto que as impurezas podem causar corrosão das armaduras e danos à superfície do concreto.

Águas que apresentem menos de 0,2% de sólidos dissolvidos podem ser utilizadas na produção do concreto sem maiores precauções, conforme recomendação geral. Níveis maiores podem representar riscos perigosos e afetar significativamente diversos cimentos diferentes, em consequência disso a ABNT NBR 15900 (2009), estabelecem critérios que definem como satisfatórias águas que contenhas seu pH entre 5,8 e 8,0, respeitando os limites máximo definidos pela Tabela 1.

Tabela 1: Limites máximos para impurezas em água de amassamento para concreto.

Natureza da Impureza	Limite máximo
Matéria orgânica (expressa em oxigênio consumido, DBO)	3 mg
Resíduos sólidos	5.000 mg
Sulfatos (expressos em íons de SO ₄)	600 m
Cloretos (expressos em íons de Cl)	1.000 mg
Açúcar	5 mg

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15900.

A relação entre o peso da água e o peso do cimento na mistura é tão importante que recebeu o nome de fator água/cimento, sendo que este fator deve ser o mais baixo possível, dentro das características exigidas para o concreto e das qualidades dos materiais disponíveis que o constituem, a quantidade excessiva de água na mistura causa o efeito de exsudação deixando vazios à mistura acarretando assim a chamada porosidade capilar. (MATHEUS; MELO, 2015).

A porosidade capilar além de diminuir drasticamente a resistência do concreto torna os elementos estruturais permeáveis diminuindo também a sua vida útil.

Por sua extrema importância o fator água/cimento deve ser compreendido por todos que trabalham com concreto, pois ele é a base para que todas as misturas compostas por cimento e água, sejam feitas de maneira eficiente. A ABNT NBR 6118 (2014) cita a importância da qualidade do concreto:

“Ensaio comprobatório de desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e classe de agressividade prevista em projeto devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos. Na falta destes e devido à existência de uma forte correspondência entre a relação água/cimento e a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade, permite-se que sejam adotados os requisitos expressos na figura 3”. (ABNT NBR 6118, 2014, p.18.)

A quantidade de água deve ser a mínima necessária para envolver os grãos e garantir a cura satisfatória do concreto.

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Figura 3: Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6118:2014.

2.4 MICROESTRUTURA DO CONCRETO

Segundo Mehta e Monteiro (2014), como o concreto se apresenta altamente heterogêneo, a relação entre os elementos que o constitui, e sua relação global apenas podem ser bem compreendidos em níveis microscópicos, sendo assim o principal objeto de estudos da ciência dos materiais moderna.

A microestrutura compreende a quantidade, forma, tipo, tamanho e distribuição das fases contidas em um sólido. Constituída em três fases, a microestrutura do concreto apresenta: pasta de cimento, zona de transição e agregado, conforme a figura 4. Entre outras características elas respondem conjuntamente por propriedades como a resistência a compressão.

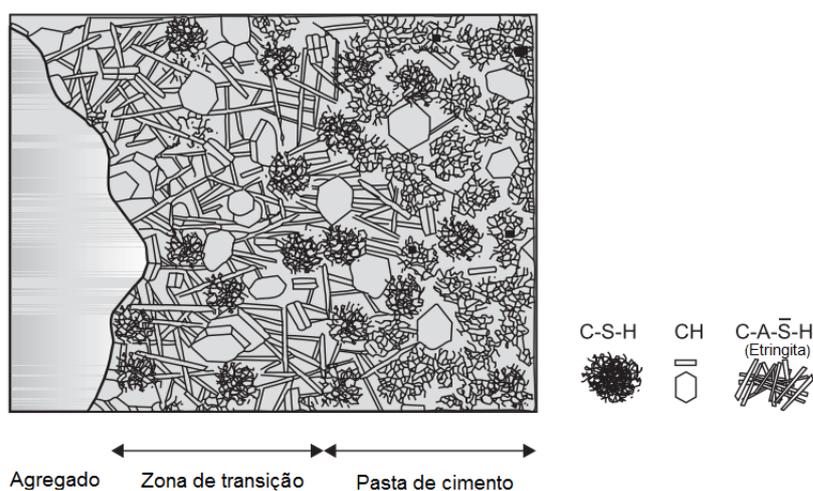


Figura 4: Fases que constituem a microestrutura do concreto no estado endurecido.

Legenda: C-S-H - Silicato de cálcio hidratado; C-H - Hidróxido de cálcio (Ca); C-A-SH - Sulfoaluminato de cálcio hidratado (Etringita). **Fonte:** Mehta e Monteiro (2014).

2.4.1 Fase 1: Agregado

Segundo Neville e Brooks (2013, p. 41), pode afetar de maneira indireta na resistência do concreto por apresentar formas e dimensões variadas, agregados grandes e/ou achatados podem acumular água e comprometer a ligação com a pasta de cimento. O nível de tensão real nos pontos de contato das partículas individuais com o concreto pode apresentar tensões superiores de compressão aplicadas sobre a estrutura de concreto, sendo assim salienta que é importante o agregado apresentar resistência superior à resistência do concreto.

2.4.2 Fase 2: Pasta de Cimento

Conforme explica Santiago, (2011. P. 32), a pasta de cimento hidratado é uma reunião relativamente heterogênea de partículas, micro cristais, filmes e elementos sólidos, ligados por

uma massa porosa contendo em seu estado inicial, porções com vazios e soluções. O cimento Portland é composto por quatro partículas principais sendo: silicato bi cálcico (C₂S), silicato tri cálcico (C₃S), aluminato tri cálcico e aluminoferrato tetra cálcico (C₄AF), que correspondem num total de 90 por cento da massa do cimento e apresentam dimensões entre 1 a 90 μ m (figura 5).

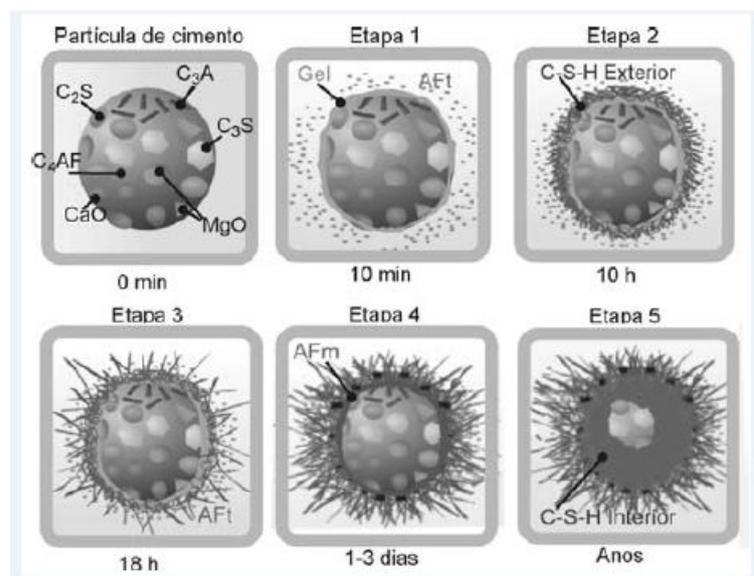


Figura 5: Partícula de cimento em processo de hidratação.

Fonte: Site: <http://www.scielo.mec.pt>.

A mistura dessas partículas com a água provoca uma série de reações químicas que acontecem em velocidades distintas, mas que se influenciam de maneira mútua. Resultado disso é a hidratação dos compostos anidros do cimento, que formam cristais cujas fibras se entrelaçam à medida que a reação se desenvolve. (SANTIAGO, 2011).

2.4.3 Fase 3: Zona de Transição

Conforme Santiago (2011, p. 33), a fase de transição é a porção da pasta de cimento que mantém contato com o agregado contendo dimensões que variam de acordo com as características dos componentes da pasta e do agregado. Devido a formação de cristais de hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), a fase de transição (figura 6) é uma região que apresenta maior porosidade. A pasta de cimento é considerada um meio isotrópico, ao contrário, a zona de transição é altamente anisotrópica, a textura no meio pasta-agregado a torna mais enfraquecida que o resto da pasta de cimento, quando o concreto está sob esforço mecânico, as tensões se concentram na zona de transição, local onde as primeiras fissuras do concreto aparecem, observado isso, conclui-se que a zona de transição é a fase que determina o limiar da resistência do concreto.



Figura 6: Zona de transição agregado - pasta de cimento.

Fonte: Adaptado de Selegin (2013).

Segundo Helene e Terzian (1992), toda estrutura de concreto quando executada, pode apresentar características distintas das que foi especificadas nos diversos documentos que compõem um projeto, já que ela está sujeita a inúmeras variações de modo que não é possível se estimar com clareza qual será o resultado da influência de parâmetros tais como o correto posicionamento da armadura, ou as corretas dimensões das formas dos elementos estruturais ou um pilar que não esteja exatamente no prumo. O controle da resistência à compressão do concreto está contido dentro dessa necessidade de executar o que foi especificado no projeto, sendo assim, podem existir divergências quanto às resistências especificadas com a resistência real alcançada pela execução.

2.5 IMPORTÂNCIA DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Conforme Selegin (2013), a resistência a compressão é uma das mais importantes propriedades do concreto, pode-se dizer que ela está diretamente ligada às proporções dos elementos que o constituem, sendo assim a sua dosagem não pode ser feita de maneira imprudente, tudo deve estar correlacionado nas medidas certas para uma boa consistência e qualidade do concreto.

E por caracterizar seu melhor desempenho e por ser facilmente avaliados através do ensaio de rompimento de corpos de prova cilíndricos submetidos à compressão centrada, ensaio o qual também permite a obtenção de outras características, tal como o módulo de elasticidade, moldados e ensaiados segundo preconizado pela ABNT NBR 5738 (2008) e pela ABNT NBR 5739 (2007).

Santiago (2011), aponta que ainda que o concreto tenha, também, como referência sua resistência à tração por flexão, pelo consumo de cimento, pela relação água/cimento, em casos em que a durabilidade seja o fator mais importante, ou pela combinação de todos estes parâmetros

para ser dosada, sem sombra de dúvida a propriedade que melhor o avalia é a resistência à compressão.

Selegin (2013, p. 32), explica que a resistência a compressão obtida através de ensaio de curta duração, do corpo de prova, (que é a aplicação da carga de maneira rápida), é expressa pela seguinte equação:

$$f_{ckj} = \frac{N_{rup}}{A} \quad (2.1)$$

- f_{cj} - Resistência do concreto em j dias.
- N_{rup} - Força aplicada a amostra (tf).
- A - área do corpo de prova.

De acordo com Selegin (2013, p.38), tal resistência é adotada na etapa de dimensionamento da estrutura, estando assim diretamente ligada a segurança e vida útil da obra. Por outro lado, apesar de ser a característica do concreto que o melhor qualifica não se pode deixar de observar a trabalhabilidade e durabilidade que são determinadas na escolha da curva granulométrica, na relação água/cimento e na classe de cimento utilizado.

Conforme Santiago (2011), sendo a resistência a compressão uma característica muito sensível, é verificada uma variação que tem como causa vários fatores que podem atuar de maneira isolada ou conjunta. Com a medida da variação pode-se ter uma ideia sobre a qualidade na produção do concreto, determinando, de forma indireta, a maior ou menor economia, observando que com uma variação maior seja necessário trabalhar com uma resistência média de controle mais elevada que para ser atingida precisa de um maior consumo de cimento e redução na relação água/cimento, ela poderá sofrer alterações pela mudança de certos materiais, seja na dosagem, uniformidade e natureza dos mesmos. A sensibilidade que o concreto apresenta torna possível uma análise bem precisa dos resultados obtidos de forma a corrigir os erros e diminuir as variações da resistência, buscando uma produção com qualidade estrutural e economicamente mais eficiente.

Selegin, (2013) explica que existem vários fatores que implicam na resistência a compressão do concreto; a correta e homogênea mistura dos materiais, transporte, métodos de execução e condições de cura. Para fins de dimensionamento estrutural é considerado apenas a resistência potencial do concreto que é medida através da retirada de corpos de prova na boca da betoneira, sendo possível estabelecer uma resistência fixa e definida para atingir uma perfeita comunicação entre projeto e execução da obra.

Dentre outros fatores que possam influenciar na resistência do concreto temos a dificuldade que pequenas obras enfrentam na aplicação do concreto em tempo hábil definido em norma

ABNT NBR 14931 (2004), de no máximo 2 h e 30 min. após o contato da água com o cimento. Passado esse período o concreto perde propriedades como a trabalhabilidade, dificultando o transporte, adensamento e o bom acabamento da estrutura.

Momento esse em que nas pequenas obras onde o número de colaboradores é reduzido e, além disso, não são bem instruídos, para melhorar essa dificuldade de aplicação do concreto, adiciona-se água a fim de o tornar fluido o suficiente para execução, adensamento e acabamento. A quantidade de água adicionada ao concreto, sem dúvida é o maior fator nas variações de resistência, como não há um sistema de controle de umidade dos agregados eficiente, a fim de chegar numa exata quantidade de água que é adicionada a mistura, o concreto produzido sempre terá variações em sua relação água/cimento, conseqüentemente diferentes resistências.

De acordo com Andolfato (2002), por praticidade, negligência ou até mesmo desconhecimento, a quantidade de água adicionada a cada carga da betoneira é avaliada de forma empírica, o procedimento de carregamento da betoneira deve viabilizar a obtenção de uma mistura homogênea, na grande maioria dos casos, há uma formação de aglomerado de cimento onde este não entra em contato com a água, diminuindo a eficiência da mistura, em outros casos, a dificuldade em misturar pode induzir ao pensamento de que a trabalhabilidade está baixa, estimulando a colocação de mais água, tendo conseqüências cada vez mais negativas em se tratando de resistência. Ao contrário do que muitos pensam a obtenção da trabalhabilidade adequada não depende especificamente de adição de água a mistura, que pode levar a exsudação, à segregação ou um aumento no abatimento.

Segundo Geyer e Sá (2006), a qualidade do concreto pode ser atingida mais eficientemente por uma seleção e proporcionalidade dos materiais, também por adições químicas e/ou minerais, isso pode ser alcançado com certo conhecimento das características dos componentes e de suas proporções na mistura do concreto. A falta destes conhecimentos em obras de pequeno porte faz com que os colaboradores recorram à solução de adição de água, com isso tem-se um elevado aumento da relação água/cimento causando dentre outros prejuízos a significativa perda de resistência.

Concretos que apresentam desconformidades em relação à resistência à compressão definida em projeto são causadores de prejuízos econômicos, seja pela recusa de seu uso em obra, ou pela necessidade de um reforço estrutural futuramente, ou por possíveis atrasos na obra podendo levar até a inviabilidade da construção. (SANTIAGO, 2011, p.42).

Para fins de eliminação de despesas desnecessárias e garantir a confiabilidade das obras, o controle de qualidade nos processos de produção e aplicação do concreto, como também os materiais que o constituem, é uma preocupação que deve ser levada em conta em todos os tipos de construções da engenharia, padronizando medidas e práticas que compreendam e atendam as requisições das normas atuais.

2.5.1 Resistência a Compressão do Concreto Endurecido com Tempo de Cura

Tendo em vista que a resistência à compressão do concreto sofre variações com o tempo, o item 8.2.4 da ANBT NBR 6118 (2014) apresenta essa variação no seguinte:

"A evolução da resistência à compressão com a idade deve ser obtida através de ensaios especialmente executados para tal. Na ausência desses resultados experimentais, podem-se adotar, em caráter orientativo, os valores indicados em 12.3.3."(ABNT NBR 6118, 2014, p.23).

No caso particular da resistência de cálculo (f_{cd}), alguns detalhes adicionais são necessários para a obtenção dos resultados, dependendo se a verificação será feita em data j igual ou superior a 28 dias, adota-se a expressão:

$$f_{ckj} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (2.2)$$

- f_{ckj} - f_{ck} em j dias
- f_{ck} - valor de resistência a compressão do concreto
- γ_c - coeficiente de ponderação.

Quando a verificação se faz com data j inferior a 28 dias usa-se a expressão:

$$f_{cd} = \frac{f_{ckj}}{\gamma_c} \cong \beta_1 \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (2.3)$$

- f_{cd} - Resistência de cálculo.
- β_1 - Correlação entre $\frac{f_{ckj}}{f_{ck}}$

Onde,

$$\beta_1 = \exp\left\{s * \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{1/2}\right]\right\} \quad (2.4)$$

- S - coeficiente definido por norma

2.5.2 Controle de Qualidade da Resistência do Concreto

Segundo Selegin (2011, p.42), na engenharia o controle de qualidade deve estar baseado em critérios objetivos, deve consistir na adequação de um produto ou serviço que tem finalidade estando, portanto, associado a um nível de desempenho, utilizando de técnicas mensuráveis a qualidade deve estar claramente definida e explicitada em procedimento de projeto, na escolha e classificação dos materiais utilizados, na execução, operação e manutenção.

O controle é definido por técnicas e planejamentos com o intuito de alcançar certo resultado com níveis padronizados de qualidade, com isso pretende-se transformar o projeto em obra acabada garantindo que o nível de qualidade preestabelecido em projeto seja atendido.(HELENE; TERZIAN, 1992).

Helene, Terzian (1992), destacam que sejam os produtos ou serviços a ser criada a metodologia de controle devem responder os seguintes questionamentos:

1. Definição da qualidade a ser atendida (especificação do projeto);
2. Definição dos métodos de ensaio;
3. Explicitação dos fatores que influem na qualidade;
4. Quantificação desses fatores;
5. Definição do lote a analisar (controle de produção) ou a julgar (controle de aceitação);
6. O procedimento da retirada de exemplares;
7. A forma de constituição da amostra;
8. A frequência de constatação da qualidade;
9. A fórmula matemática que a partir dos resultados obtidos nos ensaios estime a qualidade especificada;
10. O critério de aceitação ou rejeição (só para controle de aceitação).

Adotada na ocasião de dimensionamento da estrutura a resistência à compressão é, portanto, a propriedade, ou seja, a qualidade que se deve alcançar, estando diretamente ligada a segurança e vida útil da obra, o controle de qualidade deve assegurar que esta seja executada com valor igual ou superior a designada em projeto. (SELEGIN, 2013).

2.6 DOSAGEM DO CONCRETO

Segundo Guiamusso (1992), um dos objetivos fundamentais da dosagem de concreto é obter resultados que atenda a certos requisitos pré-determinados, que em questão foram dimensionados em projeto, isso ao menor custo possível, o que envolve decisões a respeito dos materiais a serem utilizados não apenas por serem adequados, mas em preços relativamente razoáveis.

Alves (1993), destaca também a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, e a resistência do concreto em uma idade específica, além disso, temos outro fator muito importante que é a durabilidade, mas se torna implícita já que em condições normais o concreto que alcançar a resistência esperada terá durabilidade satisfatória, em condições severas a dosagem terá que ser refeita levando em consideração outros fatores que possam atuar nas propriedades do concreto.

De acordo com Kaefer (2002), a trabalhabilidade do concreto no estado fresco tem efeito direto sobre a construtibilidade, porque determina a facilidade que uma mistura de concreto pode ser executada sem que haja segregação prejudicial, a coesão e consistência são termos compreendidos dentro da trabalhabilidade que são um tanto difíceis de mensurar quantitativamente, dispõe-se de algumas considerações gerais que definem a trabalhabilidade nas dosagens de concreto:

- A consistência do concreto deve estar dentro dos limites onde ocorre a satisfatória aplicação, compactação e acabamento;
- O consumo necessário de água para certa consistência aumenta de acordo com as relações agregado miúdo/agregado graúdo e com a quantidade de partículas finas de areia;
- Para dosagens com elevadas resistências no momento de execução, é recomendável o uso de aditivos que reduzem a quantidade de água e retardem a pega, ao contrário de se adicionar mais água à mistura, já que essa é uma das grandes causadoras da perda de resistência do concreto.

Em se tratando de segurança estrutural a resistência característica adotada em projeto é considerada a resistência mínima necessária, uma vez que a dosagem deve considerar vários fatores como: variação dos materiais, transporte, aplicação do concreto, cura e etc. objetivando alcançar uma resistência maior do que a especificada como fator de segurança. (MEHTA; MONTEIRO, 2014)

2.6.1 Ajuste e Comprovação do Traço

Segundo o que a ABNT NBR 12655 (2006):

"Antes do início da concretagem, deve-se preparar uma amassada de concreto na obra, para 50 comprovações e eventual ajuste do traço definido no estudo de dosagem. No entanto, se, o concreto utilizado for dosado em central, ou quando já tenham sido elaborados concretos com os mesmos materiais e em condições de execução semelhantes, então esse procedimento é dispensável."(ABNT NBR 12655, 2006).

De acordo com ABNT NBR 12655 (2006) permite, para seus fins, que a resistência à compressão seja verificada em função de resultados de ensaios em idades menores que 28 dias, desde que respaldados por dados sejam extraídos do estudo de dosagem. De forma a avaliar a qualidade do concreto que é utilizado na obra, tenha ele sido confeccionado in loco ou em centrais de usinagem (fornecido por empresas de serviço de concretagem), a ABNT NBR 12655 (2006), respaldada pela ABNT NBR 12654 (1992) e pela ABNT NBR 6118 (2014), expõe um conjunto de procedimentos e recomendações no âmbito das operações de ensaio e controle, que devem ser realizados para cada tipo de concreto a ser colocado na estrutura.

É recomendado que se realizem ensaios de consistência e de resistência à compressão que são tomados como instrumentos de suporte à decisão de aceitar ou não um determinado lote de concreto, e devem fazer parte da rotina da obra.

"Uma maneira de medir a consistência do concreto é por meio do abaixamento que uma quantidade predeterminada de massa, colocada em um molde metálico normalizado de forma tronco-cônica, terá quando o molde for retirado; a medida da deformação vertical e chamada de abatimento ou slump. A determinação pelo abatimento do tronco de cone é regulamentada pela ABNT NBR 7223 (1998)."(CARVALHO; FIGUEIREDO,2013, p. 26)

O concreto que é preparado dentro da obra deve ser verificado sua resistência periodicamente sempre que ocorrem alterações em seus agregados.(ABNT NBR 12655, 2006).

1. Na primeira amassada do dia;
2. Ao reiniciar o preparo após uma interrupção da jornada de concretagem de pelo menos 2h;
3. Na troca dos operadores;
4. Cada vez que forem moldados corpos de prova. Escolha dos lotes.

"As amostras de concreto para ensaios de resistência devem ser feitas através de lotes que atendam a todos os limites da Tabela 6. De cada lote, conforme define a ABNT NBR 12655 (2006), deve ser extraído uma amostra, com número de exemplares a depender do tipo de controle."

Assim Helene e Terzian (1992), afirmam que o exemplar, por sua vez, é definido como sendo uma parte individualizada do lote, que se toma para compor uma amostra representativa do mesmo; em geral, o exemplar é composto por dois corpos de prova para ruptura em uma mesma idade.

Corpo de prova, por fim, é um cilindro de dimensões regidas pela norma ABNT NBR 5738(2015), que deve ser moldado e curado com parte do concreto de uma unidade uniforme de produção, isto é, o lote.

2.6.2 Trabalhabilidade e Homogeneidade

O grau de facilidade que o concreto proporciona dentro de uma obra é denominado de trabalhabilidade, ou seja, é a facilidade que se tem de preparar e aplica-lo.

"A trabalhabilidade de um concreto, assim como sua consistência, depende da granulometria dos materiais sólidos, da incorporação de aditivos e, principalmente, do fator água/cimento (relação entre a quantidade de água e a quantidade de cimento usada na mistura do concreto)." (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2013, p. 27)

Alves (1993), destaca a trabalhabilidade ligada a três características:

- Facilidade de redução de vazios e de adensamento do concreto;
- Facilidade de moldagem, relacionada com o preenchimento da forma e dos espaços entre as barras de aço;
- Resistência a segregação e manutenção da homogeneidade da mistura, durante manuseio e vibração.

Já a homogeneidade está relacionada ao fato de fazer com que o concreto apresente a mesma composição em todos os seus pontos. (ALVES, 1993).

A distribuição dos agregados graúdos dentro da massa de concreto é um fato importante de influência na qualidade do concreto. Quanto mais uniformes, ou regulares, os agregados graúdos apresentam dispersos na massa, estando totalmente envolvidos pela pasta, sem apresentar degradação, melhor será a qualidade do concreto principalmente quando a permeabilidade e a proteção proporcionam a armadura, além de resultar em um melhor acabamento, sem a necessidade de preparos posteriores. Essa distribuição dos agregados e a homogeneidade, e, portanto, quanto mais homogêneo o concreto, melhor será a qualidade da estrutura. (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2013, p. 27)

Portanto uma boa mistura do concreto durante o preparo conseqüentemente resulta em uma homogeneidade satisfatória.

2.7 PATOLOGIAS

Segundo Silva e Abrantes (2007), patologias são todos os problemas que ocorrem numa obra durante o seu uso, que por sua vez causam prejuízos ao desempenho esperado da construção, esses problemas podem aparecer em diversos elementos da obra, como por exemplo: fundação,

vigas, pilares, vedação, instalações elétricas, hidro sanitárias, entre outras. As normas técnicas foram criadas para padronizar a execução de tais obras, sendo obrigatórias também para atender o código de defesa do consumidor, elas orientam os profissionais sobre a melhor maneira de execução dos serviços a fim de se evitarem patologias.

Nos processos de produção do concreto também pode haver erros acarretando a um concreto que não atende as especificações do projeto, também chamado de Concreto não conforme, é o concreto que apresenta $fck_{est} < fck$, preconizado pela ABNT NBR 12655 (2006), deverá ser feita uma análise estrutural da obra com o fck deste concreto para analisar se pode ser aceito. Caso não sejam aceitos, o engenheiro responsável deverá fazer uma nova análise estrutural definindo assim novos estados limites de serviço e limites últimos das peças estruturais produzidas com esse concreto, conforme recomenda a norma ABNT NBR 7680 (2015).

2.8 OBRAS DE PEQUENO PORTE

Conforme Selegin (2013), entende-se por obra, edificações residenciais, comerciais, industriais, de serviços públicos, construção de portos, pontes, aeroportos, estradas, hidroelétricas, túneis, entre outros. Este trabalho delimita-se apenas a obras de pequeno porte sem complexidade técnica de gerenciamento e execução, de até 3 (três) pavimentos, com área total construída de até $500m^2$ (quinhentos metros quadrados) e com número de colaboradores que não ultrapasse 5 (cinco) indivíduos, além disso foram estudadas edificações em que a produção do concreto utilizado foi feita na própria obra, com o auxílio de betoneira ou através de masseiras que foram dosados de acordo com o conhecimento dos serventes e pedreiros que as conduziam, foram observados os processos de produção, transporte, lançamento do concreto e acabamento dos elementos estruturais, como vigas e pilares.

Segundo uma pesquisa realizada pela Revista Gazeta do Povo (2015), a maioria das obras é feita sem acompanhamento técnico. A ideia de que é muito oneroso contratar um arquiteto ou engenheiro para desenvolver o projeto é vista pelo setor como um dos principais impedimentos. Ainda de acordo com a publicação, a autoconstrução está presente em 85% das obras particulares do país. A legislação prevê a presença de um responsável técnico nas obras, o profissional que projeta uma obra e não dispõe do acompanhamento em tal, pode estar depondo contra a qualidade da edificação em aspectos relacionados a estrutura, conforto e até a sustentabilidade dos imóveis.

A fiscalização do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais (CREA/MG), tem como objetivo garantir que serviços técnicos inerentes sejam realizados somente por profissionais devidamente habilitados. “Mas ainda é muito comum obras serem realizadas sem o projeto e acompanhamento do profissional de engenharia ou arquitetura. Principalmente no caso das reformas, já que as pessoas acham que não há complexidades e é uma obra fácil de executar”, afirma Rodrigo Castro, engenheiro civil da Construtora Carrara.

Segundo o CREA/MG, “executar a obra” significa acompanhar o andamento da obra,

orientar os pedreiros e se responsabilizar tecnicamente pela obra. Pedreiros apenas prestam serviço fornecendo sua mão de obra, não podem ser legalmente responsáveis por uma obra.

2.9 PROCEDIMENTO PADRÃO PARA A PRODUÇÃO DO CONCRETO

A ABNT NBR 7211 (2009), fixa as características para a produção de um concreto resistente e durável são adotadas algumas medidas na hora de sua dosagem (traço), a fim de garantir uma melhor qualidade e estabelecidas proporções tomando cuidados quanto aos seus materiais constituintes. É de muita importância o controle dos agregados, água, areia e pedra, para areia e pedra recomenda a utilização de materiais sempre limpos sem a presença de argila, barro ou materiais orgânicos. Já para a água deve ser doce clara e sem impurezas. (água potável).

O traço é uma forma de indicar a proporção de seus componentes (agregados), de forma a minimizar erros quanto ao seu processo produtivo, uma forma de garantir a qualidade é a utilização de balanças na hora de realizar a dosagem e preparar o traço em peso, o que seria o ideal. (PETRUCCI, 1998).

Exemplo de dosagem realizada segundo o que recomendam as normas de acordo com Freitas Jr. (2014):

Dados:

- Cimento CP V – ARI
- Adensamento com vibrador por imersão.
- Lançamento convencional, sem bomba – Abatimento $60 + / - 10mm$
- Produção do concreto dentro da condição A da NBR 12655/2006 – $S_d = 4 \text{ Mpa}$
- Limites para o a/c pela durabilidade (NBR – 6118) – Ambiente Classe II – $a/c \leq 0,60$
- $F_{ck} \geq 25 \text{ Mpa}$

Resistência de Dosagem - f_{cd}

$$f_{cd} = f_{ck} + 1,65 * S_d$$

$$f_{cd} = 25 + 1,65 * 4 = 32 \text{ Mpa}$$

Determinação da brita:

É possível utilizar brita 2, nesse caso utilizará uma mistura de brita 1 + brita 2 através da otimização da proporção 70/30. *brita2/brita1*.

Determinação do teor de argamassa ideal:

$$a + p = 5,0$$

$$\alpha = (1 + a)/(1 + a + p)$$

$$\text{Teor de argamassa } \% = \alpha \times 100$$

Teor de argamassa ideal:

Segundo Freitas Jr. (2014), a determinação do teor de argamassa ideal é feita através de tentativas, a ideia é chegar ao abatimento com menor consumo de cimento possível, observando que com o concreto na horizontal em um recipiente não seja possível "ver" nenhuma pedra isolada, ou seja, todas estejam imersas na argamassa.

Com teor de argamassa = 49 %.

O traço é expresso de maneira unitária e segue a configuração: (*cimento : areia : brita : água*), onde as proporções são adotadas sobre a massa de 1 saco de cimento (50kg).

No exemplo não foi utilizado 1 saco completo, adotando então como valor unitário 10,20 kg de cimento. Sendo assim, a proporção é:

$$1 : 2,06 : 2,94 : 0,47$$

$$\text{Abatimento obtido} = 70 \text{ mm. (60 + 10mm)}$$

Conforme a conclusão de Freitas Jr. (2014), o teor ideal de argamassa é o % (percentual) necessário para preencher os vazios entre as pedras e os agregados graúdos, cada agregado graúdo tem seu teor ideal, utilizando teor abaixo do ideal, teremos vazios no concreto prejudicando sua resistência, com teor superior ao ideal, a argamassa estará em excesso, causando desperdício de cimento.

Sendo assim para cada tipo de agregado deve ser feito um novo traço para determinação do teor de argamassa ideal que preencha os vazios do concreto e não desperdice cimento, papel que é desenvolvido pelo engenheiro civil a fim de construir com qualidade e economia.

2.9.1 Concreto Produzido em Obra

Fatores Positivos

Helene (1980), destaca que o concreto feito em obra pode se tornar uma vantagem quando o acesso por caminhões betoneiras é difícil, também por dispor de produções de menor escala atendendo assim uma obra menor e com poucos funcionários, sem contar que sendo bem produzido pode diminuir o custo da obra em uma escala significativa.

Fatores Negativos

Segundo Helene (1980), o concreto produzido na obra hoje em dia se torna uma atividade que deve ser analisada com muito critério. Outros fatores que podem pesar na decisão é que

‘produzir na obra’ afeta na limpeza, na organização e no espaço disponível no canteiro, ocupa mais mão de obra, consome mais água e energia elétrica, além das perdas de material devido a intempéries, falta de precisão na dosagem, etc.

Outra medida que deve ser tomada para quando decide-se produzir o concreto na obra é controlar o volume recebido de todos os caminhões que chegam com areia e pedra, armazenar o cimento protegido de qualquer tipo de umidade (local coberto e afastado do piso), além de ensaiar estes materiais em laboratório para conseguir um traço mais econômico.(GRACIELO, 2015).

No acompanhamento das obras de pequeno porte objeto do estudo na cidade de Inhapim, observou-se o processo de produção de concreto, bem como a sua aplicação. O processo de produção se baseia em etapas que são passadas de geração para geração, a partir de um conhecimento empírico e prático:

1. Adiciona-se água a betoneira (figura 7) sem nenhuma medida específica;
2. Coloca-se o cimento na quantidade padrão de mistura já conhecida pelo pedreiro, 1 SC (50 kg);
3. Depois se coloca a areia medida em latas ou carrinhos;
4. Adiciona o agregado graúdo a mistura.

Obs.: Caso veja que a mistura está inconsistente, ou muito "seca", coloca-se mais água sem a necessidade de medir, até conseguir uma melhor mistura dos elementos na betoneira.



Figura 7: Betoneira com a mistura de água e cimento.

Fonte: Acervo do próprio autor.

O transporte até o local de aplicação é feito utilizando um carrinho de mão (figura 8), que por vibração causa o "assentamento" da parte mais densa do concreto que fica mais no fundo e ocorre uma formação de nata de concreto na superfície do mesmo. A aplicação é feita através de latas, cheias com o auxílio de pá sem a mistura do concreto para adquirir homogeneidade novamente, o pedreiro vai colocando o concreto nas formas e com a ajuda de um pedaço de madeira espalha-o para que preencha todos os vazios e cubra as armaduras, sendo assim o concreto é aplicado devagar e em partes, em muitas das vezes o concreto já aplicado seca (figura 9), aguardando a carga de outra betoneira.



Figura 8: Transporte do concreto onde ocorre o assentamento dos agregados graúdos e formação de nata de cimento por exsudação.

Fonte: Acervo do próprio autor.



Figura 9: Aplicação do concreto as formas.

Fonte: Acervo do próprio autor.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O objeto de estudo deste trabalho é constituído por cinco obras, do tipo edifício residencial multifamiliar, classificadas segundo os parâmetros adotados inicialmente como obras de pequeno porte, com proprietários variados, localizadas na cidade de Inhapim que está situado no interior do estado de Minas Gerais, região sudeste do país. Pertence à região do Vale do Rio Doce e localiza-se a leste da capital do estado, distando desta cerca de 280 km. Ocupa uma área de $847,837 \text{ km}^2$, sua população em 2010 era de 24294 habitantes. O seu Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é de 0,709 classificados como médio em relação à média nacional.

Para fins de preservação comercial e ética dos proprietários e dos responsáveis técnicos, essas obras foram caracterizadas arbitrariamente por Obra 1, Obra 2, Obra 3, Obra 4 e Obra 5.

A Obra 1 é residencial constituída de 2 pavimentos, e área total de 350m^2 , encontrava-se em fase de concretagem das vigas, a Obra 2, também residencial, é composta de 2 pavimentos, com área total de 270m^2 , a Obra 3 é residencial multifamiliar composta de 4 pavimentos com área total de $417,25\text{m}^2$, Obra 4 é residencial com 4 pavimentos e área total de 489m^2 e por fim a Obra 5, edificação comercial/residencial contendo 3 pavimentos e área de 380m^2 , sendo que estas estavam em fase de preenchimento dos pilares.

Para a obtenção dos resultados desta análise dividiu-se a pesquisa em duas fases (fase 1 e fase 2) caracterizadas a seguir.

A) FASE 1

Nesta fase foi feito o acompanhamento das obras que estavam na etapa de execução dos elementos estruturais, pilares e vigas, onde foi dada a oportunidade de fazer uma análise dos procedimentos adotados pelos pedreiros e serventes na execução da estrutura, observando e anotando as irregularidades.

Também foram acompanhados os processos de produção do concreto para tais elementos, desde o armazenamento dos materiais, até a dosagem, procedimentos para a produção, correção do traço (quando necessário), transporte e aplicação do concreto.

B) FASE 2

Para fins de estudo da qualidade do concreto produzido foram coletadas amostras, durante a execução das obras, para verificação da resistência à compressão do concreto. Os ensaios dos corpos de prova foram realizados no laboratório de materiais de construção do Instituto Tecnológico de Caratinga.

3.1 PREPARAÇÃO DOS MOLDES

- Utilizou-se moldes com diâmetro de 10cm e altura de 20cm.
- Os moldes devem ser corretamente revestidos internamente por óleo mineral (figura 10), facilitando a retirada das amostras depois do concreto ter endurecido.
- Os moldes foram colocados em superfície rígida, plana horizontalmente, livre de vibrações e perturbações que possam causar alterações nas formas das amostras.

3.2 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

- Foi feita uma “remistura” do concreto para garantir que o mesmo esteja homogêneo, e colocou-se o concreto dentro dos moldes com o auxílio de uma concha de seção U, como o adensamento escolhido foi o manual se utilizou duas camadas para o preenchimento (figura 11).
- Utilizando a concha e a haste metálica para o adensamento e 12 golpes por camada para garantir a uniformidade do concreto dentro do molde.



Figura 10: Revestimento dos moldes com óleo mineral.

Fonte: Acervo do próprio autor.



Figura 11: Preenchimento dos moldes utilizando a concha de seção U.

Fonte: Acervo do próprio autor.

3.3 ADENSAMENTO DOS CORPOS DE PROVA

O procedimento adotado para o adensamento do concreto nos moldes foi o manual, com o auxílio de haste metálica, com o número de golpes preconizado pela Tabela 1 da ABNT NBR 5738 (figura 12):

Tipo de corpo-de-prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	9	225
Prismático	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	-	-

Figura 12: Número de camadas e número de golpes para montagem e adensamento dos corpos de prova.

Fonte: Adaptado ABNT NBR 5738: 2003, p 4.

3.4 CURA

Depois de preenchidos, os moldes devem ficar em local horizontal rígido e plano, para que não haja nenhuma variação em suas formas, para moldes cilíndricos deve-se esperar o tempo de 24 horas antes da retirada das amostras.

Passado o período de 24 horas as amostras foram retiradas dos moldes, identificadas conforme a sua procedência e imediatamente colocados em um tanque (figura 13) onde ficam submersos por solução saturada de hidróxido de cálcio, e só retirados no dia do rompimento.



Figura 13: Tanque para armazenamento dos corpos de prova.

Fonte: Acervo do próprio autor.

3.5 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização dos ensaios de resistência à compressão foram utilizados diversos materiais, relacionados a seguir:

A) Molde Cilíndrico

O molde possui reguladores de diâmetro em sua base, nesta análise utilizaram-se amostras de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura.



Figura 14: Fôrma cilíndrica para moldar os corpos de prova.

Fonte: Acervo do próprio autor.

B) Haste Metálica

Utilizada para adensamento do concreto nos corpos de prova.

C) Concha em Seção U

Usada para auxiliar no preenchimento dos moldes cilíndricos, comporta uma boa quantidade de concreto, tornando possível o enchimento do molde com o número de camadas recomendado pela norma.



Figura 15: Concha em seção U.

Fonte: Acervo do próprio autor.

D) Prensa Manual

Para os testes de compressão, utilizamos a prensa manual (figura 16) do Instituto Tecnológico de Caratinga, que possui controle digital e determina em tf (tonelada força) a máxima compressão exigida até o rompimento da amostra.



Figura 16: Prensa Manual para os ensaios de compressão do concreto.

Fonte: Acervo do próprio autor.

Descrições conforme o manual da prensa:

- Prensa manual hidráulica, capacidade de 100 toneladas, com controle Digital;
- Marca: Pavitest I-3001-C.

3.6 PROCEDIMENTOS PARA A PREPARAÇÃO E ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA

- Ajustar as faces das amostras para que estejam paralelas com os pratos da prensa, utilizando o capeamento próprio da prensa que é feito de Neopreme.
- Ao manusear o compressor, deve-se atentar se a válvula do injetor está fechada;

- Posicionar a amostra no meio do prato e girar a prensa até que este se encoste à sua face superior;
- Através do cabo de acionamento e com a válvula na posição correta inicia-se a aplicação da carga, com movimentos contínuos até que se observa que a carga parou de aumentar (quanto o corpo de prova se rompeu);
- Após o rompimento (figura 17), fechar novamente a válvula, retirar a amostra e continuar com os testes.



Figura 17: Amostra após o rompimento em 7 dias.

Fonte: Acervo do próprio autor.

3.7 CONTROLE ESTATÍSTICO DO CONCRETO POR AMOSTRAGEM PARCIAL

Conforme a ABNT NBR 12655 (2006), para este tipo de amostragem, em que são retirados exemplares de algumas betonadas, é possível realizar o rompimento com o mínimo de 6 amostras para concretos do grupo I (classes até C50).

Para ensaios com número de amostras compreendidas entre $6 \leq n \leq 20$, estima-se o valor de resistência a compressão através da expressão:

$$fck_{est} = 2 * \frac{f1 + f2 + \dots + f_{m-1}}{m - 1} - f_m \quad (3.1)$$

onde:

- $m = n/2$. Se for ímpar, despreza-se o valor mais alto de n .
- $f1, f2, \dots, f_m$ valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente.

Contudo, não se deve adotar valores para fck_{est} menores do que $\psi_6 * f1$, valores de ψ_6 obtidos através da ABNT NBR 12655 (2015) conforme figura 18, em função do preparo do concreto e número de amostras coletadas.

Condição de preparo	Número de exemplares (n)										
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	≥ 16
A	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02
B ou C	0,75	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,02
NOTA	Os valores de n entre 2 e 5 são empregados para os casos excepcionais (ver 6.2.3.3).										

Figura 18: Valores de ψ_6 .

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 12655.

Os resultados obtidos, ou seja, os valores da resistência à compressão dos corpos de provas ensaiados serão apresentados em forma de tabela. Foram coletadas 10 amostras de concreto de cada obra e realizado dois ensaios para 7 e 21 dias, para os ensaios de 28 dias, mais relevantes para esta análise foram feitos seis rompimentos, a escolha dos resultados foi feita de acordo com a amostragem parcial utilizando o fck_{est} .

Na composição do banco de dados os valores dos ensaios foram separados em função da obra, da idade de cura das amostras e dos valores da resistência à compressão.

Mesmo sendo inseridos valores de resistência de idades variadas do concreto (07 e 21 dias), somente os valores de resistência à compressão aos 28 dias foram considerados, tornando-se como referência a resistência característica especificada em projeto, os métodos para retirada dos corpos de prova foram adotados conforme a ABNT NBR 5738 e ABNT NBR 7215, para o cálculo da resistência a ABNT NBR 5739. Segundo a ABNT NBR 7222 (1994):

"Os corpos de prova devem ser moldados e curados conforme ABNT NBR 7215 (1996) e ABNT NBR 5738 (2015). Admite-se a utilização de corpos de prova de relação comprimento/diâmetro entre 1 e 2; para tal deve ser utilizado o dispositivo de moldagem descrito no Anexo, o número de camadas deve ser respectivamente, entre 2 e 4."(ABNT NBR 7222, 1994, p.1).

Com tudo pode-se notar por meio das pesquisas em campo que muitas são as obras que dispõem de um projeto feito por um profissional habilitado, mas poucas dispõem de um acompanhamento eficaz. Notou-se através de visitas, a importância do acompanhamento de um profissional, principalmente, na fase de execução da infraestrutura e estrutura, ou seja, fundação, pilares e vigas etc.

Em uma visita a uma das obras, em que foi feito o acompanhamento para esta pesquisa, constatou-se alguns problemas em partes da estrutura que havia sido concretada, onde a qualidade do concreto se aparentou bastante precária. Após alguns dias através de visita à obra foi verificado que o concreto de um dos pilares estava esfarinhando ao simples contato com a mão, mostrando notória a deficiência em sua produção.

As causas desta informalidade são várias, contudo as mais frequentes são:

- Desconhecimento das exigências legais para construir;
- Desconhecimento dos benefícios que o profissional pode proporcionar;
- Opinião equivocada de que contratar um profissional é um mero custo adicional.

Além da exigência legal, pois nenhuma obra pode ser iniciada sem o devido acompanhamento de profissional habilitado nem mesmo sem aprovação do projeto pelo órgão municipal, a contratação de um profissional pode significar uma redução considerável no custo final da obra, indo na contramão do que se julga ser uma elevação de custos, pois a visão global de um profissional permite planejar todas as etapas da obra, evitando desperdícios de material e reduzindo o tempo de obra, além de aperfeiçoar os espaços e garantir uma boa distribuição de todos os ambientes.

A presença do responsável técnico dentro do canteiro de obras, torna mais fácil a comunicação entre os pedreiros e o projeto, além de recomendações e boas práticas que este pode estar apresentando aos colaboradores, o responsável técnico pode supervisionar ensaios experimentais do concreto produzido, com o intuito de garantir a eficiência na produção e neste contexto, inserir um controle de qualidade mais rigoroso.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A prensa utilizada para o rompimento dos corpos de prova fornece resultados na unidade de tonelada força (Tf), sendo assim foi necessária uma conversão dos resultados obtidos para que tivéssemos dados em unidades Mega Pascoal (MPa).

$$1tf = 10kN = 10 \times 10^3 N$$

A resistência prevista e requerida em projeto foi de 20 MPa para todas as obras coletadas e o cimento utilizado foi o CP III nas obras 1 e 2, e CP IV nas obras 3, 4 e 5.

Foi utilizado o molde de corpos de prova cilíndrico com dimensões de $\Phi 100mm$, e com área que pode ser expressa pela seguinte equação:

$$Área = \frac{\pi d^2}{4} \quad (4.1)$$

$$Área = \frac{\pi(100)^2}{4} = 7853,98mm^2 \quad (4.2)$$

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014, p. 71), a relação entre f_{ckj}/f_{ck} é dada por β_1 , verificação que deve ser realizada aos t dias, para cargas aplicadas até esta data.

$$\beta_1 = \exp\left\{s * \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{\frac{1}{2}}\right]\right\} \quad (4.3)$$

$s = 0,38$ para concreto de cimento CP III e IV; $s = 0,25$ para concreto de cimento CPI e II; $s = 0,20$ para concreto de cimento CPV-ARI; t é a idade efetiva do concreto, expressa em dias.

Com isso, foi feita uma estimativa das resistências que as amostras deveriam alcançar em 7, 21 e 28 dias para a resistência pré-estabelecida de 20 MPa, levando-se em conta ainda que o cimento utilizado nas obras foi o CP III e CP IV, adotando o valor de s igual a 0,38.

Em 7 dias:

$$\beta_1 = \exp\left\{0,38 * \left[1 - \left(\frac{28}{7}\right)^{\frac{1}{2}}\right]\right\} = 0,683 \quad (4.4)$$

Em 21 dias:

$$\beta_1 = \exp\left\{0,38 * \left[1 - \left(\frac{28}{21}\right)^{\frac{1}{2}}\right]\right\} = 0,941 \quad (4.5)$$

Em 28 dias:

$$\beta_1 = \exp\left\{0,38 * \left[1 - \left(\frac{28}{28}\right)^{\frac{1}{2}}\right]\right\} = 1,0 \quad (4.6)$$

Esses valores representam os percentuais das resistências esperadas que são: 68,3% para 7 dias, 94,1% para 21 dias e aos 28 dias se espera que a resistência atinja o seu máximo, 100%, ou seja, 20 MPa.

Com isso podemos calcular as resistências aspiradas nas obras, 1, 2, 3, 4 e 5, nos respectivos dias de rompimento das amostras já citados baseando-se na resistência de 20 MPa predeterminada em projeto através da seguinte equação:

$$f_{ck,j} = \beta_1 * f_{ck} \quad (4.7)$$

$f_{ck,j}$ = resistência característica do concreto com idade em j dias

β_1 = relação $f_{ck,j}/f_{ck}$

f_{ck} = força resistente a compressão

Em 7 dias: $F_{ck_7} = 0,683 * 20 = 13,66 MPa$

Em 21 dias: $F_{ck_{21}} = 0,941 * 20 = 18,82 MPa$

Em 28 dias: $F_{ck_{28}} = 1,0 * 20 = 20 MPa$

Sendo assim, as resistências a serem obtidas nos ensaios de rompimento para as amostras deveriam alcançar os valores de 13,66 MPa em 7 dias, 18,82 MPa em 21 dias e 20 MPa aos 28 dias. Com esses valores elaboramos o gráfico 1 conforme figura 19, que mostra a curva, onde fica clara a evolução prevista para a resistência do concreto ao longo do tempo.

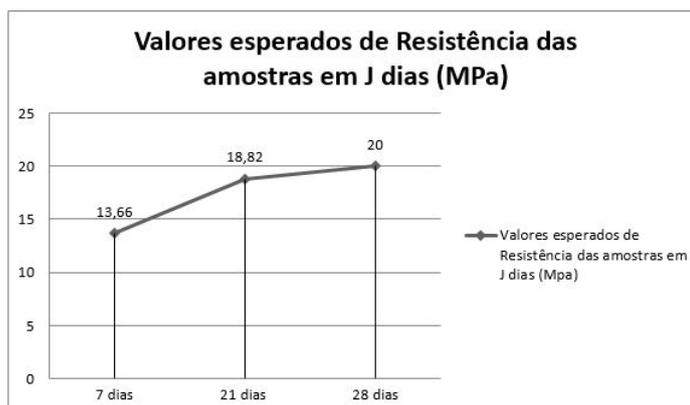


Figura 19: Resistências esperadas das amostras de concreto.

Fonte: elaborado pelos autores.

Os dados obtidos no rompimento das amostras utilizando a prensa foram dispostos na tabela a seguir com os valores indicado pelo equipamento em Tonelada força (Tf).

Tabela 2: Valores obtidos pelo rompimento das amostras de concreto.

Obras	Valores dos Rompimentos em Tf									
	7 dias		21 dias		28 dias					
Obra 1	3,70	4,95	6,29	6,72	6,78	6,86	6,89	6,91	6,94	6,97
Obra 2	2,91	3,34	3,57	4,46	4,44	4,97	5,03	5,15	5,32	5,38
Obra 3	4,25	4,26	5,69	6,16	6,75	6,77	6,81	6,82	6,83	6,98
Obra 4	2,53	3,11	3,65	4,81	5,07	5,18	5,25	5,33	5,35	5,76
Obra 5	4,01	4,31	6,85	7,14	7,43	7,58	7,62	7,97	7,97	8,11

Fonte: elaborada pelos autores.

A partir dos dados encontrados pelo rompimento das amostras, pode-se fazer os cálculos contidos nos Apêndices A e B, e encontrar os respectivos valores em Mega Pascoal (MPa) que foram alcançados pelos corpos de prova, esses dados foram detalhados como estão dispostos na tabela 3, separando-os por obra e data de rompimento.

Tabela 3: Resultados das amostras em Mega Pascoal.

Resultados das amostras coletadas (MPa)										
OBRAS	OBRA 1		OBRA 2		OBRA 3		OBRA 4		OBRA 5	
DATA DA COLETA	20/10/2016		20/10/2016		20/10/2016		20/10/2016		20/10/2016	
7 DIAS 27/10/2016	CP 1	CP 2	CP1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2
AMOSTRAS	4,71	6,30	3,71	4,25	5,41	5,42	3,22	3,96	5,49	5,11
21 DIAS 10/10/2016	CP 1	CP 2								
AMOSTRAS	8,01	8,56	4,55	5,68	7,24	7,84	4,65	6,12	8,72	9,09
28 DIAS 17/10/2016	CP									
AMOSTRAS FCK, est	8,57		5,56		8,52		6,35		9,39	

Fonte: elaborada pelos autores.



Figura 20: Gráfico baseado nos valores obtidos das amostras da Obra 1.

Fonte: elaborado pelos autores.

Nota-se que para a Obra 1, as resistências obtidas pelas amostras ensaiadas, não atingiram nem a metade da resistência mínima prevista, nas diversas idades, figura 20.

Foram retiradas duas amostras, coletadas em momentos diferentes para garantir que obtivésse resultados mais completos do concreto a ser analisado. Observou-se que as amostras apresentaram variação elevada, e através da figura 20, fica claro que a resistência alcançada aos 28 dias pelas amostras de concreto está bem abaixo da esperada em projeto que é de 20 MPa. Sendo assim, pode-se identificar que os problemas nos processos produtivos já mencionados como: falta de controle da quantidade de água que é adicionada a mistura, condições e armazenamento dos materiais, mistura dos mesmos, transporte até o local de aplicação, métodos de execução dos elementos estruturais entre outros, são as principais causas da perda de resistência do concreto produzido em obras pequenas.

Traço utilizado para este concreto:

- 1 sc de cimento 50 kg;
- 7 latas de areia (volume da lata indefinido);
- 5 latas e meia de brita;
- +/- 4 baldes de água (volume indefinido).

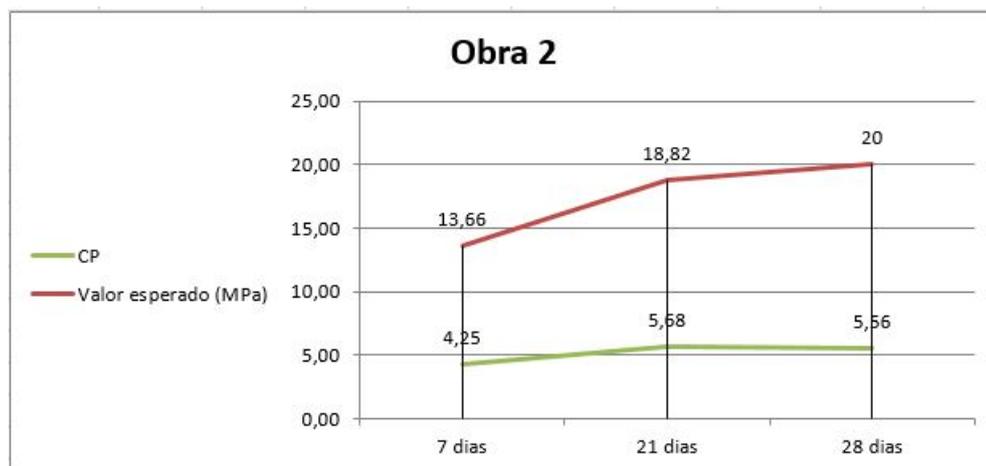


Figura 21: Gráfico baseado nos valores obtidos das amostras da Obra 2.

Fonte: elaborado pelos autores.

O concreto produzido em obra, pode-se tornar bem prejudicial quando não se tem o controle adequado no processo de produção, uma vez que os fatores negativos superam os positivos resultando em um concreto de baixa resistência, gastando uma maior quantidade de materiais e tornando o seu custo/benefício menos satisfatório, além de afetar na limpeza e organização da obra podendo haver até perda de materiais, a figura 21, representa com clareza essa deficiência, verifica-se que a resistência das amostras ficaram muito baixas em relação a mínima exigida.

Traço utilizado para este concreto:

- 1 sc de cimento 50 kg;
- 8 latas de areia (volume da lata indefinido);
- 6 latas de brita;
- água adicionada com auxílio de mangueira. (volume indefinido).

De acordo com os traços observados, este da Obra 2 se apresenta com quantidades bem elevadas de areia, o que conseqüentemente provoca o consumo de água mais elevado e com isso a queda do fator água/cimento e a perda de resistência.



Figura 22: Gráfico baseado nos valores obtidos das amostras da Obra 3.

Fonte: elaborado pelos autores.

Nesta obra foi notório o despreparo dos operários na produção do concreto, uma vez que não sabiam o valor da resistência a ser alcançada pelo concreto que estavam produzindo, a disposição dos materiais dificultava a eficiência da produção e conseqüentemente a mistura, a água adicionada sem nenhuma medida, simplesmente dosada pelo conhecimento prático do servente acabou tomando proporções excessivas, deixando o concreto muito fluido na primeira betonada, momento em que houve uma “correção” na dosagem dos materiais adicionando mais agregados e cimento, sem medidas. Portanto podemos salientar que devido ao processo de produção não obedecer nenhum padrão, conseqüentemente traz prejuízos na qualidade do concreto produzido.

Traço utilizado para este concreto:

- 1 sc de cimento 50 kg;
- 7 latas de areia (volume da lata indefinido);
- 5 latas de brita;
- +/- 4 baldes de água (volume indefinido).

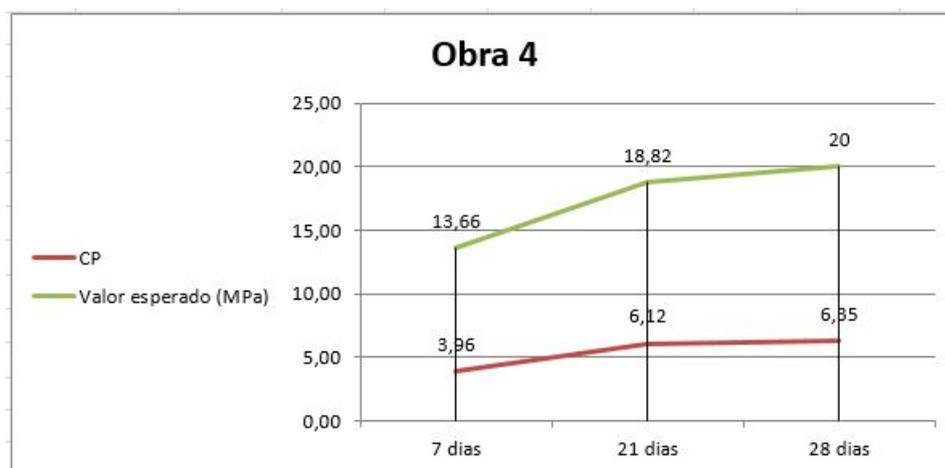


Figura 23: Gráfico baseado nos valores obtidos das amostras da Obra 4.

Fonte: elaborado pelos autores.

Na Obra 4, pode-se observar que o controle de água que é adicionada a mistura do concreto se dá através da análise visual da betonada e conhecimento prático dos funcionários para garantir uma boa trabalhabilidade, ou seja, quando eles percebem que o concreto alcançou uma consistência fluida o bastante para a aplicação nas fôrmas. Para adição de água eles utilizaram um balde em que não tinham noção do seu volume e por fim não sabiam a quantidade de água que foi utilizada na mistura. Novamente, nota-se que o fator água/cimento, principal responsável pela resistência a compressão do concreto sofreu perda significativa, alterando drasticamente o valor da resistência do concreto aos 28 dias, conforme figura 23.

Traço utilizado para este concreto:

- 1 sc de cimento 50 kg;
- 6 latas de areia (volume da lata indefinido);
- 5 latas de brita;
- 5 baldes de água (volume indefinido).

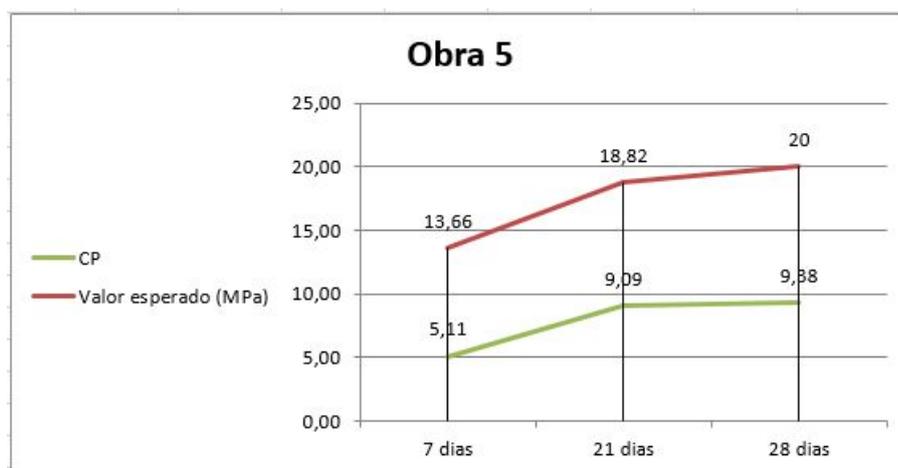


Figura 24: Baseado nos valores obtidos das amostras da Obra 5.

Fonte: elaborado pelos autores.

A grande variação nas resistências das amostras na Obra 5, apontam um processo de produção que não possui nenhuma padronização, seja nas proporções dos materiais ou na mistura dos mesmos em cada betonada, sendo assim apresentam grandes diferenças na qualidade de um concreto para o outro.

Traço utilizado para este concreto:

- 1 sc de cimento 50 kg;
- 6 latas de areia (volume da lata indefinido);
- 5 latas de brita;
- +/- 4 baldes de água (volume indefinido).

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos através das amostras coletadas nas Obras 1, 2, 3, 4 e 5 apresentaram valores inferiores aos previstos em projeto, 20 MPa e ao mínimo exigido para datas intermediárias.

As amostras rompidas mostraram uma grande deficiência nos processos de produção do concreto em obras pequenas, se até 5% dos resultados ficassem abaixo do fck determinado o concreto ainda seria considerado conforme, sendo assim a análise mostra que o concreto não está em conformidade com as normas. O acompanhamento da produção deixou claro que os colaboradores não tinham o conhecimento necessário para garantir um controle de qualidade eficiente, não há dosagem dos materiais de maneira criteriosa e não tem controle da quantidade de água que é adicionada a mistura, fator que afeta diretamente na relação água/cimento, principal causadora da perda de resistência.

Conclui-se com os resultados obtidos que o concreto produzido na própria obra, ao invés de trazer benefícios e economia para o proprietário, pode causar patologias e anomalias na estrutura, acarretar gastos com possíveis correções e ainda reduzir sua vida útil, devido ao seu valor de resistência à compressão tão baixa. Além desses prejuízos podemos citar alguns problemas estéticos e estruturais também causados por essa deficiência como fissuras, trincas e rachaduras, que em casos mais graves podem levar a construção a ruína.

Sendo ainda muito utilizado, o concreto produzido em própria obra, precisa de uma atenção maior de todos os responsáveis direta e indiretamente pela produção do mesmo, uma vez que todos são responsáveis pela qualidade final do produto e se em todas as etapas forem atendidas todas as exigências e com um controle de qualidade eficiente o concreto poderá ser produzido atendendo a resistência determinada no projeto.

A presença do engenheiro na obra é importante, independente, se o concreto é produzido em central ou in loco, uma vez que este deve orientar os operários a fim de trabalharem de maneira padronizada, eficiente e atendendo as exigências das normas técnicas, como também pode fiscalizar o processo de produção e através de ensaios garantir que o controle de qualidade é eficiente, e os materiais utilizados são de boa qualidade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova** : NBR 5738. Rio de Janeiro, 2015
- . **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**: NBR 5739: Rio de Janeiro, 2007.
- . **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**:NBR 6118. Rio de Janeiro, 2014.
- . **Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto**:NBR 7680. Rio de Janeiro, 2015.
- . **Agregados Para Concreto – Especificação**:NBR 7211. Rio de Janeiro, 2009.
- . **Execução de concreto dosado em central - Procedimento**:NBR 7212. Rio de Janeiro, 2012.
- . **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**:NBR 7215. Rio de Janeiro, 1996.
- . **Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**:NBR 7222. Rio de Janeiro, 2011.
- . **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento**:NBR 12655. Rio de Janeiro, 2015.
- . **Concreto: amostragem de concreto fresco**:NBR NM 33. Rio de Janeiro, 1998
- . **Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**:NBR NM 67. Rio de Janeiro, 1996.
- . **Agregados - Determinação da composição granulométrica**:NBR NM 248. Rio de Janeiro, 2003
- ALVES, J. D. – **Manual de Tecnologia do Concreto**: Goiânia, Editora UFG, 1993.
- ANDOLFATO, R. P. – **Concreto**: Controle Tecnológico Básico do Concreto. Ilha Solteira, 2002.
- CARVALHO, R. C ;FIGUEIREDO FILHO, J. R.de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas usuais de concreto armado:Segundo a NBR 6118:2003** 3.ed.São Carlos:EdUFSCar,2013.
- COUTINHO, A. S. - **Fabrico e propriedades do betão**, v.1. Lisboa: LNEC, 1993.
- FREITAS JR, José de Almeida, **Dosagem de concretos**, Universidade Federal do Paraná, 2014.
- GEYER A. L. B.; SÁ RODRIGO R. – **Importância do controle de qualidade no estado fresco**:. Informativo técnico, Goiana, V.2, P.1-6 ,julho 2006.
- GIAMMUSSO, S. – **Concreto**: Manual do Concreto. São Paulo, PINI, 1992.

- GRACIELO, J. **Concreto**, 2009.: <<http://obratecnica.blogspot.com.br/2009/07/concreto.html/>>. Acesso em: 12 de nov. de 2016, 16:05:13.
- HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. – **Concreto: Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo, PINI, 1992.
- HELENE, Paulo RL. **Controle de qualidade do concreto**. São Paulo, 1980.
- KAEFER, L.F. – **Considerações sobre a microestrutura do concreto**., Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.
- MATHEUS, I.; MELO, R. – **Concreto: da origem às novas tecnologias** Disponível em: <<http://www.petci.vil.ufc.br/portal/>> Acesso: 12 nov. de 2016, 10:33:45.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. – **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. Edição de Nicole Pagan Hasparyk. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.
- NEVILLE, A.N, BROOKS, J.J. – **Tecnologia do Concreto**. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- PACHECO, J.; HELENE, P. **Controle de resistência do Concreto**, 2013. 18 f. Boletim Técnico 9, Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de La Construcción (ALCONPANT). Mérida, 2013. Disponível em: <<http://alconpat.org.br/publicacoes/>>. Acesso em: 12 de nov. de 2016, 11:25:02.
- PETRUCCI, E. G. R. – **Concreto de cimento Portland** **Concreto de cimento Portland**., Ed. Globo, São Paulo 1998.
- SEMINARIO SOBRE PAREDES DE ALVENARIA, 2002, Porto – **Patologia em paredes de alvenaria**: J. Mendes da Silva e Vitor Abrantes, 2007.
- SELEGIN, C. H.- **Análise Quantitativa E Qualitativa Da Conformidade Do Concreto Estrutural**: Um Estudo De Caso Em Obras De Caruaru-Pe, Monografia – Universidade Federal de Pernambuco, 2013.
- TUTIKAN, B. F.; HELENE, P. Dosagem de concreto de cimento Portland. In: ISAIA, G, C. – **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. Vol. 1.
- VAQUERO. A. A.- **Concreto saudável** Disponível em: <<http://www.educacional.com.br/userdata/construtor/611/611599/REFERENCIA.HTML>>. Acesso em: 25 out. de 2016, 16:01:54.
- SANTIAGO W. C. - **Estudo Da (Não-) Conformidade De Concretos Produzidos No Brasil E Sua Influência Na Confiabilidade Estrutural**, dissertação Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2011.

APÊNDICE A - CÁLCULOS PARA ANÁLISE DOS RESULTADOS EM MPA

A.1 OBRA 1

Em 7 dias:

Amostra 1

$$\sigma = \frac{3,70 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 4,71 MPa \quad (A.1)$$

Amostra 2

$$\sigma = \frac{4,95 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 6,30 MPa \quad (A.2)$$

Em 21 dias:

Amostra 1

$$\sigma = \frac{6,29 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 8,01 MPa \quad (A.3)$$

Amostra 2

$$\sigma = \frac{6,72 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 8,56 MPa \quad (A.4)$$

Em 28 dias:

Amostra 1

$$\sigma = \frac{6,86 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 8,73 MPa \quad (A.5)$$

Amostra 2

$$\sigma = \frac{6,94 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 8,84 MPa \quad (A.6)$$

A.2 OBRA 2

Em 7 dias:

Amostra 1

$$\sigma = \frac{2,91 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 3,71 MPa \quad (A.7)$$

Amostra 2

$$\sigma = \frac{3,34 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 4,25 MPa \quad (A.8)$$

Em 21 dias:

Amostra 1

$$\sigma = \frac{3,57 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 4,55 MPa \quad (A.9)$$

Amostra 2

$$\sigma = \frac{4,46 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 5,68 MPa \quad (A.10)$$

Em 28 dias:

Amostra 1

$$\sigma = \frac{4,44 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 5,65 MPa \quad (A.11)$$

Amostra 2

$$\sigma = \frac{5,38 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 6,85 MPa \quad (A.12)$$

A.3 OBRA 3

Em 7 dias:

Amostra 1

$$\sigma = \frac{4,25 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 5,41 MPa \quad (A.13)$$

Amostra 2

$$\sigma = \frac{4,26 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 5,42 MPa \quad (A.14)$$

Em 21 dias:

Amostra 1

$$\sigma = \frac{5,69 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 7,24 MPa \quad (A.15)$$

Amostra 2

$$\sigma = \frac{6,16 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 7,84 MPa \quad (A.16)$$

Em 28 dias:

Amostra 1

$$\sigma = \frac{6,83 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 8,70 MPa \quad (A.17)$$

Amostra 2

$$\sigma = \frac{6,98 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 8,89 MPa \quad (A.18)$$

A.4 OBRA 4

Em 7 dias:

Amostra 1

$$\sigma = \frac{2,53 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 3,22 MPa \quad (A.19)$$

Amostra 2

$$\sigma = \frac{3,11 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 3,96 MPa \quad (A.20)$$

Em 21 dias:

Amostra 1

$$\sigma = \frac{3,65 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 4,65 MPa \quad (A.21)$$

Amostra 2

$$\sigma = \frac{4,81 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 6,12 MPa \quad (A.22)$$

Em 28 dias:

Amostra 1

$$\sigma = \frac{5,35 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 6,81 MPa \quad (A.23)$$

Amostra 2

$$\sigma = \frac{5,76 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 7,33 MPa \quad (A.24)$$

A.5 OBRA 5

Em 7 dias:

Amostra 1

$$\sigma = \frac{4,31 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 5,49 MPa \quad (A.25)$$

Amostra 2

$$\sigma = \frac{4,01 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 5,11 MPa \quad (A.26)$$

Em 21 dias:

Amostra 1

$$\sigma = \frac{6,85 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 8,72 MPa \quad (A.27)$$

Amostra 2

$$\sigma = \frac{6,85 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 8,72 MPa \quad (A.28)$$

Em 28 dias:

Amostra 1

$$\sigma = \frac{7,97 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 10,15 MPa \quad (A.29)$$

Amostra 2

$$\sigma = \frac{8,11 * 10 * 10^3 N}{7854,98 mm^2} = 10,33 MPa \quad (A.30)$$

A.6 CÁLCULOS DA RESISTÊNCIA ESTIMADA

Obra 1:

$$fck_{est} = 2 * \frac{8,61 + 8,78}{2} - 8,75 = 8,57MPa \quad (A.31)$$

Obra 2:

$$fck_{est} = 2 * \frac{5,63 + 6,31}{2} - 6,39 = 5,26MPa \quad (A.32)$$

Obra 3:

$$fck_{est} = 2 * \frac{8,57 + 8,59}{2} - 8,65 = 8,52MPa \quad (A.33)$$

Obra 4:

$$fck_{est} = 2 * \frac{6,44 + 6,58}{2} - 6,66 = 7,31MPa \quad (A.34)$$

Obra 5:

$$fck_{est} = 2 * \frac{9,43 + 9,62}{2} - 9,67 = 10,29MPa \quad (A.35)$$