

AVALIAÇÃO DE CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETOS USINADOS PRODUZIDOS NA REGIÃO DE JOÃO MONLEVADÉ

Frederico Arthur Macedo Zanetti¹

Henrique Barros Moreira²

Pedro Valle Salles³

Flávio Marques Brandão⁴

Hélio Augusto Goulart Diniz⁵

RESUMO

A qualidade do concreto é um fator fundamental para o desempenho final de uma estrutura. Diferentemente do aço, sua qualidade pode variar constantemente por diversos fatores. Assim, essa pesquisa teve como objetivo avaliar as características mecânicas do concreto usinado nas principais concreteiras que atendem a cidade de João Monlevade. A pesquisa é de natureza aplicada, experimental, qualitativa e quantitativa, desenvolvida através de um estudo de caso. Após a realização deste, concluiu-se que duas das três empresas analisadas não obtiveram resultado satisfatório quanto à resistência à compressão, evidenciando a necessidade de um controle rígido quanto às análises de corpos-de-prova.

Palavras-chave: Concreto. Corpos-de-Prova; Qualidade; Compressão Axial; Absorção.

EVALUATION OF READY-MIXED CONCRETE SPECIMENS PRODUCED IN THE JOÃO MONLEVADÉ REGION

ABSTRACT

The quality of concrete is a fundamental factor for the final performance of a structure. Unlike steel, its quality can vary constantly due to various factors. Thus, this work aimed to evaluate the mechanical characteristics of ready-mix concrete from the main concrete suppliers serving the city of João Monlevade. The study was based on applied, experimental, qualitative, and quantitative research, developed through a case study. After carrying out this research, it was concluded that two of the three companies analyzed did not achieve satisfactory results regarding compressive strength, highlighting the need for strict control over the testing of concrete specimens.

Keywords: Concrete; Test Specimens; Quality; Axial Compression; Absorption.

Recebido em 08 de setembro de 2025. Aprovado em 27 de setembro de 2025

¹ Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil

² Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil

³ Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil

⁴ Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil

⁵ Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil e Centro Universitário Estácio de Belo Horizonte (Bolsista do Programa Pesquisa Produtividade), Minas Gerais, Brasil. heliougmail@gmail.com

INTRODUÇÃO

O método construtivo mais utilizado no Brasil, atualmente é a alvenaria convencional, que pode ser aplicada em casas, prédios e nos mais diversos tipos de construções. Dentre eles podemos citar as construções das grandes cidades, das indústrias e das áreas rurais. Toda a sustentação da alvenaria é feita de concreto e aço, denominado assim concreto armado.

O concreto convencional é um material composto por água, cimento e agregados. Associando esses materiais, podemos ter como resultado a pasta, a argamassa e o concreto. A pasta se caracteriza pela mistura de água e cimento. A argamassa se caracteriza pela mistura de agregado miúdo mais a pasta. O concreto se caracteriza pela mistura de agregado graúdo mais a argamassa (Carvalho, 2014).

O concreto tem sua aplicação nos mais variados tipos de estruturas, desde grandes barragens até sofisticados edifícios com estruturas pré-tensionadas. Comparado aos metais, cerâmicas e materiais poliméricos, geralmente o concreto é o menos dispendioso, apresenta resistência e durabilidade adequadas e requer menos energia para ser produzido (Fonseca, 2010).

Como o concreto é obtido por meio da mistura adequada de água, cimento, agregado miúdo e agregado graúdo, algumas vezes são incorporados alguns produtos químicos ou outros componentes como polímeros e microsilicas. As adições dos componentes têm por finalidade melhorar algumas características do concreto (Carvalho, 2014).

Levando-se em consideração a importância do concreto e de se cumprir os requisitos previstos no projeto estrutural, o presente estudo propôs analisar a resistência mecânica do concreto moldado por concreteiras na cidade de João Monlevade, para possibilitar um comparativo entre as amostras e verificar se as resistências à compressão mínima estão sendo alcançadas.

Essa pesquisa utilizou as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), para comprovar a resistência mecânica do concreto, especificamente a NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndrico (ABNT, 2007), a NBR 5738 Concreto – procedimento para modelagem e cura do corpo-de-prova (ABNT, 2015), e a NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica (ABNT, 2009).

O objetivo foi avaliar diferentes amostras do concreto utilizado em empreendimentos na cidade de João Monlevade, com o intuito de verificar se a suas características mecânicas condizem com o estabelecido pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e com os respectivos projetos construtivos.

Para verificar essas características, foram analisadas a resistência à compressão das amostras e a absorção da água por imersão dos concretos estudados, além de uma análise comparativa dos resultados dos ensaios realizados nas amostras de concreto.

Esta pesquisa buscou responder às seguintes perguntas: o concreto fornecido pelas usinas que operam em João Monlevade atende às especificações estipuladas no projeto? A resistência mecânica à compressão e o índice de absorção estão dentro dos limites admissíveis? É possível traçar comparativos entre as amostras em relação à empresa de origem?

Em relação à metodologia, esta pesquisa caracteriza-se como aplicada, experimental, qualitativa e quantitativa, desenvolvida através de um estudo de caso.

Os principais autores que serviram de suporte teórico para esta pesquisa são Neville e Brooks (2013), Mehta e Monteiro (2014) e Carvalho (2014).

REFERÊNCIAL TEÓRICO

Cimento

O principal material para fabricar o concreto é o cimento, que para Neville (2016) pode ser descrito como um material com propriedades adesivas e coesivas que o fazem capaz de unir fragmentos de minerais na forma de unidade compacta. Essa definição abrange uma grande variedade de materiais cimentícios.

Para Neville (2016), na área da construção civil o termo “cimento” é restrito a materiais aglomerantes, utilizados com pedras, areias, tijolos, blocos para alvenaria entre outros. Na construção civil, o interessante são cimentos à base de calcário, visto que reagem com a água. Os cimentos para a produção de concreto devem ter essa propriedade de reagir e endurecer sob a influência da água, chamados cimentos hidráulicos.

Trindade (2012) ressalta que o cimento Portland foi desenvolvido em 1824. Após vários anos de experiências frustradas para obtenção de um aglomerante produzido industrialmente, Joseph Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, a seguir, moeu-as, transformando a mistura em pó fino. Após a secagem, desse pó fino, percebeu que não dissolvia em água e tornava-se tão duro quanto as pedras empregadas nas construções locais. A descoberta recebeu o nome de cimento Portland, pois tem grande semelhança de propriedades com as rochas da ilha de Portland e recebeu a patente pelo Rei George IV, em outubro de 1824.

Segundo a norma NBR 12655 - Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento (ABNT, 2015), o cimento Portland é definido como aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante essa operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio, umas das matérias primas do gesso. Durante a moagem é permitido adicionar, à essa mistura, materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores indicados nas normas específicas.

O cimento Portland é constituído principalmente de material calcário, como rocha calcária e/ou gesso, alumina e sílica. Esta matéria prima é moída e misturada nas proporções adequadas, e queimada a uma temperatura de cerca de 1450°C, formando pelotas, através da fusão desses ingredientes conhecidos como clínquer (Silva, 2005), conforme ilustra a Figura 1.

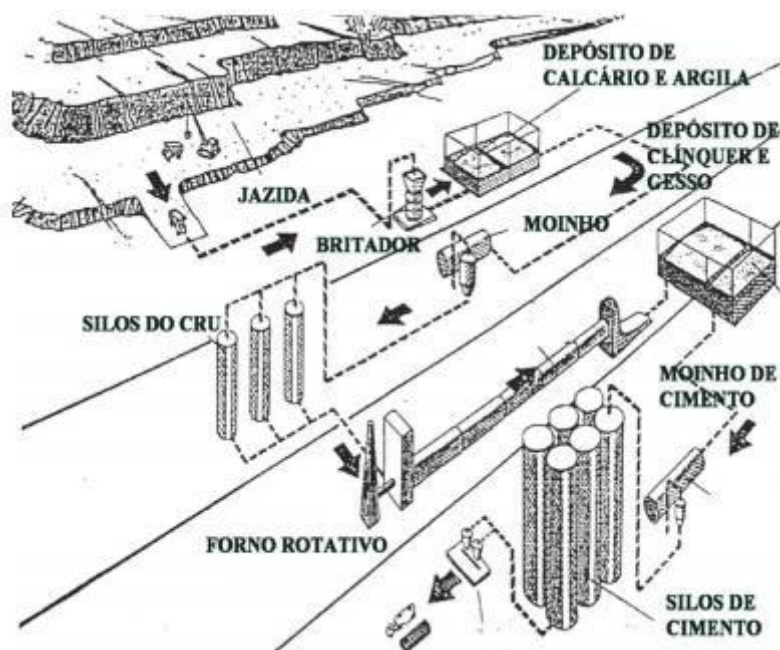


Figura 1: Fluxograma de fabricação do cimento Portland. Fonte: Kihara et al. (1990).

Concreto

O concreto era produzido com a mistura de apenas 3 materiais: cimento agregados e água, sendo que o cimento era quase sempre o cimento Portland. Com o passar do tempo, e com o objetivo de melhorar algumas características do concreto, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, foram sendo adicionadas quantidades muito pequenas de produtos químicos, os chamados aditivos, incorporadas ao traço (Neville; Brooks, 2013).

A norma NBR 12655 (ABNT, 2015), define o concreto de cimento Portland como o material formado pela mistura de cimento, agregado miúdo, graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, metacaulim ou sílica ativa), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água).

Neville e Brooks (2013) afirmam também que o concreto pode ser produzido com diversos tipos de cimentos e conter pozolanas (como cinza volante, escória de alto-forno, sílica ativa) adições minerais, agregados de concretos reciclados, aditivos, polímeros, fibras etc.

Os aditivos são materiais que alteram as características do concreto através da ação química ou física. Devem ser aprovados oficialmente e só podem ser aplicados depois de ensaios de aplicabilidade. Os aditivos mais utilizados são os plastificantes, superplastificantes, os retardadores, os incorporadores, os impermeabilizantes, os aceleradores e os anticongelantes. (Leonhardt; Münnig, 2008)

Geralmente, a motivação original para o uso dos agregados era econômica, já que eles costumavam ser mais baratos que o cimento Portland, pois existiam na forma de depósitos naturais, muitas vezes exigindo pouco ou nenhum beneficiamento, ou por serem resíduos de processos industriais (Neville, 2016).

Outro estímulo ao uso desses materiais complementares foi dado pelas preocupações ambientais, surgidas, por um lado, pela exploração de jazidas para as matérias-primas do cimento e, por outro, pela maneira de disposição de resíduos industriais, como a escória de alto forno, a cinza volante e a sílica ativa (Neville, 2016).

Neville (2016) esclarece também que esses aditivos provêm várias propriedades desejáveis ao concreto, algumas vezes no estado fresco, e a maioria delas no estado endurecido.

Com sua pesquisa, Silva (2005) constatou que com a adição de resíduo de polímero de porcelanato, o concreto no estado fresco apresentou melhor consistência e menor exsudação. O aumento no teor de resíduos de polímero de porcelanato promoveu um aumento na viscosidade e na coesão do concreto. Quanto a resistência a compressão o concreto teve melhora no desempenho com a adição do polímero de porcelana, sendo os concretos com 10% de adição os de melhor desempenho.

Com a pesquisa de Leite (2001) e Ângulo (2005) notamos que o uso de concreto com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição são viáveis, pois não apresentam grandes perdas na resistência à compressão, e a resistência a tração se mantém. Porém os concretos com os resíduos obtêm um aumento na porosidade devido aos resíduos, por isso ainda necessitam estudos para melhor aplicabilidade.

Como o concreto é feito com a mistura de vários elementos, pode-se ter vários tipos de concretos, sendo que a norma NBR 12655 - Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento (ABNT, 2015) classifica o concreto por sua massa específica podendo ser concreto normal, concreto leve e concreto pesado ou denso. O concreto normal (C) com massa específica seca, tem a massa específica compreendida entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³, o concreto leve (CL) com massa específica seca, tem a massa específica inferior a 2000 kg/m³ e o concreto pesado ou denso (CD) com massa específica seca, tem a massa específica superior a 2800 kg/m³. Sendo a massa específica determinada de acordo com a NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica (ABNT, 2009).

Características do concreto

Segundo Leonhardt e Münnig (2008), a dosagem do concreto interfere em importantes propriedades, como por exemplo a trabalhabilidade do concreto fresco e a resistência do concreto endurecido, pois elas são determinadas pelo teor de cimento e pelo teor de água do concreto fresco. A dosagem de cimento agregado e água é decisiva para o estabelecimento do traço do concreto.

O concreto tem de conter uma quantidade suficiente de cimento para atingir a necessária resistência à compressão e proteger as armaduras da corrosão. Por isso são prescritos consumos mínimos de cimento, conforme o controle de qualidade da execução da obra, a faixa da curva granulométrica dos agregados, a consistência desejada e o tamanho máximo dos grãos (Leonhardt; Münnig, 2008).

O teor de água do concreto, é dado pelo fator água cimento, isto é, pela relação, em peso entre a água e o cimento, sendo que a quantidade de água dos agregados está incluída. A água aumenta a trabalhabilidade do concreto, mas a água não consumida na reação da pega provoca retração e porosidade e reduz a resistência e o módulo de elasticidade. É possível conseguir misturas mais rijas, isto é, com menores valores da relação água-cimento através de adensamento com vibradores e pelo emprego de aditivos apropriados. (Leonhardt; Münnig, 2008)

Para Carvalho (2014), às diversas características que o concreto endurecido deve apresentar para que possa ser utilizado dependem do planejamento e dos cuidados na sua execução. O planejamento consiste em definir as propriedades desejadas do concreto, analisar e escolher os materiais disponíveis, visando estabelecer uma metodologia para definir o traço (proporção entre os componentes), os equipamentos para a mistura, adensamento e a cura.

Para Carvalho (2014), às características do concreto são diferentes no concreto fresco e no concreto endurecido. As principais características do concreto fresco são a consistência, a trabalhabilidade e a homogeneidade que caminham em conjunto com o adensamento (que tem como fim retirar os vazios da forma, ocupando assim todo o espaço da forma).

A consistência é um dos principais fatores que influenciam a trabalhabilidade, pois depende da quantidade de água. A definição de consistência do concreto é: “a mobilidade relativa ou capacidade de fluir do concreto ou argamassa”, sendo esta medida pelo abatimento do tronco de cone (Silva, 2005).

Para Leonhardt e Münnig (2008), a propriedade mais importante do concreto fresco é, juntamente com a massa específica, a consistência, que é decisiva para a trabalhabilidade do concreto.

A trabalhabilidade é uma das mais importantes propriedades do concreto no estado fresco. Definida por vários autores, a trabalhabilidade pode ser entendida como o esforço necessário para manipular uma quantidade de concreto fresco que será lançado nas formas com uma perda mínima de homogeneidade (Silva, 2005).

Para Neville (2016), muitos fatores influenciam na trabalhabilidade do concreto, tais com a relação água cimento, o tamanho dos grãos dos agregados, a porosidade ou absorção do agregado, a presença de aditivos, o tempo e a temperatura.

Não se pode medir a trabalhabilidade do concreto, pois ainda não existem ensaios aceitáveis. Foram feitas tentativas para correlacionar a trabalhabilidade com algumas grandezas físicas, mas nenhuma chegou a ser satisfatória. Os testes de abatimento de tronco de cone e outros fornecem uma referência que é válida como medida da trabalhabilidade com uma aceitação universal e com uma simplicidade muito grande de execução (Neville, 2016).

O teste do slump, principal medida da trabalhabilidade, tem norma para o procedimento, sendo ela a NBR NM 67 (ABNT, 1998).

A homogeneidade garante a distribuição dos agregados dentro da massa de concreto, e é um fator de grande influência na qualidade dele. Quanto mais uniformes os agregados graúdos, estando totalmente envolvido pela pasta, sem apresentar desagregação, melhor será a qualidade do concreto. A homogeneidade do concreto pode ser conseguida com uma boa mistura do concreto na hora da fabricação (Carvalho, 2014).

Quando fala do concreto endurecido, Carvalho (2014) alega que as principais características de interesse são as mecânicas, onde destacam-se as resistências à tração e à compressão. Mas, o próprio autor esclarece que não existe uma regra que estabeleça como determinar a resistência dos materiais válida para todos os tipos de solicitações possíveis.

A pega e o endurecimento do concreto são influenciados por vários fatores tais como o tipo do cimento utilizado, temperatura e umidade. O aumento da resistência não está limitado ao período de 28 dias, o aumento subsequente da resistência com a idade é denominado endurecimento posterior (Leonhardt; Münnig, 2008).

A resistência de um material é definida como a capacidade de ser submetido a tensões sem se romper. Algumas vezes, o rompimento é detectado com o aparecimento de fissuras, entretanto investigações em microestruturas mostram que o concreto, diferente de outros materiais estruturais, contém fissuras finas antes mesmo de ser submetido a tensões (Mehta; Monteiro, 2014).

Já para Neville e Brooks (2013), a resistência mecânica da pasta de cimento endurecido parece não depender tanto da composição química quanto depende da estrutura física dos produtos de hidratação de cimento e suas proporções volumétricas relativas. Então, é necessário e de grande importância considerar a mecânica da fratura do concreto sobre tensões.

As características de resistência do concreto endurecido são, em sua maioria, determinadas em corpos de prova preparados simultaneamente à concretagem da estrutura e devem, sempre que possível, ser endurecidos nas mesmas condições (Leonhardt; Münnig, 2008).

O concreto novo deve ter um tratamento posterior, ou seja, durante sua cura, com a manutenção do calor e da umidade, proteção de temperaturas elevadas, vento frio e chuva forte.

A manutenção do calor e umidade atua favoravelmente na resistência à compressão, impermeabilidade e valor da retração (Leonhardt; Münnig, 2008).

Caracterização mecânica do concreto

Resistência à compressão

A principal característica do concreto é sua resistência à compressão, a qual é determinada pelo corpo de prova submetido à compressão centrada. Esse ensaio permite também a obtenção de outras características, como módulo de deformação longitudinal (Carvalho, 2014).

A resistência à compressão, denominada F_c , é a característica mecânica mais importante. Para estimá-la em um lote de concreto, são moldados e preparados corpos-de-prova para ensaio, segundo a NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto (ABNT, 2015), os quais são ensaiados segundo a NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos (ABNT, 2007).

Os valores característicos das resistências são os que, em um lote de material, têm uma determinada probabilidade não alcançarem o estipulado. O limite aceito é de no máximo 5%. Segundo a NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto - procedimento (ABNT, 2014) - a característica mecânica do concreto é o F_{ck} , a resistência característica à compressão do concreto, que através de dos ensaios de compressão calcula-se estatisticamente o F_{ck} .

Independentemente do tipo de ensaio ou solicitação, diversos fatores influenciam a resistência do concreto endurecido, dos quais os principais são as quantidades de cimento, agregado e água (chamado de traço) e a idade do concreto (Carvalho, 2014).

Quando se trata dos fatores que afetam a resistência do concreto, Mehta e Monteiro (2008) ressaltam que a resistência é influenciada por uma série de fatores, dentre eles a porosidade dos diferentes componentes do concreto, a propriedade e proporções dos materiais que formam o traço, o grau de compactação e as condições de cura. A relação água/cimento e a porosidade são as mais relevantes pois interferem diretamente na relação da pasta com o agregado graúdo.

Resistência à tração

Como o concreto é um material que não resiste bem à tração, geralmente não se conta com a ajuda dessa resistência. Entretanto, a resistência à tração pode estar relacionada com a capacidade resistente da peça, como as sujeitas a esforço cortante, e, diretamente, com a fissuração, sendo necessário conhecê-la. Existem três tipos de ensaios para se conhecer a resistência à tração do concreto: a tração direta, a flexotração e a tração por compressão diametral. (Carvalho, 2014).

Ensaio de tração direta do concreto raramente são aplicados, principalmente por que os dispositivos de fixação dos corpos-de-prova geram tensões secundárias que não podem ser ignoradas. Os ensaios mais comumente utilizados para a avaliação da resistência à tração do concreto são os ensaios de tração por compressão diametral, segundo a NBR 7222 (ABNT, 2011), e o ensaio de Flexão com carregamento nos terços dos vãos, conforme a NBR 14142 (ABNT, 2010) (Mehta; Monteiro, 2014).

A resistência à tração direta é determinada aplicando-se tração axial, até a ruptura, em corpos-de-prova de concreto simples. A seção central é retangular, medindo 9 cm por 15 cm, e as extremidades são quadradas, com 15cm de lado (Pinheiro, 2004), conforme ilustra a Figura 2.

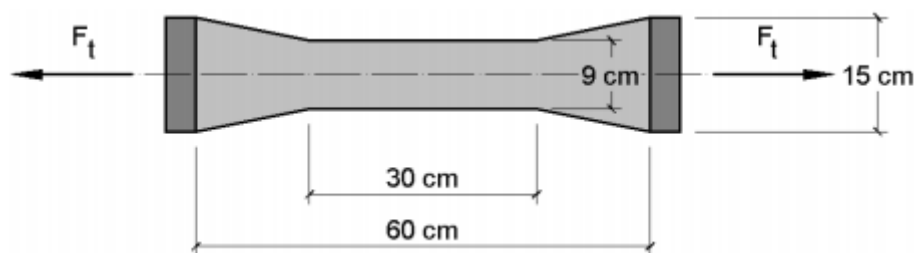


Figura 2: Ensaio de tração direta. Fonte: Pinheiro (2004).

Outro método para o teste da resistência a tração é o método da compressão diametral. Nos ensaios por compressão diametral, um corpo-de-prova de formato cilíndrico, de 15 por 30 centímetros, é submetida a uma pressão ao longo de duas linhas que são diametralmente opostas. A carga é aplicada continuamente a uma velocidade constante dentro da faixa de resistência a tração de compressão diametral de 0,7 a 1,3 Mpa, até a ruptura do corpo de prova. A tensão de compressão gera uma tensão de tração transversal, que é uniforme ao longo do diâmetro vertical. (Mehta; Monteiro, 2014)

Mehta e Monteiro (2014) mostram também que a tração por compressão diametral pode ser dada pela Equação 1:

$$T = \frac{2P}{2ld} \quad (1)$$

Onde:

T = Resistência à tração

P = Carga de ruptura

l = Comprimento do corpo-de-prova

d = Diâmetro do corpo-de-prova

No ensaio de flexão, com carregamento no terço do vão, uma viga de concreto 150 x 150 x 500 mm é carregada com uma velocidade de 0,8 a 1,2 Mpa/min. A resistência à flexão é expressa em termos de módulo de ruptura, que é a resistência máxima à ruptura calculada a partir da fórmula da flexão (Mehta; Monteiro, 2014).

Módulo de elasticidade

A NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto - procedimento (ABNT, 2014) enfatiza a necessidade de se construir estruturas cada vez mais altas, esbeltas, duráveis e com maior rapidez, fez com que houvesse um desenvolvimento das técnicas de construção e dos materiais utilizados nas obras. Mediante isto, tornou-se imprescindível também uma revisão das normas brasileiras para a execução destas estruturas.

Módulo de elasticidade (módulo de deformação) é uma grandeza mecânica que mede a rigidez de um material sólido, e pode ser definido entre as relações entre tensões e deformações, de acordo com diagrama de tensão-deformação (Carvalho, 2014).

O concreto é um material que apresenta um comportamento não linear, quando submetido a tensões de compressão ou de tração, devido à sua natureza viscoelástica de pseudo sólido. O diagrama tensão-deformação mostra que esse material, diferentemente dos materiais homogêneos, não segue a lei de Hooke e nem sempre apresenta proporcionalidade entre tensão aplicada e a deformação específica resultante (Pacheco, 2014).

Vários fatores interferem na determinação experimental do módulo de elasticidade do concreto, tais como método de ensaio, tensões limites de elasticidade, geometria dos corpos de prova, grau de saturação do concreto e outros, de tal forma que ainda é grande a dispersão dos resultados (Pacheco, 2014).

Permeabilidade

A confecção de concretos com baixa porosidade capilar é de extrema importância para a durabilidade das construções, pois os processos de deterioração estão relacionados com os mecanismos de absorção, através dos quais íons agressivos penetram juntamente com a água no interior do concreto (Fonseca, 2010).

Um fator de fundamental importância é a porosidade, isto é, o volume relativo de poros ou vazios na pasta de cimento. Os vazios podem ser considerados como causa da diminuição da resistência. Outras fontes de enfraquecimento vêm da presença do agregado, que pode conter falhas em sua estrutura, além de ser causador de microfissuração na interface da pasta com o cimento (Neville; Brooks, 2013). A permeabilidade é a facilidade de escoamento de um fluido através de um material. Desta maneira, esta é uma propriedade dos materiais saturados. Sendo a permeabilidade diretamente relacionada à estrutura de poros, os fatores que determinam a compacidade e qualidade do concreto influenciam nestas duas propriedades (Mehta e Monteiro, 2008).

Dentre todas as causas relacionadas com a falta de durabilidade do concreto, a mais importante é a permeabilidade excessiva. Concretos permeáveis são vulneráveis ao ataque químico da maioria das classes de agentes agressivos. Para que o concreto seja durável, o concreto de cimento Portland deve ser relativamente impenetrável (Fonseca, 2010).

Absorção de água

Conhecimento do teor da umidade dos agregados é muito importante, já que a quantidade de água que eles transportam para o concreto altera o fator água/cimento, ocasionando decréscimo da resistência mecânica do concreto. Na condição ambiente, a amostra sempre absorve alguma quantidade de água, porém, raramente essa quantidade de água é suficiente para saturar a amostra. A amostra é dita saturada quando todos os vazios comunicantes estão preenchidos com água (Neville, 2016).

Mesmo que a absorção não seja usada como uma forma de medir a qualidade do concreto, afirma-se que, dentre os concretos de boa qualidade, a absorção sempre esteja abaixo de 10% em massa (Neville, 2016).

A norma NBR 9778 (ABNT, 2009) é a norma que dita os procedimentos que devem ser tomados para a absorção de água e porosidade. No qual as amostras são pesadas saturadas e secas para os devidos cálculos segundo a Equação 2:

$$a_a = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sec}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

a_a = absorção;

M_{sec} = massa seca;

M_{sat} = massa saturada;

Qualidade na fabricação do concreto

Segundo Paladini (2008), qualidade é um conjunto de características, propriedades, atributos, ou elementos que compõem bens e serviços. Para Miguel (2005), qualidade é a habilidade de um conjunto de características de um produto, processo ou sistema em atender aos requisitos dos clientes e outras partes interessadas. Ambos os conceitos trazem uma visão

geral e objetiva para o termo, porém, a segunda definição acrescenta uma vertente subjetiva, ou seja, a relação empresa e mercado que se torna determinante para aceção do tema.

Gestão da qualidade

A gestão da qualidade se refere ao modo como a qualidade será viabilizada em todas as atividades desenvolvidas pela empresa ao longo de sua cadeia produtiva. De acordo com Miguel (2005), a gestão da qualidade consiste no conjunto de atividades coordenadas para dirigir e controlar uma organização com relação à qualidade, englobando o planejamento, controle, a garantia e a melhoria da qualidade.

Qualidade do concreto

Na construção civil a qualidade se aplica em toda sua abrangência, desde a parte de planejamento até a parte de pós-venda. A NBR 12655 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento (ABNT, 2015) é a norma aplicável ao concreto de cimento Portland para estruturas moldadas na obra, estruturas pré-moldadas e componentes estruturais pré-fabricados para edificações e estruturas de engenharia. O concreto pode ser misturado na obra, pré- misturado ou produzido em usina de pré-moldados.

A NBR 12655 especifica requisitos para as propriedades do concreto fresco e endurecido e suas verificações, a composição, preparo e controle do concreto e o recebimento do concreto.

Os materiais componentes do concreto não devem conter substâncias prejudiciais em quantidade que possam comprometer a durabilidade do concreto ou causar a corrosão da armadura e devem ser adequados ao uso pretendido do concreto. Segundo a NBR 12655, a composição do concreto e a escolha dos materiais devem satisfazer as exigências estabelecidas para o concreto fresco e endurecido, observando: a consistência, massa específica, resistência, durabilidade, proteção para as barras de aço quanto a corrosão e sistema construtivo escolhido para a obra.

A NBR 12655 também estabelece que o concreto deve ser dosado a fim de minimizar sua segregação no estado fresco, levando em consideração as operações de mistura, transporte, lançamento e adensamento.

As estruturas de concretos devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme enfatizado em projeto, apresenta estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente a sua vida útil, de acordo com o que estabelece a NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – procedimento (ABNT, 2014).

A qualidade é tratada pela NBR 6118 (ABNT, 2014) basicamente em três tópicos:

- 1) A capacidade resistente, no qual consiste basicamente na segurança a ruptura.
- 2) Desempenho em serviço, que consiste na capacidade de a estrutura manter- se em condições plenas de utilização durante a sua vida útil, não podendo apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada.
- 3) Durabilidade, que consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante no início da elaboração do projeto.

MATERIAL E MÉTODOS

Materiais Utilizados

Para a realização dos testes foram utilizados corpos de prova de concreto usinado provenientes de 3 empresas diferentes. As amostras das empresas A e B têm resistência característica à compressão de 30MPa e a Empresa C, 40MPa. A composição de todas as amostras é cimento Portland, areia, brita, água e aditivo. A origem e proveniência dos materiais não foram fornecidas pelas empresas. Os concretos das empresas A e B foram utilizados na concretagem de lajes de edifícios residenciais. O concreto da empresa C foi utilizado no piso de estacionamento de um empreendimento comercial.

Empreendidos Avaliados

As três empresas avaliadas neste estudo atendem a região de João Monlevade. Para proteção da integridade das empresas serão denominadas aleatoriamente de Empresa A, Empresa B e Empresa C.

Coleta dos Materiais

Os materiais foram coletados juntamente às concreteiras na cidade de João Monlevade. Na Empresa A foram coletados com 4 dias de cura imersos em uma mistura de água e cal. As 5 amostras coletadas na Empresa A foram rapidamente transferidas para ambiente de condições similares no Centro Tecnológico da UEMG, Unidade João Monlevade (CTec). As 3 amostras da Empresa B foram coletados com 6 dias de cura imersos em uma mistura de água e cal e foram rapidamente transferidas para ambiente de condições similares no CTec, e da Empresa C foram coletados com 28 dias imersos em uma mistura de água e cal e rapidamente transferidas para ambiente de condições similares no CTec, onde permaneceram até a data do rompimento.

Ensaio de resistência à compressão

Foi utilizado como referência para a realização desse ensaio a NBR 5739 – Ensaio de Compressão De Corpos-De-Prova Cilíndricos (ABNT, 2007).

Devido a dificuldades encontradas durante esta pesquisa, como o processo de negociação com as empresas para ceder o concreto para o teste, os rompimentos ocorreram após os 28 dias de cura, o concreto da Empresa A foi rompido no 39º dia de cura, o concreto da Empresa B foi rompido no 41º dia de cura e o concreto da Empresa C foi rompido no 31º dia de cura. Os concretos passaram pelo processo de capeamento de superfície de enxofre, seguindo as normas da NBR 5738 (ABNT, 2015) como demonstrado na Figura 3.



Figura 3: Corpos-de-Prova Capeados.

Após o capeamento os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão axial (Figura 4) na estrutura de compressão do sistema de ensaios 23 – 200 da marca EMIC para coletar os dados das tensões de rompimento apresentados nos resultados.



Figura 4: Ensaio de Compressão Axial.

Ensaio de Absorção de Água

Para determinar o índice de absorção de água do concreto, o ensaio foi realizado seguindo a norma NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica (ABNT, 2009).

Após o rompimento dos corpos de prova, uma parcela de cada corpo foi utilizada para fazer o ensaio de absorção.

Primeiramente, os corpos foram colocados por pelo menos 72 horas na estufa da marca Deleo, equipamentos laboratoriais, a 105°C (Figura 5) para retirada de toda a umidade presente nos mesmos.



Figura 5: Estufa.

Após a secagem dos corpos de prova as amostras foram pesadas em uma balança digital da marca TOLEDO (Figura 6) para determinação do peso na condição seca.



Figura 6: Pesagem Seca.

Após coletar os pesos das amostras, elas foram imersas em um recipiente com água por pelo menos 48 horas. Em seguida, os corpos foram retirados, secos com pano úmido e pesados na balança modelo 2098 da marca Toledo para a determinação do peso em condições saturadas, conforme ilustrado na Figura 7.



Figura 7: Pesagem Saturada.

Com os pesos estabelecidos, foi utilizada a fórmula da absorção de água citada no referencial teórico, conforme descrito na norma NBR 9778 (ABNT, 2009), para a determinação do índice de absorção de água das amostras, conforme apresentado nos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teste de compressão axial

A Empresa A cedeu 5 corpos-de-prova a esta pesquisa. O concreto tem como pretensão a resistência de 30 MPa. Foi moldado no dia 20/09, na hora da moldagem foi realizado o teste do slump que teve como resultado 13 mm. Depois da moldagem os corpos foram deixados em imersão até a data de 30/10, onde foi retirado para que o capeamento de superfície ocorresse, permitindo que o rompimento ocorresse no dia seguinte.

A Empresa B, cedeu 3 corpos-de-prova a esta pesquisa. O concreto tem como pretensão a resistência de 30 MPa. Foi moldado no dia 22/09, na hora da moldagem foi realizado o teste do slump que teve como resultado 14 mm. Depois da moldagem foram deixados em ambiente apropriado até o dia 30/10, quando foi retirado para que o capeamento de superfície ocorresse, permitindo que o rompimento ocorresse em máquina de Classe 1 no dia seguinte.

A Empresa C, cedeu 3 corpos-de-prova a esta pesquisa. O concreto tem como pretensão a resistência de 40 MPa. Foi moldado no dia 24/10, na hora da moldagem foi realizado o teste do slump que teve como resultado 13 mm. Depois da moldagem foram deixados em ambiente apropriado até o dia 22/11 quando foi retirado para que o capeamento de superfície ocorresse, permitindo que o rompimento ocorresse em máquina de Classe 1 no dia seguinte.

Tabela 1: Trabalhabilidade dos lotes (Teste do Slump).

	Empresa A	Empresa B	Empresa C
Slump (mm)	13	14	13

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos no teste de compressão axial para as três empresas.

Tabela 2: Resistência à compressão das amostras (MPa).

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Média	Desvio Padrão
Empresa A	19,18	24,35	20,04	19,68	20,25	20,7	2,08
Empresa B	31,12	20,34	28,21	N/A	N/A	26,56	5,577
Empresa C	57,83	52,03	46,4	N/A	N/A	52,09	5,715

A Tabela 2 permite identificar o resultado do ensaio de compressão axial dos corpos de prova analisados, e a partir do Gráfico da Figura 8 é possível traçar uma relação entre as empresas, avaliando a capacidade dos corpos de prova de atingirem a tensão prevista, tanto quanto sua média estar dentro do padrão admissível.

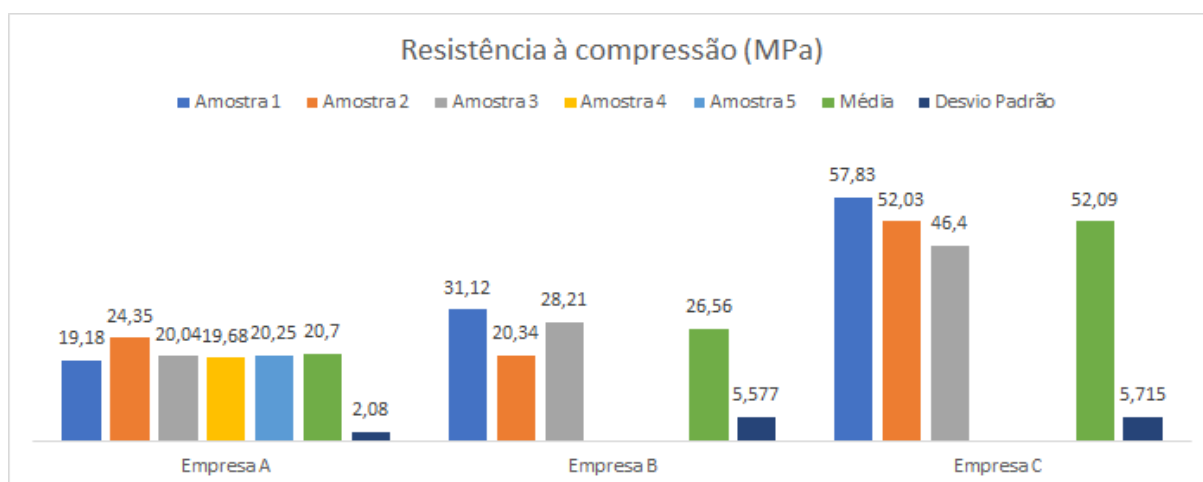


Figura 8: Gráfico de comparação de amostras das empresas A, B e C.

Os resultados do ensaio de compressão axial indicam que a Empresa A não conseguiu atingir a tensão admissível em nenhuma das amostras. Embora algumas amostras da Empresa B tenham alcançado a tensão esperada, a média geral ficou abaixo do resultado esperado. Por sua vez, a Empresa C conseguiu atingir a tensão desejada em todas as amostras avaliadas.

Tabela 3: Resumo do teste de compressão.

	Empresa A	Empresa B	Empresa C
FCK Esperado (MPa)	30	30	40
Número de amostras	5	3	3
Média das resistências (MPa)	20,70	26,56	52,09
Desvio Padrão (MPa)	2,080	5,577	5,715

Teste de absorção de água

As Tabelas 4, 5 e 6 apresentam as massas secas e saturadas referentes às amostras das Empresas A, B e C, respectivamente.

Tabela 4: Absorção do concreto da Empresa A.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Massa seca (g)	1290	1540	940
Massa saturada (g)	1370	1650	1010

Tabela 5: Absorção do concreto da Empresa B.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Massa seca (g)	1480	650	770
Massa saturada (g)	1580	700	820

Tabela 6: Absorção do concreto da Empresa C.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Massa seca (g)	950	900	310
Massa saturada (g)	1000	950	330

Os resultados para a absorção do concreto da Empresa A, da Empresa B e da Empresa C são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Absorção de água para concretos das Empresas A, B e C (%).

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média	Desvio Padrão
Empresa A	5,83	6,67	6,93	6,48	0,575
Empresa B	6,32	7,14	6,09	6,52	0,552
Empresa C	5,26	5,55	6,45	5,75	0,506

O resultado do ensaio corresponde à média aritmética entre as 03 amostras. A partir dos resultados apresentados na Tabela 7, observou-se que para a Empresa A, a absorção foi de 6,48 %, para a Empresa B a absorção foi de 6,52 % e para a Empresa C a absorção foi de 5,75 %. Logo, todas as amostras estão aptas, uma vez que apresentaram absorção inferior a 10,0 %, parâmetro estabelecido por Neville (2016).

Para melhor visualização dos resultados a Tabela 8 mostra todos os dados obtidos:

Tabela 8: Resumo dos resultados do teste de absorção de amostras

	Empresa A	Empresa B	Empresa C
Limite aceitável Neville (2016)	10 %	10 %	10 %
Número de amostras	3	3	3
Média do índice de absorção	6,48 %	6,52 %	5,75 %
Desvio Padrão	0,58 %	0,55 %	0,51 %

CONCLUSÕES

Os resultados indicaram baixa resistência nos concretos fornecidos por duas das empresas que produzem concretos para obras em João Monlevade, evidenciando a inadequação dos lotes das Empresas A e B para aplicações que exigem a resistência originalmente esperada. Entre os três lotes analisados, apenas o da Empresa C alcançou a resistência à compressão conforme o especificado, caracterizando seu concreto como adequado às necessidades projetadas. Quanto à absorção de água, os testes mostraram resultados dentro dos parâmetros esperados para as três empresas, atendendo às especificações do projeto.

A variação entre os traços dos concretos e o número limitado de corpos-de-prova dificultam a associação direta entre a qualidade do concreto e a empresa fornecedora. Contudo, a uniformidade dos resultados e o baixo desvio padrão observado sugerem consistência na qualidade dos lotes avaliados.

Este estudo ressaltou a importância da verificação sistemática da resistência dos corpos-de-prova, especialmente em cidades de pequeno porte como João Monlevade, onde a falta de fiscalização ou a busca por redução de custos podem levar à negligência de aspectos cruciais. Tal negligência pode comprometer a qualidade e a durabilidade das estruturas, resultando em patologias que afetam parcial ou totalmente a integridade das construções. Ressalta-se também a necessidade da implantação da Anotação de Responsabilidade Técnica, que assegure a corresponsabilidade da empresa fornecedora pelo desempenho do concreto ao longo de sua vida útil.

REFERÊNCIAS

ÂNGULO, SERGIO CIRELLI. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento dos concretos**. 167 p. Tese (Doutorado em Engenharia e de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Concreto – procedimento para modelagem e cura do corpo-de-prova. ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - procedimento. ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7222**: Concreto e argamassa - determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14142**: Concreto - determinação da resistência na flexão de corpos de prova prismáticos. ABNT, 2010.

CARVALHO, ROBERTO CHUST. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado – segundo a NBR 6118 2014**. São Carlos: EDUFSCAR, 2014.

FONSECA, GUSTAVO CELSO DA. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil**: uma amostragem epistêmica. 96 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2010.

LEITE, MÔNICA BATISTA. **Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 249 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEONHARDT, FRITZ; MÜNNIG, EDUARD. **Construções de concreto**: Princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado. 2. ed. São Paulo: Editora Interciência, 2008. 207 p. v. 1.

MEHTA, P. KUMAR; MONTEIRO, PAULO J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MEHTA, P. KUMAR; MONTEIRO, PAULO J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MIGUEL, P. A. C. **Gestão da Qualidade: TQM e Modelos de Excelência**. Cap. 3, p. 86-87. In: CARVALHO, M. M. (Org.). **Gestão da Qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005 – 7ª reimpressão.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2016. 841 p.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2013. 441 p.

PACHECO, JÉSSICA ET AL. **Considerações sobre o Módulo de Elasticidade do Concreto**. Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto, Natal, RN. São Paulo: IBRACON, 2014. 14 p.

PALADINI, E. P. **Gestão Estratégica da Qualidade: princípios, métodos e processos**. São Paulo: Atlas, 2008.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. 1. ed. São Carlos: [s.n.], 2004. 380 p.

SILVA, GUILHERME JORGE BRIGOLINI. **Estudo do Comportamento do Concreto de Cimento Portland produzido com a Adição do Resíduo de Polimento do Porcelanato**. 2005. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2005.

DA SILVA, MARLENE FREITAS DA. **Revisão taxonômica do gênero *Peltogyne* Vog. (Leguminosae-Caesalpinioideae)**. Manaus: Acta Amazônica; v. 6, Suplemento, 1976. 61 p.

TRINDADE, FÁBIO MACIEL DE OLIVEIRA DA. **Propriedades mecânicas de concretos com diferentes cimentos Portland e com cinza de casca de arroz natural e moída**. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.