

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
RICARDO MATHIAS PORTO

**RELAÇÃO EXISTENTE ENTRE A RESISTÊNCIA DO CONCRETO À
COMPRESSÃO AXIAL E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO**

CASCADEL - PR

2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
RICARDO MATHIAS PORTO

**RELAÇÃO EXISTENTE ENTRE A RESISTÊNCIA DO CONCRETO À
COMPRESSÃO AXIAL E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO**

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

**Professora Orientadora: Engenheira Civil
Mestre Andrea Resende Souza.**

CASCADEL – PR

2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

RICARDO MATHIAS PORTO

**RELAÇÃO EXISTENTE ENTRE A RESISTÊNCIA DO CONCRETO À
COMPRESSÃO AXIAL E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da Professora Mestre Engenheira Civil Andrea Resende Souza.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora Prof^a. ANDREA RESENDE SOUZA

Centro Universitário Assis Gurgacz

Mestre em Engenharia Civil

Professora: MARIA VÂNIA NOGUEIRA DO NASCIMENTO PERES

Centro Universitário Assis Gurgacz

Mestre em Engenharia Civil

Professora: THALYTA MAYARA BASSO

Centro Universitário Assis Gurgacz

Mestre em Engenharia Civil

Cascavel, 06 de Junho de 2018.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus pela força divina em minha vida.

A minha professora orientadora Andrea Resende Souza por ter desempenhado papel exemplar no norteamento deste trabalho, também a minha banca examinadora que me ajudou na correção e melhorias deste trabalho.

Agradeço a empresa Concretosolús Controle Tecnológico-LTDA, por me fornecer material e proporcionar a coleta dos dados necessários para desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço imensamente meu pai e minha mãe, que não desistiram de mim nessa jornada de muitos anos, meus amigos e familiares que quando precisei me ajudaram a levantar a cabeça e seguir em frente a pesar de todos os obstáculos e dificuldades que eu tive durante esses anos, enfim agradecer a todos que de alguma forma me ajudaram nessa formação.

RESUMO

Esse trabalho teve como objetivo fazer a relação existente entre a resistência à tração na flexão com a compressão axial comparados com a teoria da NBR 6118 (ABNT, 2014). Foram utilizados como base para esse trabalho dois traços de concreto; um com $f_{ck} = 30\text{MPa}$ e outro com $f_{ck} = 40\text{MPa}$. O incremento de resistência do concreto ao longo do tempo também foi estudado, tanto para compressão como para tração. Foram estabelecidas relações existentes entre a resistência à compressão e a tração na flexão do concreto. Foram moldados para testes e ensaios 10 corpos de prova cilíndricos com o traço de 30 MPa e 10 corpos de prova para o traço de 40 MPa todos com *slump* de 12 cm, sendo 5 corpos de prova rompidos com 7 dias e 5 para 28 dias. Os resultados e fatores do módulo de ruptura obtidos na pesquisa e nos ensaios realizados de compressão axial e tração na flexão mostrou que ele varia de um para o outro entre 10% tanto para 7 dias quanto para 28 dias. As resistências encontradas para ambos os traços e ambas as idades estão dentro da margem de aceitação da NBR 6118 (ABNT, 2014). Dando assim a pesquisa concluída.

Palavras-chaves: Resistência à tração na flexão; Comparação com a resistência à compressão; Concreto usinado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Realização do ensaio <i>Slump Test</i>	18
Figura 2: Ilustração do ensaio de tração na flexão.	21
Figura 3: Ensaio de resistência à tração em corpos de prova prismáticos.	25
Figura 4: Resultados de resistência à compressão.	26
Figura 5: Resultados de resistência à tração.....	28
Figura 6: Correlação entre as resistências.	29
Figura 7: Correlação em função da idade e da classe de resistência.....	30
Figura 8: Limites de resistência à tração de 30MPa pela NBR 6118.....	32
Figura 9: Limites de resistência à tração de 40MPa pela NBR 6118.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composições de traços à serem utilizados.....	22
Tabela 2: Comparativo da resistência à tração NBR 6118 (ABNT, 2014).	31
Tabela 3: Limites de resistência à tração pela NBR 6118.....	31

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Resistência característica média à tração segundo a NBR 6118.	30
Equação 2: Limite inferior de resistência características à tração pela NBR 6118.....	31
Equação 2: Limite superior de resistência características à tração pela NBR 6118.	31

LISTA DE SIGLAS

a/c	Relação água/cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	Corpo de Prova
Empresa A	Concresolús Controle Tecnológico – LTDA
Fck	Resistência Característica do Concreto
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	12
1.1 INTRODUÇÃO.....	12
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo geral	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
1.3 JUSTIFICATIVA	13
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	14
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	14
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	14
CAPÍTULO 2	16
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1.1 Materiais	17
2.1.1.1 Cimento	17
2.1.1.2 Agregados.....	17
2.1.1.3 Aditivos e adições.....	16
2.1.2 Propriedades do concreto no estado fresco	18
2.1.2.1 Consistência.....	18
2.1.2.2 Plasticidade.....	19
2.1.2.3 Trabalhabilidade	19
2.1.3 Propriedades do concreto no estado endurecido	19
2.1.3.1 Resistência mecânica à compressão	20
2.1.3.2 Resistência mecânica à tração	20
CAPÍTULO 3	22
3.1 METODOLOGIA.....	22
3.1.1 Caracterização da amostra	22
3.1.1.1 Composição do traço	22
3.1.1.2 Moldagem.....	23
3.1.1.3 Processo de cura	23
3.1.2 Procedimentos de ensaio	23
3.1.2.1 Ensaio de compressão.....	23
3.1.2.2 Ensaio de tração.....	24
3.1.3 Análise dos dados	25

CAPÍTULO 4.....	26
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
4.1.1 Resistência à compressão	26
4.1.2 Resistência à tração	27
4.1.3 Correlação entre as resistências.....	29
CAPÍTULO 5.....	33
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
CAPÍTULO 6.....	34
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	34
REFERÊNCIAS	35
APÊNDICE A – RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA	37
APÊNDICE B – RESISTÊNCIAS À TRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	38

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

O concreto, atualmente é utilizado para diversos tipos de estruturas em construções, é fruto de que em milhares de anos inúmeros homens observaram a natureza e se esmeraram por aperfeiçoar materiais, teorias, técnicas e formas estruturais (METHA; MONTEIRO, 2008).

Há milhões de anos considerando que os primeiros cimentos e concretos foram gerados pela natureza, podemos considerar que as rochas sedimentares são concretos naturais. O concreto em sua natureza básica é um material plástico, que pode ser moldada da forma desejada antes de entrar em processo de endurecimento e pode adquirir a resistência suficiente para resistir sozinho aos esforços, com isso, fazendo análises para esforços que solicitam à compressão axial e esforços que solicitam à tração na flexão (PETRUCCI, 1987).

Segundo Guerra (2013), à medida que dá a principal qualidade estrutural do concreto é a sua resistência à compressão. Esta propriedade do concreto é comumente considerada ao projeto estrutural. Dependendo da mistura (relação água/cimento) e tempo de qualidade de cura. O conhecimento da força de tração é para estimar a carga sob qual craqueamento vai desenvolver à formação de fissuras e a sua propagação. Na maioria dos casos o comportamento de membro muda sobre rachaduras.

Em alguns casos a resistência a tração do concreto armado é desconsiderada, esta não deverá ser esquecida no momento em que são executadas estruturas sem a utilização do aço. Não possuindo armadura, a resistência a tração do maciço de concreto se torna a única forma de evitar rupturas na estrutura quando a mesma encontra-se sob esforço de flexão.

Com este estudo realizado mostrou-se a relação existente entre as duas formas de resistência, através da NBR 6118 (ABNT, 2014) "Projeto de estruturas de concreto – Procedimento". Com esses ensaios, todo realizado corretamente foi mostrada a comparação existente entre os dois tipos de ruptura do concreto, assim melhorando o modo mais fácil e ágil para ensaios realizados em estruturas onde é necessária a antecipação na sobrecarga e também em pisos industriais. Todos os ensaios foram realizados em laboratório da empresa Concretosolús Controle Tecnológico – LTDA na cidade de Cascavel-PR.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Relacionar os resultados e fatores do módulo de ruptura do corpo de prova prismático à tração na flexão e de corpo de prova cilíndrico na compressão axial.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Analisar a relação entre as resistências para diferentes idades;
- b) Analisar a relação entre as resistências para diferentes classes de concreto;
- c) Comparar a relação teórica da NBR 6118 (ABNT, 2014) com a real.

1.3 JUSTIFICATIVA

Como na construção civil existem casos que podem ocorrer demandas de carregamento precoce, como em protensão ou em tráfego imediato, comum em pavimentos rígidos e pisos industriais, podem ocorrer fissuras e rachaduras podendo comprometer a estrutura. Os usuários do local têm uma sensação de desconforto, assim como a estrutura também é prejudicada (SILVA E; SILVA M, 2001).

O controle tecnológico é fundamental para garantir à estrutura de concreto as condições de segurança estabelecidas no momento do projeto. Existem diferentes metodologias para a aceitação destas estruturas, as mesmas devem refletir de forma adequada os resultados práticos estabelecidos em obra (GEPECON, 2010).

A correlação existente entre as resistências à tração e à compressão do concreto foi determinada e comparada com os modelos previstos por pesquisadores e normas técnicas. Os resultados obtidos mostraram que o modelo de previsão da norma NBR6118 (ABNT, 2014) estabelecida para concreto simples, apresentou uma boa correlação, para este nível de resistência.

Para contribuir com o desenvolvimento de melhoria das estruturas, esta pesquisa avaliou duas tecnologias existentes para caracterizar a resistência do concreto, e assim as

mesmas foram comparadas. Foi necessário seguir as normas de ensaio conforme a NBR 5738 (ABNT, 2008) a NBR 12142 (ABNT, 2010) e a NBR 7680 (ABNT, 2015) para poder realizar os ensaios e resultados de maneira correta.

O objetivo do trabalho e das análises é fazer a relação existente entre a resistência do concreto à compressão axial, comparado com a resistência do concreto à tração na flexão, os resultados foram comparados por meio de tabelas e gráficos, através de parâmetros especificados em norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014).

Este estudo teve como razão analisar a resistência do concreto, fazendo a produção do traço mais adequado para que não haja danos em estruturas, e com estes resultados, poder trazer mais segurança para as pessoas que freqüentam os edifícios.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A relação entre a resistência do concreto à compressão axial com a resistência do concreto à tração na flexão, para diferentes tipos de concreto em diferentes idades, mantém-se dentro do esperado em relação à NBR 6118 (ABNT, 2014).

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

A relação entre os dois diferentes tipos de resistência é considerada alta, pois a evolução do módulo de resistência à tração na flexão é semelhante ao da compressão axial.

A relação entre ambas mantenha-se linear com dois tipos de traços e duas idades diferentes de ruptura.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi limitada ao levantamento das resistências existentes em cada tipo de análise feita em laboratório na empresa A, há qual o autor realiza estágio na cidade de Cascavel, Paraná.

Todos os ensaios foram realizados conforme as normas: NBR 5739 (ABNT, 2010) Concretos – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos e NBR 12142 (ABNT, 2010) – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.

Na realização da pesquisa foram utilizados dois tipos de traço, um de 30MPa e outro de 40MPa. Para cada traço de concreto foram moldados 10 corpos de prova cilíndricos para ensaios de compressão para 7 dias e também para 28 dias e 10 corpos de prova prismáticos para tração em 7 e 28 dias.

A análise dos dados foi realizada comparando os valores de resistência utilizados em relação a NBR 6118 (ABNT, 2014) como forma de estimar a correlação existente entre as resistências.

CAPÍTULO 2

Foram abordados neste capítulo os conceitos do concreto, detalhamento dos resultados, origem, causas de fissuras e rachaduras, e porque elas ocorrem.

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Concreto convencional é aquele sem qualquer característica especial e que é utilizado no dia a dia na construção civil. Mesmo sendo um concreto simples, requer como qualquer outro, um estudo prévio de seus componentes para a determinação do traço, obedecendo às normas da ABNT, para sua elaboração, execução e controle tecnológico da estrutura (PETRUCCI, 1987).

O concreto convencional é utilizado em obras onde há e onde não há necessidade de equipamentos para o lançamento do concreto (bomba). No uso deste concreto, que apresenta baixa trabalhabilidade, torna-se necessário a utilização de equipamentos de vibração durante a aplicação, para garantir o adensamento adequado para que evitem nichos de concretagens (bicheiras) que interferem diretamente na resistência e na durabilidade da estrutura (NEVILLE, 1997).

O concreto é considerado um sólido a partir da pega. É um material em constante evolução e susceptíveis alterações impostas pelo meio ambiente sendo elas físicas, químicas e mecânicas, e que ocorrem de maneira lenta. A durabilidade de um concreto pode ser perfeitamente aceitável quando a estrutura se encontra devidamente protegida. Um exemplo das propriedades do concreto endurecido é a impermeabilidade, sendo uma característica essencial, quando se estudam estruturas de concretos hidráulicos. Já em estruturas de edificações, não é considerado uma qualidade essencial, sendo de extrema importância, neste caso, as características mecânica e estrutural do concreto (BAUER 2000).

2.1.1 Materiais

2.1.1.1 Cimento

O cimento é obtido aquecendo-se o calcário e argila até a sinterização onde se obtém o clínquer que é transformado em pó. A qualidade do cimento, composição química e finura são determinantes da maior ou menor resistência do concreto (ADOLFATO, 2002).

As influências dos tipos de cimento e concreto são relativas, podendo-se reduzir ou ampliar através do aumento ou diminuição da quantidade de seus componentes, sobretudo a relação a/c. as características dos demais componentes que são principalmente agregados (areia, pedra britada, pó-de-pedra, entre outros.). Também pode-se usar aditivos químicos para reduzir certas influências ou aumentar o efeito de outras (ARAÚJO, 2000).

2.1.1.2 Agregados

A adição de agregados para uma produção de um concreto resistente depende muito das características dos materiais usados para que tenha influência benéfica quanto à retração e à resistência, o tamanho, a densidade e a forma dos seus grãos podem definir várias das características desejadas em um concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

De acordo com Andolfato (2002), os agregados constituem uma elevada porcentagem do concreto, de modo que suas características têm importância nas proporções empregadas e na economia do concreto.

Os agregados devem ser isentos de impurezas e ter uma resistência sempre maior que a da pasta. Naturalmente a forma dos grãos e a conformação superficial influenciam muito na trabalhabilidade, aderência e resistência do concreto. Os agregados lisos facilitam a mistura e adensamento e os de superfície áspera aumentam a resistência à tração (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Devido à importância dos agregados dentro da mistura, vários são os ensaios necessários para sua utilização e servem para definir sua granulometria, massa específica real e aparente, módulo de finura, etc.

Agregado é todo material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte de dimensões e propriedades adequadas para a engenharia. Os agregados conjuntamente com os aglomerados, especificamente o cimento, formam o principal material de construção; o concreto. Eles desempenham um importante papel nas argamassas e concretos, quer do ponto

de vista econômico, quer do ponto de vista técnico, e exercem influência benéfica sobre algumas características importantes, como: retração, aumento da resistência ao desgaste, etc., sem prejudicar a resistência aos esforços mecânicos, pois os agregados de boa qualidade têm resistência superior à da pasta do aglomerante (PETRUCCI, 1982).

2.1.2 Propriedades do concreto no estado fresco

2.1.2.1 Consistência

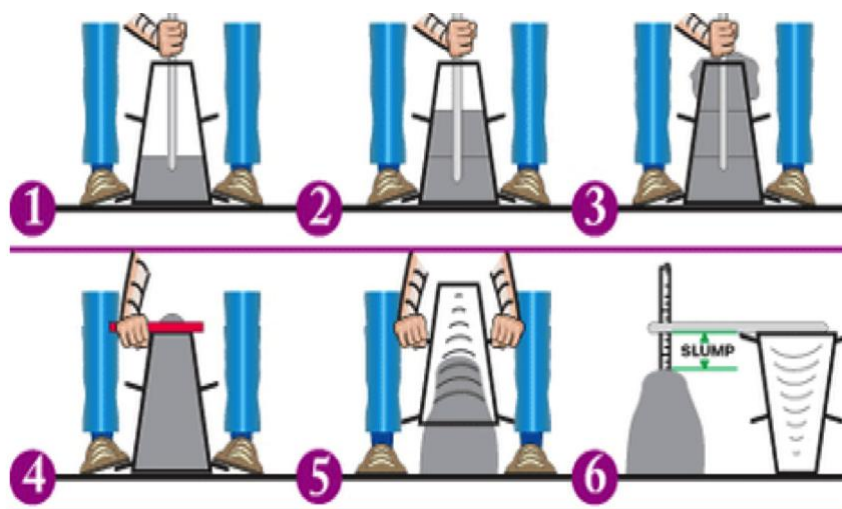
Consistência é o maior ou menor grau de fluidez da mistura fresca, relacionando-se, portanto, com a mobilidade da massa. O principal fator que influi na consistência é, sem dúvida, o teor água/materiais secos (A%) (ARAÚJO et al., 2001).

A consistência é modificada principalmente pela variação do teor de água da mistura. Sabe-se que o teor de água necessário para produzir um abatimento depende de vários fatores: mais água é necessária para um agregado angular e com textura áspera, reduz seu abatimento ou se aumentando o tamanho máximo do agregado. (www.clubedoconcreto.com.br)

O método utilizado para obter a consistência do concreto é o ensaio do abatimento do concreto, também conhecido como *slump-test* (NBR NM-67, 1998).

Neste ensaio é colocada uma massa de concreto dentro de uma forma tronco-cônica, em três camadas iguais e adensadas, cada uma com 25 golpes. Assim retirado o molde lentamente, levantando-o verticalmente e medindo a diferença entre a altura do molde e a altura da massa do concreto depois de assentada conforme Figura 1.

Figura 1: Realização do ensaio *Slump Test*.



Fonte: Clube do concreto, 2013.

2.1.2.2 Plasticidade

A plasticidade é a propriedade do concreto fresco identificada pela facilidade com que o concreto é moldado sem se romper, isso também depende fundamentalmente da consistência e do grau de coesão entre os componentes, a fim de evitar o perigo de que apareçam vazios na peça depois de concentrada (GEPECON, 2010).

No caso, seria altamente desfavorável obter a consistência desejada aumentando-se simplesmente a quantidade de água, pois essa prática diminuiria significativamente a resistência do concreto, a qual, para ser compensada, exigiria o emprego de mais cimento (MEHTA, 2008).

2.1.2.3 Trabalhabilidade

É a propriedade do concreto fresco que identifica sua maior ou menor aptidão para ser empregado com determinada facilidade sem a perda de sua homogeneidade. Caracterizada pela medida da consistência do concreto (GEPECON, 2010).

A trabalhabilidade de um dado concreto é função de características como a dimensão dos agregados, teor de argamassa, relação água/cimento, entre outros, embora esse conceito seja mais subjetivo do que físico (ARAÚJO et al., 2001).

A resistência de um concreto depende fundamentalmente do fator água/cimento, isto é, quanto menor for este fator, maior será a resistência do concreto. Mas, evidentemente, deve-se ter um mínimo de água necessária para reagir com todo o cimento e dar trabalhabilidade ao concreto (CUPERTINO, 2007).

Segundo Carneiro (1953), não há nenhum ensaio satisfatório por meio do qual se possa medir o grau de trabalhabilidade de um concreto.

2.1.3 Propriedades do concreto no estado endurecido

As principais propriedades mecânicas do concreto são: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. Essas propriedades são determinadas a partir de ensaios, executados em condições específicas e geralmente, realizados para controle de qualidade e atendimento às especificações (ARAÚJO et al., 2001).

O concreto é um material que responde bem às tensões de compressão e em contrapartida responde mal às tensões de tração sendo que na resistência à compressão ele resiste aproximadamente dez vezes mais que na resistência a tração; na flexão, a resistência à tração (módulo de ruptura) é geralmente duas vezes maior das resistências obtidas por tração simples. O concreto resiste mal ao cisalhamento, em função das tensões de distensão que então se verificam em planos inclinados (PETRUCCI, 1987).

Os principais fatores que afetam a resistência mecânica são: relação água/cimento; idade; forma e graduação dos agregados; tipo de cimento; forma e dimensão dos corpos de prova; velocidade de aplicação da carga de ensaio e duração da carga (PETRUCCI, 1987).

2.1.3.1 Resistência mecânica à compressão

A resistência à compressão simples, denominada F_{ck} , é a característica mecânica mais importante, moldados segundo (NBR 5738 ABNT, 2003), os quais são ensaiados conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007).

Pode-se considerar a resistência do concreto como sendo função principalmente da resistência da pasta de cimento endurecida, do agregado e da ligação pasta/agregado (Araujo, *et. al.*, 2000).

Segundo Andolfato (2002) a resistência à compressão simples é a propriedade mais importante de um concreto, pois além do concreto trabalhar predominantemente à compressão, ela fornece outros parâmetros físicos que podem ser relacionados empiricamente à resistência à compressão.

2.1.3.2 Resistência mecânica à tração

Conforme Silva (2001):

“Usualmente é assumido no projeto estrutural, que o comportamento do concreto é governado por sua capacidade resistente à compressão, porém isto não significa que este parâmetro seja o único importante. Em determinadas estruturas, as solicitações predominantes são de tração na flexão (pavimentos de rodovias e de aeroportos, lajes e vigas) ou tração pura (tirantes e reservatórios cilíndricos)”.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o ensaio de tração direta ou axial do concreto raramente é aplicado, principalmente porque os dispositivos de fixação dos corpos de prova

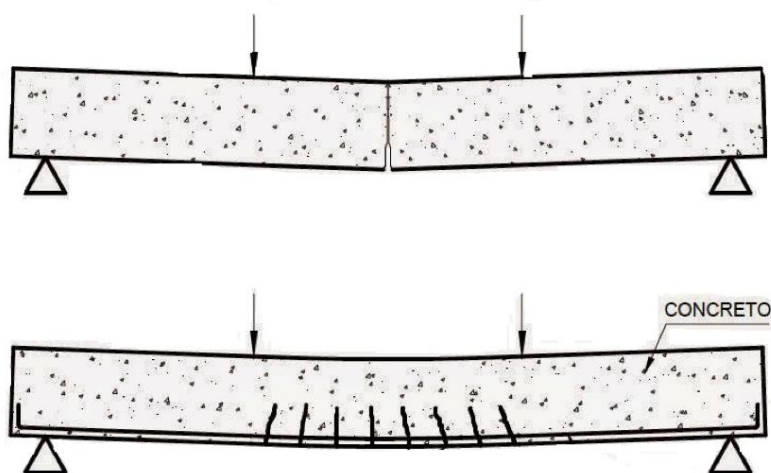
introduzem tensões secundárias que não podem ser ignoradas. Os resultados são muito influenciados pela forma de se proceder à tração na máquina de ensaio.

De acordo com Neville (1997), é muito difícil a aplicação de uma força de tração pura sem excentricidade. Não obstante alguns bons resultados obtidos com certos tipos de pinças, é difícil evitar tensões secundárias como as induzidas pelas pinças ou por pinos embutidos.

Ainda segundo Neville (1997) a resistência à tração interessa também no caso de estruturas de concreto simples sujeitas a abalos sísmicos, como barragens. Outras estruturas como pavimentos rodoviários e aeroportuários são projetadas com base na resistência à flexão, que implica em resistência à tração.

O ensaio é feito de acordo com a NBR 12142 (ABNT, 2010) em corpos de prova de concreto prismáticos, de seção quadrada e apoiada em dois cutelos, com a aplicação de duas cargas iguais e simetricamente dispostas em relação ao meio do vão, esses corpos de prova são moldados segundo a NBR 5738 (ABNT, 2008). Como a distância dos pontos de carga é um terço do vão, o ensaio é qualificado como por “carregamento nos terços”. Conforme mostra Figura 2.

Figura 2: Ilustração do ensaio de tração na flexão.



Fonte: www.ebah.com.br

Para a realização deste ensaio à flexão é feito carregamento em duas seções simétricas, até a ruptura (Figura 2). Pelo fato das seções carregadas se encontrarem nos terços do vão o ensaio também é conhecido como “carregamento nos terços”. Analisando os esforços que solicitam as cargas, nota-se que na região de momento máximo (terço do meio) tem uma cortante nula, portanto nesse trecho central ocorre flexão pura.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Caracterização da amostra

3.1.1.1 Composição do traço

O traço do concreto é a dosagem entre os componentes: cimento, areia, brita e água. O traço é o elemento que determinará a resistência do concreto, mais precisamente entre as quantidades de cimento e água.

Para obtenção dos objetivos foram dosados dois tipos de concreto com diferentes tipos de resistência característica, um com fck 30MPa e outro com fck 40MPa, ambos aos 28 dias.

O cimento utilizado para a produção dos traços foi o CP V ARI (Alta Resistência Inicial) que tem a peculiaridade de atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação. O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências, com maior velocidade (PETRUCCI, 1987).

Foram utilizados como agregados:

- Graúdo: classificado como pedrabrita nº 1 com tamanho de 9,5mm a 19mm, conforme análises da empresa;
- Miúdo: classificado como areia média com espessura entre 0,42 a 2 mm, conforme análises da empresa;

O traço utilizado foi estudado com ensaios obtidos para dar a sua forma em unidade e são descritos na Tabela 1e não possui a adição de aditivos. Os traços empregados são de resistências usuais empregados pela empresa na central dosadora.

Tabela 1: Composições de traços à serem utilizados.

Tipo de concreto	Abatimento (cm)	Brita.1 (kg)	Areia (kg)	Cimento (kg)	Água (lt)
Fck = 40MPa	10±2	2,54	1,6	1	0,45
Fck = 30MPa	10±2	3,1	2,13	1	0,55

Fonte: Autor, 2017.

3.1.1.2 Moldagem

A medida da resistência do concreto foi feita em corpos de provas cilíndricos (10x20cm) e prismáticos (15x15x50cm), definidos por meio da NBR 5738 (ABNT, 2003) que foram rompidos em prensas hidráulicas do laboratório da empresa.

Foram moldados para testes e ensaios 10 corpos de prova cilíndricos com o traço de 30 MPa e 10 corpos de prova para o traço de 40 MPa todos com *slump* de 12 cm , sendo 5 corpos de prova rompidos com 7 dias e 5 para 28 dias. Os resultados individuais são apresentados no Apêndice A.

Todos os cilindros foram moldados com duas camadas de concreto com 12 golpes de adensamento em cada camada para melhor preenchimento das formas, já nos prismáticos foi moldada com duas camadas de 75 golpes cada.

3.1.1.3 Processo de cura

Após a moldagem todas as amostras foram identificadas e a cura inicial foi feita em 24 horas para os corpos de prova cilíndricos e 48 horas para os corpos de prova prismáticos. Após esse período as amostras foram desmoldadas e imediatamente armazenadas em um tanque com água e cal, para início do processo de cura do concreto conforme NBR 5738 (ABNT, 2003).

Após sete dias foram retirados do tanque cinco corpos de prova cilíndricos de (10x20cm) para realizar ensaios de compressão axial e cinco corpos de prova prismáticos de (15x15x50cm) para ensaios de tração na flexão.

3.1.2 Procedimentos de ensaio

3.1.2.1 Ensaio de compressão

Depois de atingida as idades desejadas para o ensaio, 7 e 28 dias, os corpos de prova foram retirados e mantidos em temperatura de 23°C e em uma área com umidade mínima de 50% até o momento do ensaio em no máximo 6 horas.

Antes de ensaiar os corpos de prova é imprescindível preparar suas bases, de modo que se tornem superfícies planas e perpendiculares ao eixo longitudinal do corpo de prova. Com isso, foi realizada a retificação de cada cilindro de concreto. Esta operação é

executada em uma retífica adaptada para essa finalidade e que proporcione uma superfície lisa e livre de ondulações e abaulamentos.

Por fim a resistência à compressão do corpo de prova foi determinada pelo ensaio padronizado pela NBR 5739 (ABNT, 2007).

3.1.2.2 Ensaio de tração

Este método consiste em romper corpos de prova prismáticos, moldado de acordo com a norma NBR 5738 (ABNT, 2008).

Conforme a norma NBR 12142 (ABNT, 2010) Concretos – “Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos”, estabelece o método de ensaio de tração por flexão de corpos de prova de concreto, empregando o princípio da viga simplesmente apoiada com duas forças concentradas nos terços do vão. Para a resistência à tração na flexão foram confeccionados corpos-de-prova prismáticos com medidas 15x15x50cm, á partir do mesmo traço e foram rompidos para determinar a resistência á tração na flexão, em MPa, esta determinação serve para quantificar a resistência do material quanto ao seu movimento vertical (para cima e para baixo) possibilitando o dimensionamento da sua aplicação.

A norma brasileira NBR 12142 (ABNT, 2010) determina o procedimento de ensaio de tração na flexão. Consiste basicamente em aplicar duas cargas linearmente nos terços médios de corpo de prova prismático, de modo a provocar tração na face inferior do corpo de prova. A face terá suas fibras tracionadas até a ruptura do concreto. Devido à forma de aplicação de carga de ruptura do elemento de concreto, o terço central da peça fica sob ação pura, não havendo efeitos de esforços cortantes.

A Figura 3 apresenta o ensaio realizado no laboratório da empresa.

Figura 3: Ensaio de resistência à tração em corpos de prova prismáticos.



Fonte: Autor, 2018.

3.1.3 Análise dos dados

Depois de realizados todos ensaios conforme norma e descrito anteriormente, as informações coletadas foram utilizadas para alimentar planilha com fórmulas no Excel, gerando resultados esperados conforme os ensaios e comparados com parâmetros da NBR 6118 (ABNT, 2014).

CAPÍTULO 4

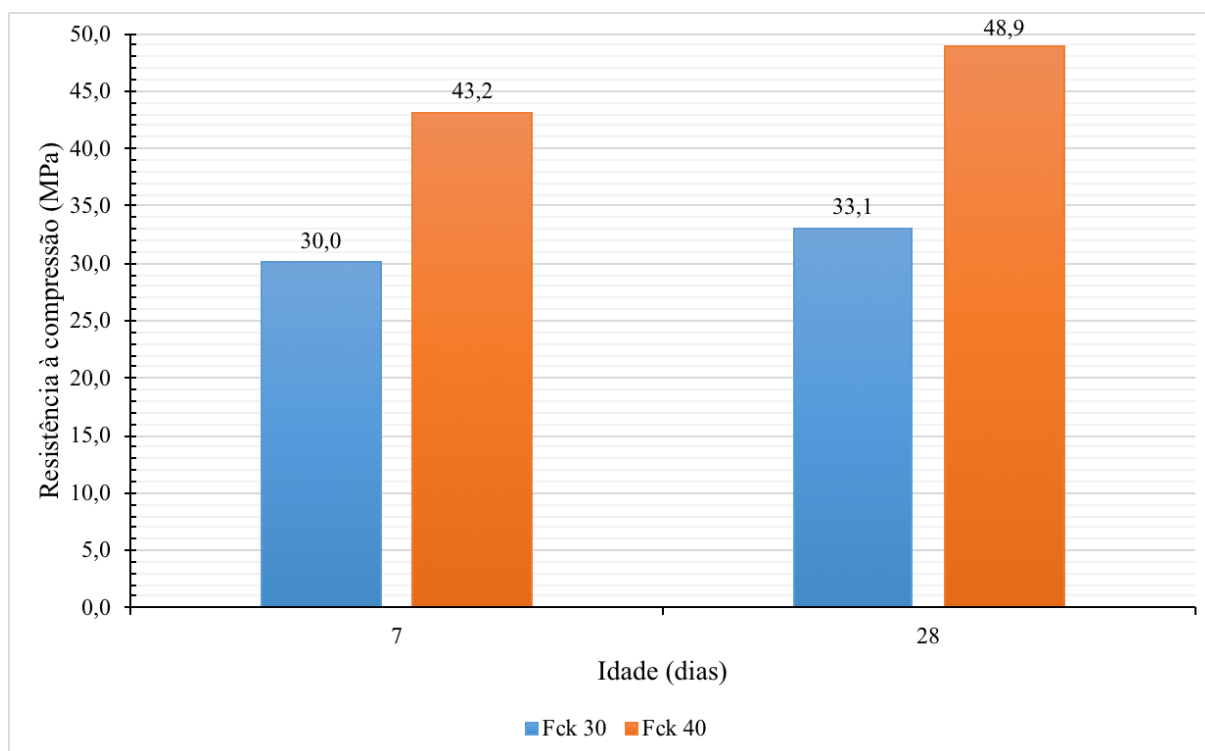
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1 Resistência à compressão

Os métodos utilizados para que os ensaios fossem realizados foram moldados conforme norma NBR 5738 (ABNT, 2003) e rompidos conforme NBR 5739 (ABNT, 2010).

A Figura 4 mostra a média dos corpos de prova ensaiados para cada idade.

Figura 4: Resultados de resistência à compressão.



Fonte: Autor, 2018.

Verificou-se uma variação de 3 a 8% nos resultados aos 7 dias para o traço com Fck = 30 MPa e de 1 a 7% para o traço com Fck = 40 MPa. Aos 28 dias a variação se manteve praticamente constante, sendo de 3 a 10% para o Fck = 30 MPa e de 1 a 4% para o Fck = 40 MPa. Essa baixa variação dos resultados em torno da resistência esperada representa boa homogeneidade e dosagem dos componentes do concreto.

O aumento da resistência à tração do concreto de $f_{ck}=30\text{MPa}$ é de 5 a 11% e o de 40MPa de 8 a 16% , assim é notado que a porcentagem não cresce com muita intensidade após o mesmo atingir 28 dias de idade.

A grande maioria das normas de concreto baseia seus cálculos na resistência do concreto na idade de 28 dias. O fato é que o incremento de resistência observado no concreto após esta idade não pode ser desconsiderado, especialmente para cimentos com adições ativas.

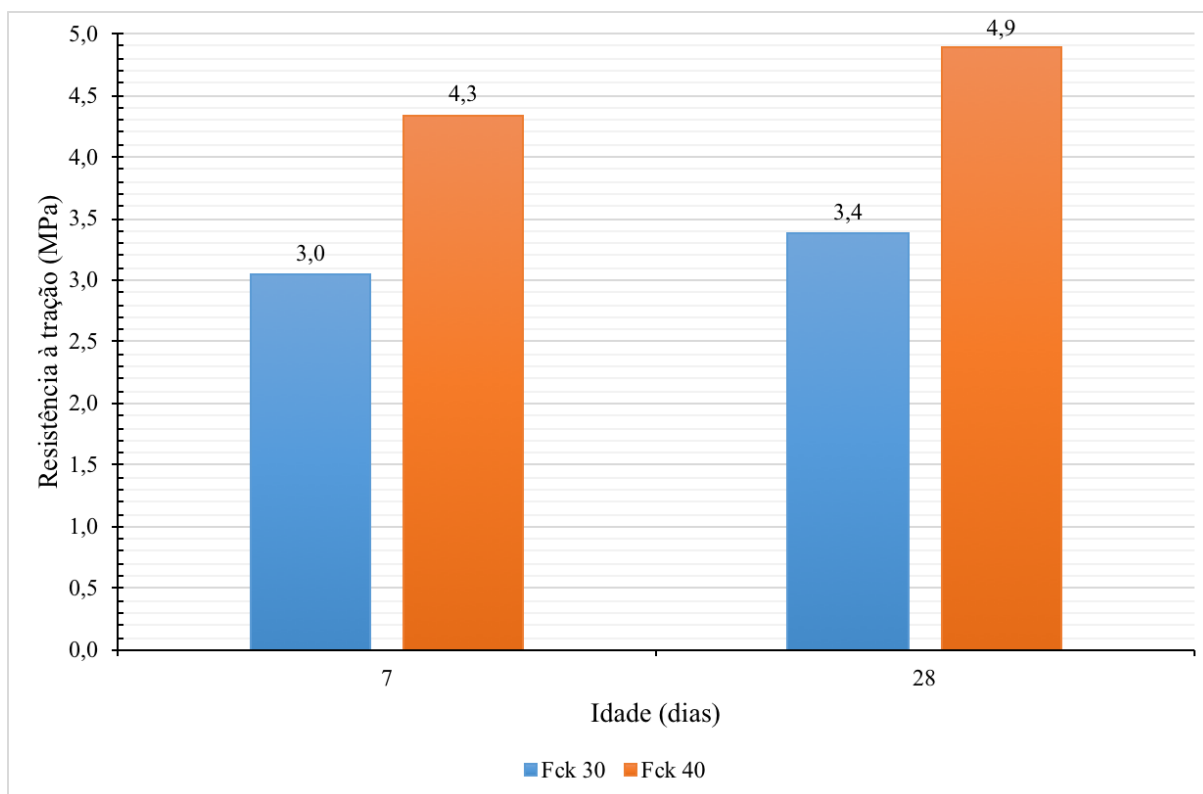
Ambas as dosagens de traços utilizados para realização desses ensaios foram feitas com o cimento portland de alta resistência inicial (CP V ARI). Segundo as características do traço, a resistência atingida nos ensaios realizados nesse trabalho e também segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) é que no sétimo dia atinge-se pelo menos 80% da resistência desejada, portanto ambos os traços atingem os valores esperados também para os 28 dias.

4.1.2 Resistência à tração

Os dados utilizados para o controle estatísticos aqui apresentados referem-se a ensaios de tração na flexão de corpos de prova prismáticos de concreto com medidas $15\times 15\times 50\text{ cm}$, conforme estabelecido na norma brasileira NBR 5738 (ABNT, 2018).

Os resultados individuais são apresentados no Apêndice B.

A Figura 5 mostra a média dos corpos de prova ensaiados para cada idade.

Figura 5: Resultados de resistência à tração.

Fonte: Autor, 2018.

Analisando os valores dos ensaios de ruptura de 7 dias do concreto de resistência característica de 30 MPa foi dominada uma variação entre os resultados de 0 a 5% entre os resultados, já para o concreto de Fck = 40MPa foram obtidas variações entre 4 a 10% nos resultados obtidos.

A tração do concreto é uma propriedade cada vez mais solicitada pelos projetistas, principalmente em obras de pavimentos e pisos de concreto, o conhecimento da variação de suas características com o tempo torna-se cada vez mais fundamental. O aumento da resistência à tração do concreto de fck=30MPa é de 8 a 16% e o de 40MPa de 12 a 18% , assim é notado que a porcentagem não cresce com muita intensidade após o mesmo atingir 28 dias de idade. Além disso, a resistência à tração do concreto é mais sensível às variações dos efeitos externos, tais como cura inadequada e adensamento insuficiente.

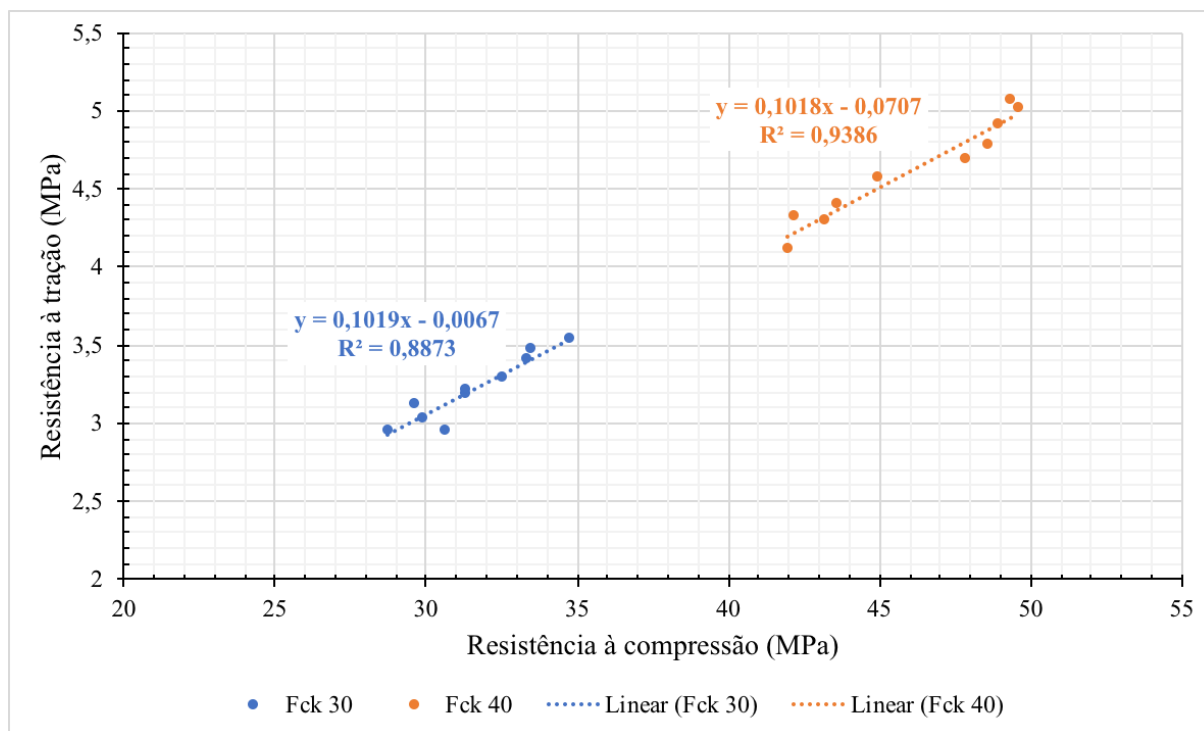
Segundo Mehta e Monteiro (1994), as resistências à compressão e à tração estão intimamente relacionadas; contudo, não há uma proporcionalidade direta. Para estes autores, as duas resistências aumentam com o tempo, mas a resistência à tração aumenta sob um regime de velocidade decrescente em relação à compressão. Este fato foi comprovado por Silva (*et.al.* 2001), que obtiveram uma proporcionalidade entre a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão variando de 9 a 16 %.

Com tudo pode-se afirmar que ambos os traços atingem a resistência à tração de 10% em relação à resistência à compressão para os 7 dias e com uma variedade superior a 3 e 4 MPa nos 28 dias.

4.1.3 Correlação entre as resistências

Com base nos valores médios de resistência foi montado um gráfico de correlação entre a resistência à tração e à compressão dos concretos, conforme Figura 6.

Figura 6: Correlação entre as resistências.



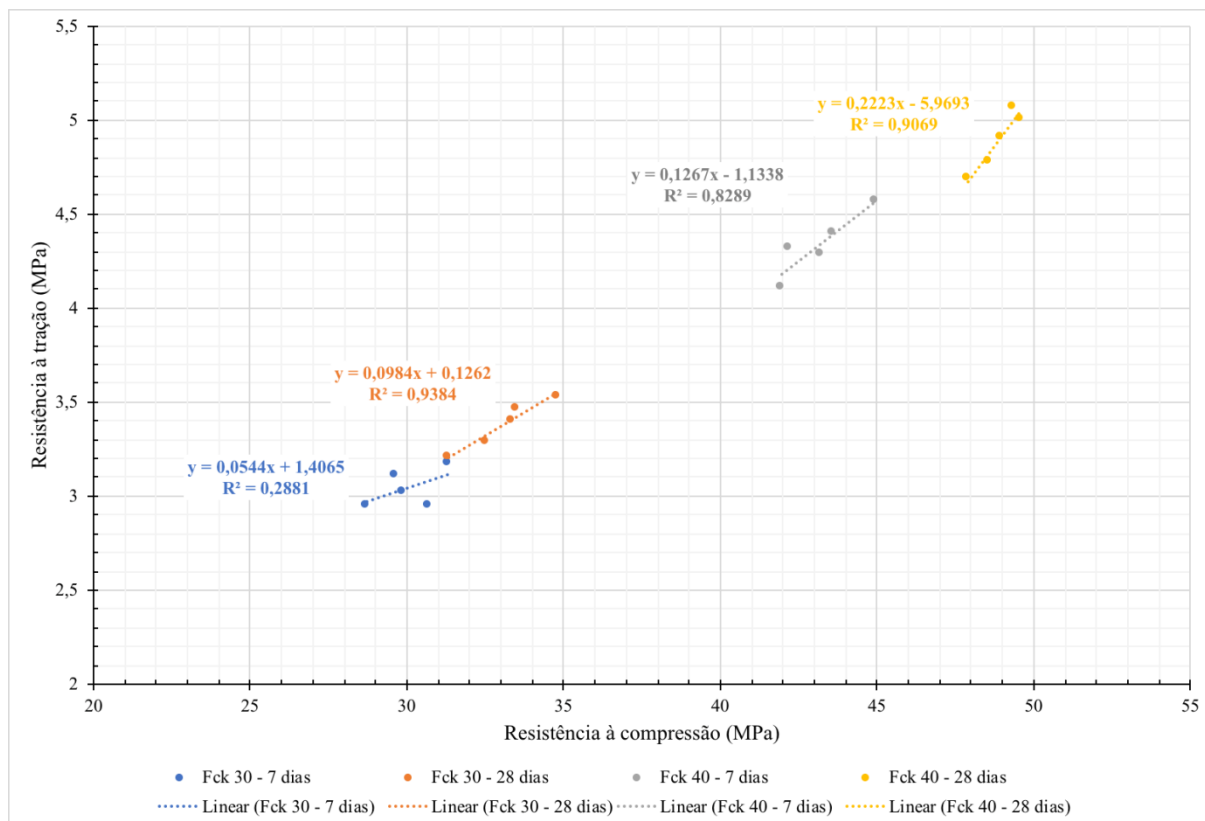
Fonte: Autor, 2018.

Utilizando-se o *software* Microsoft Excel, verificou-se que a melhor linha de tendência que se adequava aos dados era a linear, conforme a equação descrita no gráfico da Figura 6.

Segundo Cupertino (2007) existe uma correlação linear entre a resistência à compressão e à tração do concreto. Essa relação foi verificada também nesse trabalho, considerando que o coeficiente de determinação de 0,8873 para o traço de Fck = 30 MPa e de 0,9386 para o Fck = 40 MPa, o que significa que 88,73% dos ensaios são explicados pelo modelo linear para a classe de resistência C30 e 93,86% para a classe de resistência C40.

De forma a verificar a influência da classe de resistência e da idade foi realizado o gráfico da Figura 7.

Figura 7: Correlação em função da idade e da classe de resistência.



Fonte: Autor, 2018.

Verifica-se que quando analisado isoladamente as variáveis quanto maior a idade e a resistência, maior a validação da correlação das resistências pelo modelo linear, sendo que a própria NBR 6118 (ABNT, 2014) verifica a diferença em relação as classes quando no item 8.2.5 sobre a resistência à tração dos concretos divide em duas equações distintas a estimativa com base na resistência característica à compressão, sendo uma para classes abaixo de C50 e outra acima disso.

No entanto, a NBR 6118 (ABNT, 2014) não trata a correlação entre as resistências como uma forma linear, e sim como uma estimativa considerando as informações do item 8.2.5.

A resistência à tração de um concreto é função dos limites calculados pela resistência à compressão conforme a função polinomial dada na Equação e nas Equações 2 e 3 para classes abaixo de 50MPa.

$$f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3} \quad (01)$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m} \quad (02)$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3 f_{ct,m} \quad (03)$$

Onde:

$f_{ct,m}$ é a resistência média característica de resistência à tração (MPa);

f_{ck} é a resistência característica à compressão (MPa);

$f_{ctk,inf}$ é o limite inferior de aceitação da resistência à tração (MPa);

$f_{ctk,sup}$ é o limite superior de aceitação da resistência à tração (MPa);

Utilizando como base a Equação 1 tem-se estimado os valores da resistência média característica de resistência à tração na Tabela 2.

Tabela 2: Comparativo da resistência à tração NBR 6118 (ABNT, 2014).

Traço	Idade (dias)	Resistência à tração (MPa)	
		f_{ct} Ensaçada	$f_{ct,m}$ Estipulada pela NBR 6118
Fck = 30 MPa	7	3,04	2,90
	28	3,38	3,09
Fck = 40 MPa	7	4,34	3,69
	28	4,89	4,01

Fonte: Autor, 2018.

Portanto, os limites da NBR 6118 (ABNT, 2014) pelas Equações 2 e 3 para a inferência da resistência à tração direta tem-se os valores da Tabela 3.

Tabela 3: Limites de resistência à tração pela NBR 6118.

Traço	Idade (dias)	$f_{ctk,inf}$	$f_{ctk,sup}$
Fck = 30 MPa	7	2,03	3,77
	28	2,16	4,02
Fck = 40 MPa	7	3,04	4,80
	28	2,81	5,21

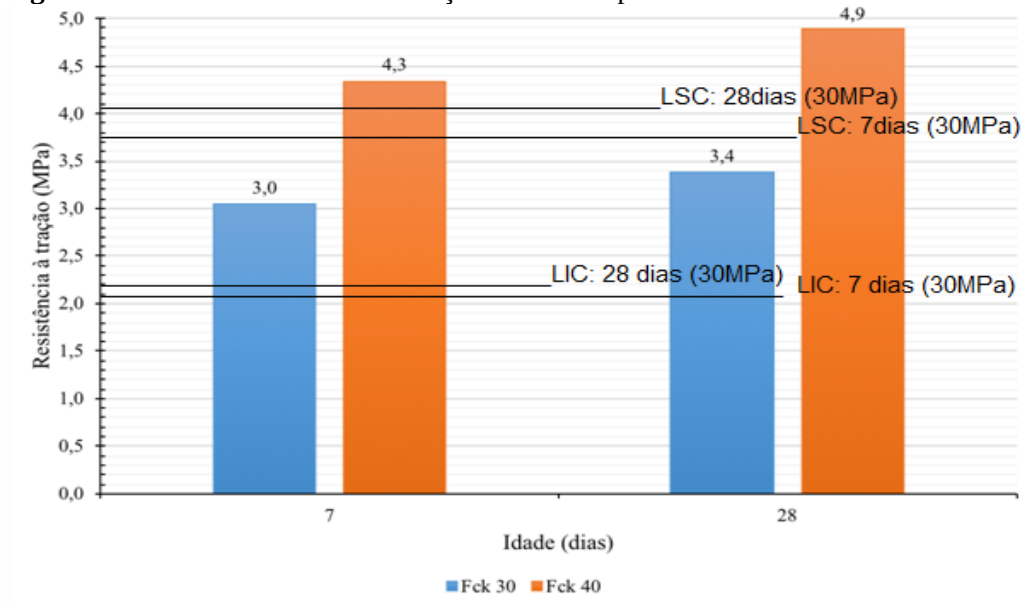
Fonte: Autor, 2018.

Segundo ainda o item 8.2.5 da NBR 6118 (ABNT, 2014) a resistência à tração será de 90% do limite superior ou de 70% do limite inferior, ou seja, esperava-se que as resistências estivessem entre:

- Fck = 30 MPa aos 7 dias: de 3,4 MPa à 1,42 MPa;
- Fck = 30 MPa aos 28 dias: de 2,8 MPa à 1,4 MPa;

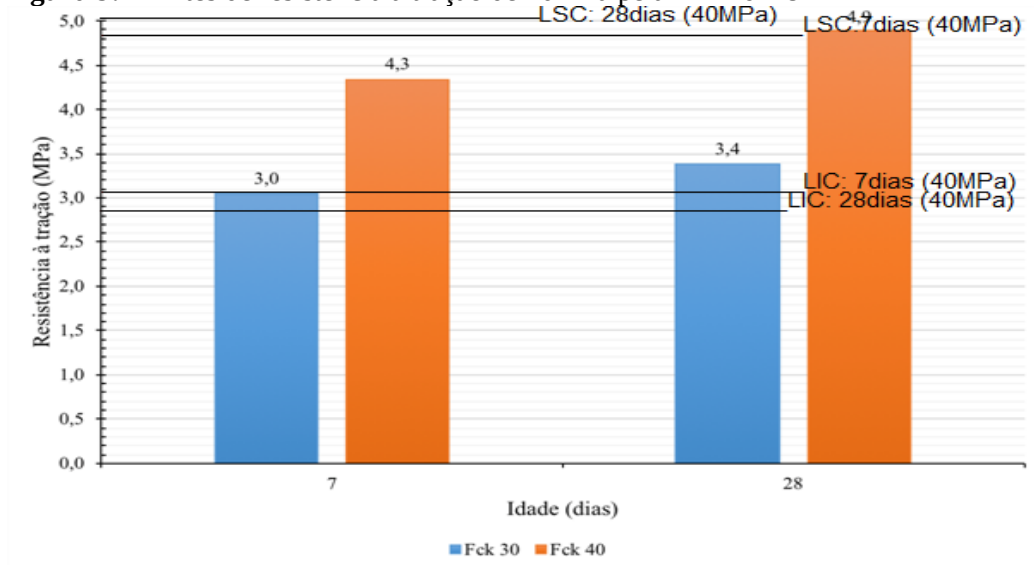
- $F_{ck} = 40$ MPa aos 7 dias: de 3,4 MPa à 2,12 MPa;
- $F_{ck} = 40$ MPa aos 28 dias: de 4,7 MPa à 2,0 MPa.

Figura 8: Limites de resistência à tração de 30MPa pela NBR 6118



Fonte: Autor, 2018.

Figura 9: Limites de resistência à tração de 40MPa pela NBR 6118



Fonte: Autor, 2018.

Ao analisar os resultados verifica-se que para ambos os concretos na idade de 7 dias a resistência encontrada no ensaio foi superior aos limites da NBR 6118 (ABNT, 2014), o que leva a indícios de que a norma é conservadora ao estimar a resistência em idades mais novas, mesmo dizendo que as equações possam ser utilizadas para concretos com resistência à compressão de projeto superior à 7 MPa aos 28 dias.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a conclusão da pesquisa e a realização dos ensaios considera-se que quanto maior a resistência característica, ou seja, quanto mais forte o concreto, maior o percentual que a resistência à tração assume em relação à compressão e quanto maior a idade de ruptura dos corpos de prova, menor o percentual assumido pela tração em relação à compressão, concluindo que com o passar do tempo favorece mais a compressão que a tração na flexão.

Os resultados e fatores do módulo de ruptura obtidos na pesquisa e nos ensaios realizados de compressão axial e tração na flexão mostrou que ele varia de um para o outro entre 10% tanto para 7 dias quanto para 28 dias.

Mostrou-se que a relação existente entre os métodos de ensaios existentes entre a resistência do concreto à compressão axial e a resistência à tração na flexão são variadas entre 10% e variam também conforme o traço escolhido e a idade de cura para resistência características. A pesquisa foi limitada e os ensaios comparados com teoria da NBR 6118 (ABNT, 2014).

Os resultados obtidos nesse trabalho que em comparação com a NBR 6118 (ABNT, 2014) foram considerados aceitos, porém mais expressivos.

Para os resultados de resistência à compressão do concreto verificou-se uma variação de 3 a 8% nos resultados aos 7 dias para o traço com $F_{ck} = 30$ MPa e de 1 a 7% para o traço com $F_{ck} = 40$ MPa. Aos 28 dias a variação se manteve praticamente constante, sendo de 3 a 10% para o $F_{ck} = 30$ MPa e de 1 a 4% para o $F_{ck} = 40$ MPa. Já para os resultados à tração na flexão do concreto o aumento da resistência à tração do concreto de $f_{ct}=30$ MPa é de 5 a 11% e o de 40MPa de 8 a 16% , assim é notado que a porcentagem não cresce com muita intensidade após o mesmo atingir 28 dias de idade.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para que haja melhorias nas execuções e também consiga gerar mais segurança para pessoas que executam e freqüentam lugares com necessidades de uma estrutura mais resistentes, seriam necessários mais métodos de pesquisas para que cada vez mais tenha qualidade nas execuções. Algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Relação existente entre a resistência do concreto à tração na flexão e resistência a compressão axial com adição de fibras.
- Relação existente entre a resistência do concreto à tração na flexão e resistência a compressão axial com maior ou menor fator água/cimento.
- Relação existente entre a resistência do concreto à tração na flexão e resistência a compressão axial com diferentes temperaturas para aplicar em diferentes tipos de clima.

REFERÊNCIAS

ANDOLFATO, R. P. Controle tecnológico básico do concreto. Ilha Solteira, 2002

ARAÚJO, R.C.L.; RODRIGUES, L.H.V.; FREITAS, E.G.A. Materiais de construção. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739/2007**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos - Rio de Janeiro, Junho de 2007.

_____. **NBR 12142/2010**: concreto– Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos – Rio de Janeiro, Novembro de 2010

_____. **NBR 5732/1991**: Cimento Portland comum– Rio de Janeiro, Julho de 1991

_____. **NBR 5738/2008**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpo de prova. Rio de Janeiro, fevereiro de 2008.

_____. **NBR 6118/2003**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento– Rio de Janeiro, Março de 2015.

_____. **NBR 7680/2015**: Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto – Espírito Santo, Maio de 2015.

CIMENTO.ORG – Portal do Concreto – 2006

CUPERTINO, M. A. L.; CASTRO A. de; INÁCIO, J. J.; ANDRADE, M. A. S. Avaliação de fatores de ensaio que interferem na resistência à compressão e na resistência à tração simples do concreto. In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., Bento Gonçalves – RS, 2007.

FALCÃO BAUER, L. A. Materiais de Construção. Vol 1 e 2, São Paulo, LTC, 2000.

GEPECON – Grupo de estudos e pesquisas em concreto – Santa Maria – RS – fevereiro de 2010.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. (2008). Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: IBRACON, 3.ed., 674p

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. Tradução Salvador E. Giamamusso, 2ª ed. São Paulo, PINI, 1997.

PETRUCCI, E. G. R. (1987) Concreto de Cimento Portland, 11ª edição, Editora Globo, Rio de Janeiro, Brasil 307p

SILVA, E. F.; SILVA, M. R.; OLIVEIRA, M. O. F. Resistências à tração por compressão diametral e por flexão de prismas em concretos de alto desempenho. In: 43º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., Foz do Iguaçu – PR, 2001.

APÊNDICE A – RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA

Tabela 2: Resultados de rompimentos de compressão

Nº cp's	Idade (dias)	Resistência (30MPa)	Nº cp's	Idade (dias)	Resistência (40MPa)
1	7	29,62 MPa	1	7	43,59 MPa
2	7	28,72 MPa	2	7	44,95 MPa
3	7	31,33 MPa	3	7	43,18 MPa
4	7	29,88 MPa	4	7	42,19 MPa
5	7	30,66 MPa	5	7	41,95 MPa
6	28	33,47 MPa	6	28	48,93 MPa
7	28	32,51 MPa	7	28	49,35 MPa
8	28	34,79 MPa	8	28	47,88 MPa
9	28	31,31 MPa	9	28	48,57 MPa
10	28	33,33 MPa	10	28	49,59 MPa

Fonte: Autor, 2018.

APÊNDICE B – RESISTÊNCIAS À TRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Tabela 3: Resultados de rompimentos de tração

Nº cp's	Idade (dias)	Resistência (30MPa)	Nº cp's	Idade (dias)	Resistência (40MPa)
1	7	3,11 MPa	1	7	4,40 MPa
2	7	2,95 MPa	2	7	4,57 MPa
3	7	3,18 MPa	3	7	4,29 MPa
4	7	3,02 MPa	4	7	4,32 MPa
5	7	2,95 MPa	5	7	4,11 MPa
6	28	3,47 MPa	6	28	4,91 MPa
7	28	3,29 MPa	7	28	5,07 MPa
8	28	3,53 MPa	8	28	4,69 MPa
9	28	3,21 MPa	9	28	4,78 MPa
10	28	3,40 MPa	10	28	5,01 MPa

Fonte: Autor, 2018.