

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
EDVALDO FERREIRA DE ARAÚJO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DE EMENDAS TRASPASSADAS
EM ARMADURAS LONGITUDINAIS DE VIGAS**

CASCABEL - PR
2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
EDVALDO FERREIRA DE ARAÚJO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DE EMENDAS TRASPASSADAS
EM ARMADURAS LONGITUDINAIS DE VIGAS**

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

Prof. Orientador: Mestre, Engenheiro Civil
Júlio Tozo Neto

CASCADEL - PR
2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

EDVALDO FERREIRA DE ARAÚJO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DE EMENDAS TRASPASSADAS
EM ARMADURAS LONGITUDINAIS DE VIGAS**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor **Mestre, Engenheiro Civil Júlio Tozo Neto**.

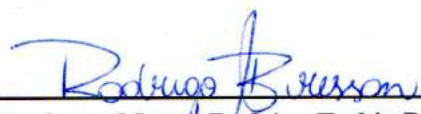
BANCA EXAMINADORA



Orientador Profº. **Mestre, Engenheiro Civil Júlio Tozo Neto**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil



Professora **Mestre Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil



Professor **Mestre Rodrigo Techio Bressan**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil

Cascavel, 11 de junho de 2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a toda minha família, aos amigos e professores que estiveram comigo nesta constante caminhada ao conhecimento, auxiliando-me para encontrar soluções legítimas de problemas ou situações, de modo que eu transponha barreiras as quais eventualmente surgiria nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente à Deus, que toda honra e glória seja destinada a Ele, pois permitiu que esse trabalho fosse concretizado dentro dos seus propósitos, além da força, sabedoria e capacidade na realização desse sonho.

Quero agradecer pelo apoio e orientações sábias dos professores que já tive, os quais compartilharam seus conhecimentos e mostrando um panorama geral da área da Engenharia Civil de forma clara e objetiva, despertando assim desejo e curiosidade pela área, e desejar-lhes que todas suas generosidades volte a vocês multiplicadas e que sejam repletas de muito sucesso.

Agradeço à minha família por ter me dado o suporte necessário para conclusão de mais essa etapa da minha vida. A minha mãe por toda dedicação que teve ao longo desses anos, muitas vezes abdicando dos seus objetivos para que os meus fossem realizados.

Meus sinceros agradecimentos ao Professor Mestre Júlio Tozo Neto pelo conhecimento compartilhado, pela paciência incondicional, pelo incentivo, colaboração e apoio, desde o surgimento da ideia desse trabalho.

Ainda quero expressar meus sinceros agradecimentos a construtora de pré-fabricados *FortLajes*, sendo representado pelos proprietários Diego, Patrick e o Senhor Ilson, os quais não pouparam esforços para me ajudar a confeccionar os corpos de provas de vigas, fornecendo-me todo os materiais necessários e total apoio nessas tarefas.

Quero expressar minha gratidão aos orientadores da disciplina pelas contribuições prestadas no desenvolvimento desse trabalho, visto que suas colocações foram de extremamente válidas e pertinentes.

Aos meus amigos que estiveram me apoiando nos momentos de dificuldade, dando todo suporte necessário para que isso fosse realizado da melhor forma. Por todas palavras de carinho e pelos momentos de compreensão e paciência.

Meu muito obrigado!

EPÍGRAFE

“Não vos amoldeis às estruturas deste mundo,
mas transformai-vos pela renovação da mente,
a fim de distinguir qual é a vontade de Deus:
o que é bom, o que Lhe é agradável, o que é perfeito.
(Bíblia Sagrada, Romanos 12, 2)

RESUMO

No Brasil, o aço utilizado na construção civil para utilização nas armaduras, geralmente são encontrados em comprimentos padrão de 12 metros, necessitando que na maioria das construções se faça uso de dispositivos para emenda destas barras, e quando há necessidade de fazê-las, devem ser corretamente dimensionadas e executadas, para que transmitam os esforços de uma barra à outra de forma homogênea, sendo necessário muito cuidado e atenção no projeto e detalhamento das ligações, pois são regiões de descontinuidade muito solicitadas. Assim, devem combinar economia e praticidade, atendendo às necessidades de ductilidade, durabilidade, resistência e rigidez, sendo idealizado uma ligação que transmita os esforços solicitantes integralmente, diminuindo assim as seções resistentes das peças e, conseqüentemente, diminuindo o consumo de materiais e aumentando a área útil. Esse trabalho trata de um estudo experimental embasado nas normas brasileiras NBR 12142:2010, no tocante ao ensaio de resistência à flexão simples, sendo os elementos de vigas, dimensionadas com auxílio das normas NBR 6118:2014, NBR 6120:1980, NBR 5738:08, dentre outras. O objetivo foi analisar a resistência à flexão simples das vigas confeccionadas com traspases no terço médio do vão, sendo referência a resistência última das vigas com amarração de arame recozido, prevista na NBR 6118:2014. As demais emendadas por materiais alternativos borracha e abraçadeira em *nylon*. Após definida a seção da viga e seus carregamentos resistentes, realizou-se confecção e montagem das armaduras e caixarias, simulando nestas, emendas por traspases na disposição das armaduras longitudinais, e amarradas com os materiais propostos. Após, concretadas e curadas até o 12º dia com resistência de 23.6MPa, iniciou-se o ensaio e comparados os desempenhos das diferentes amarrações das armaduras longitudinais com os de referência. A resistência para as vigas de referência resultou em $11t_f = 2,7\text{MPa}$. Para cada elemento representativo foram ensaiados três corpos de provas para análise estatística e melhor representatividade do conjunto de amostras. Após os rompimentos e comparando-as, notou-se pequena variação nas resistências, sendo 1,25% para o elemento *nylon* e 6,17% para borracha, corroborando com a possibilidade da utilização de materiais que até então seriam consideradas descartes ou inaplicáveis a esse tipo de fixação em armaduras na construção civil, porém a agilidade de amarração inicialmente esperada, restou-se deficiente devido a morosidade da aplicação, podendo no decorrer do tempo reagirem com os componentes do concreto armado, e por precaução recomenda-se a manutenção usual do arame recozido.

Palavras-chave: Desempenho. Rompimento. Armaduras. NBR 12142. Ensaio. Flexão Simples.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição do agregado	19
Figura 2 – Nomenclaturas utilizadas	22
Figura 3 – Nomenclaturas	23
Figura 4 – Concreto no estado fresco	24
Figura 5 – Tipos de cimento comercializados no Brasil	24
Figura 6 – Evolução média de resistência à compressão dos distintos tipos de cimento portland	25
Figura 7 – Classe de resistência de concretos estruturais	27
Figura 8 – Aparelhagem para o ensaio de abatimento	29
Figura 9 – Representação gráfica do teste de abatimento de tronco de cone	30
Figura 10 – Aparelhagem para o ensaio de abatimento	30
Figura 11 – Tolerâncias ensaio de trabalhabilidade	31
Figura 12 – Limite máximo para formação de lotes de concreto	31
Figura 13 – Valores ψ_6	32
Figura 14 – Formato da fissuração na emenda de duas barras	38
Figura 15 – Emendas supostas na mesma seção transversal.	39
Figura 16 – Representação dos esforços cortantes e momentos fletores.	41
Figura 17 – Equipamento normatizado a ser utilizado.	42
Figura 18 – Modelo padrão normatizado pela NBR 12142:2010, amarradas com diversos materiais nos traspases.	43
Figura 19 – Resumos dos esforços para o modelo padrão normatizado pela NBR 12142:2010.	44
Figura 20 – Cimento CP V – ARI (alta resistência inicial).	45
Figura 21 – Areia média.	45
Figura 22 – Agregado brita 1.	46
Figura 23 – Água utilizada - Balde dosador (20L) - Tambor de armazenamento	46
Figura 24 – Betoneira utilizada - marca CSM 600	47
Figura 25 – Processo de fabricação do concreto fresco	48
Figura 26 – Processo de moldagem dos corpos de provas com o concreto fresco	49
Figura 27 – Processo de fresagem dos corpos de provas e identificação	50
Figura 28 – Dados obtidos com auxílio <i>plugin FlexCisTor v2.5</i>	51
Figura 29 – Processo de armação das armaduras de aço	53
Figura 30 – Amostra padrão normatizada pela NBR 12142:2010 com traspases amarra- das com arame recozido.	54
Figura 31 – Amostra padrão normatizada pela NBR 12142:2010 com traspases amarra- das com descartes de borrachas.	54

Figura 32 – Amostra padrão normatizada pela NBR 12142:2010 com traspases amarradas com abraçadeiras de <i>nylon</i>	55
Figura 33 – Formas confeccionadas em madeira	56
Figura 34 – Formas confeccionadas em madeira	56
Figura 35 – Equipamento controlador normatizado a ser utilizado do laboratório de ensaios da FAG	57
Figura 36 – Prensa com acessórios suportes de apoio (cutelos) e descarga de esforços normatizados do laboratório de ensaios da FAG	57
Figura 37 – Amostras padrão normatizada pela NBR 12142:2010 com traspases diversos no 12º dia, processo de desformas e posicionamento na máquina de rompimento.	58
Figura 38 – Curva de evolução de resistência no tempo para corpos de provas cilíndricos (10 × 20cm)	59
Figura 39 – Dados das amostras padrão normatizada pela NBR 12142:2010 com traspases amarradas com arame recozido.	60
Figura 40 – Dados das amostras padrão normatizada pela NBR 12142:2010 com traspases amarradas com descartes de borrachas.	60
Figura 41 – Dados das amostras padrão normatizada pela NBR 12142:2010 com traspases amarradas com abraçadeiras de <i>nylon</i>	61
Figura 42 – Linhas de ruptura das amostras de vigas submetidas à flexão pura.	61
Figura 43 – Gráfico das médias dos dados amostrais normatizados pela NBR 12142:2010 com traspases diversos.	63
Figura 44 – Detalhamentos das amostras padrão normatizadas pela NBR 12142:2010 com traspases diversos.	70
Figura 45 – Resistência do rompimento dos corpos de provas cilíndricos - CP 01:1 DIA	71
Figura 46 – Resistência do rompimento dos corpos de provas cilíndricos - CP 02:3 DIA	72
Figura 47 – Resistência do rompimento dos corpos de provas cilíndricos - CP 03:5 DIA	73
Figura 48 – Resistência do rompimento dos corpos de provas cilíndricos - CP 04:7 DIA	74
Figura 49 – Resistência do rompimento dos corpos de provas cilíndricos - CP 05:10 DIA	75
Figura 50 – Resistência do rompimento dos corpos de provas cilíndricos - CP 06:12 DIA	76
Figura 51 – Resistência do rompimento dos corpos de provas vigas: Viga 01- AR	78
Figura 52 – Resistência do rompimento dos corpos de provas vigas: Viga 02- AR	79
Figura 53 – Resistência do rompimento dos corpos de provas vigas: Viga 03- AR	80
Figura 54 – Resistência do rompimento dos corpos de provas vigas: Viga 01- BOR	81
Figura 55 – Resistência do rompimento dos corpos de provas vigas: Viga 02- BOR	82
Figura 56 – Resistência do rompimento dos corpos de provas vigas: Viga 03- BOR	83
Figura 57 – Resistência do rompimento dos corpos de provas vigas: Viga 01- NYLON	84
Figura 58 – Resistência do rompimento dos corpos de provas vigas: Viga 02- NYLON	85
Figura 59 – Resistência do rompimento dos corpos de provas vigas: Viga 03- NYLON	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites de distribuição granulométrica de acordo com a norma NBR 7211:2009.	19
Tabela 2 – Limites da composição granulométrica para os agregados graúdos.	20
Tabela 3 – Cronograma de rompimento	50
Tabela 4 – Propriedades geométricas das vigas	50
Tabela 5 – Valores de cálculo da armadura longitudinal	51
Tabela 6 – Valores de cálculo da armadura transversal	52
Tabela 7 – Características do concreto	52
Tabela 8 – Cronograma de rompimento e resultados obtidos	59
Tabela 9 – Resultados do ensaio	62
Tabela 10 – Consolidação dos dados de rompimentos	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
f_{ck}	Resistência característica do concreto
E_t	Elasticidade tangente
f_s	Tensão
f_r	Compressão
E_s	Elasticidade secante
f_{yk}	Resistência característica de escoamento do aço à tração
f_{stk}	Limite de resistência
ρ	Massa específica
E	Módulo de elasticidade
ν	Coefficiente de Poisson no regime elástico
G	Módulo transversal de elasticidade
ν_ρ	Coefficiente de Poisson no regime plástico
f_k	Valores característicos das resistências
f_{cd}	Resistência de cálculo do concreto
f_{ck}	Resistência característica do concreto
γ_c	Coefficiente de segurança do concreto
f_{yd}	Resistência de cálculo do aço (tração e compressão)
f_{yk}	Resistência característica do aço
γ_s	Coefficiente de segurança do aço
F_g	Cargas permanentes
F_q	Cargas acidentais
F_ε	Ações indiretas
F_{exp}	Ações excepcionais

F_d	Valores de cálculo das ações
γ_f	Coeficientes de ponderação das ações
γ_{f1}	Variabilidade das ações
γ_{f2}	Simultaneidade de atuações das ações
γ_{f3}	Erros de avaliação
γ_f	Índice do coeficiente
γ_g	Ações permanentes
γ_q	Ações variáveis diretas – acidentais
λ_ε	Efeitos de deformação impostas – ações indiretas
ψ_0	Fator de redução de combinação para o estado-limite último
ψ_1	Fator de redução de combinação frequente para o estado limite de serviço
ψ_2	Fator de redução de combinação quase permanente para o estado-limite de serviço
f_{tk}	Resistência característica à tração
ξ	Alongamento na ruptura

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO 1	14
1.1	INTRODUÇÃO	14
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	15
1.3	JUSTIFICATIVA	15
1.4	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	16
1.5	FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	16
1.6	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	16
2	CAPÍTULO 2	17
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1.1	Concreto	17
2.1.1.1	Cimento Portland	17
2.1.1.2	Agregados miúdo e graúdo	18
2.1.1.3	Água	21
2.1.1.4	Caracterização do concreto	22
2.1.1.5	Tempo de cura do concreto	26
2.1.1.6	Abatimento do tronco de cone	28
2.1.1.7	Resistência à compressão	31
2.1.1.8	Concreto dosado em central (CDC)	33
2.1.1.9	Resistência característica do concreto à compressão - f_{ck}	34
2.1.2	Aço	34
2.1.2.1	Elemento estrutural - Aço	34
2.1.2.2	Características mecânicas do aço	35
2.1.2.3	Armaduras de aço	36
2.1.2.4	Concreto armado	36
2.1.2.5	Dimensões mínimas para elementos de concreto armado	37
2.1.3	Ligações das barras longitudinais	37
2.1.3.1	Emenda por transpasse	38
2.1.3.2	Proporção das barras emendadas	38
2.1.3.3	Comprimento de transpasse de barras tracionadas, isoladas	39
2.1.3.4	Comprimento de ancoragem	40
2.1.4	Flexão Pura	40

3	CAPÍTULO 3	43
3.1	METODOLOGIA	43
3.1.1	Tipo de estudo e descrição do método	43
3.1.2	Caracterização da amostra	44
3.1.2.1	Cimento	44
3.1.2.2	Areia média	45
3.1.2.3	Brita 1	46
3.1.2.4	Água - Empresa de abastecimento da cidade Cascavel	46
3.1.2.5	Concreto	47
3.1.2.6	Armaduras de aço e propriedades geométricas	50
3.1.2.7	Esforço resistente	55
3.1.2.8	Fôrmas	55
3.1.2.9	Concretagem - Concreto Armado	56
3.1.3	Coleta de dados	57
3.1.4	Análise dos dados	58
4	CAPÍTULO 4	59
4.1	RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
5	CAPÍTULO 5	64
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
6	CAPÍTULO 6	65
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	65
	REFERÊNCIAS	66
	ANEXO A – DETALHAMENTOS DAS VIGAS	70
	ANEXO B – EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA NO TEMPO	71
	ANEXO C – DADOS ROMPIMENTOS DAS VIGAS	78

1 CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

É razoável inferir que resistir aos esforços e ser durável são algumas das principais características do concreto armado, por isso ele é considerado um dos materiais mais importantes da construção civil, e quando não dimensionado dentro das normativas vigentes pode acarretar inúmeros problemas. A análise estrutural é feita idealizando o comportamento das estruturas e tem como objetivo geral determinar os esforços internos e externos e os deslocamentos da estrutura que se deseja projetar. Essas estruturas devem resistir aos esforços solicitantes, senão, atingirão um estado limite último (ELU), podendo vir à ruína.

Tal resistência interna se dá através da aderência entre o concreto e as barras de aço, que agem de forma conjunta, solidários para suportar as tensões atuantes.

É sabido que o concreto é um material que resiste satisfatoriamente à compressão, mas deficiente quanto aos esforços solicitantes de tração. Já o aço possui alta resistência aos esforços de tração, e adicionado ao concreto, tornam-se mais resistentes aos esforços aliando o que cada um possui de melhor.

A maioria das obras construídas por esse tipo de sistema apresentam três estruturas básicas, apresentadas em qualquer curso de engenharia civil: lajes, vigas e pilares; as quais transmitem os esforços até as fundações ou similares.

Vigas são elementos que além de possuir a função de vencer vãos, também transmitem as cargas para os apoios, geralmente pilares. Ao longo do eixo longitudinal, as vigas, em grande maioria das aplicações são retas e horizontais, sendo o modelo aplicado nesse trabalho experimental. As vigas, juntamente com as lajes e pilares, são responsáveis pelo contraventamento da estrutura, proporcionando estabilidade global da obra às ações verticais e horizontais. Geralmente possui duas armaduras diferentes, a longitudinal e a transversal (estribos).

É importante ressaltar que o aço para armadura é encontrado em comprimentos padrão de 12 metros, no Brasil, necessitando que na maioria das construções se faça uso de dispositivos para emenda destas barras.

Quando há necessidade de fazer emendas, estas devem ser corretamente dimensionadas e executadas, para que sejam completamente transmitidas os esforços de uma barra à outra. É necessário muito cuidado e atenção no projeto e detalhamento das ligações, pois são regiões de descontinuidade dos elementos e onde as tensões ficam concentradas.

Esses tipos de ligações devem combinar economia e praticidade, atendendo às necessidades de ductilidade, durabilidade, resistência e rigidez. O ideal seria uma ligação que transmitisse os esforços solicitantes totalmente, diminuindo assim as seções resistentes das peças e, consequentemente, diminuindo o consumo de materiais e aumentando a área útil.

Portanto, uma ligação barata, versátil e de fácil execução, seria o ideal para bom anda-

mento na execução da continuidade de vigas, quando forem descontínuas.

Neste trabalho pretende-se avaliar o emprego de novos materiais para amarração por traspasse das armaduras longitudinais, analisando a substituição do arame recozido em emendas traspassadas em armaduras longitudinais de vigas por materiais alternativos como: borracha e abraçadeira em *nylon*, podendo contribuir para o dinamismo e versatilidade nas obras de construção civil em com concreto armado.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a resistência à flexão simples em vigas, substituindo a amarração de arame recozido nas emendas traspassadas em armaduras longitudinais por materiais alternativos borracha e abraçadeira em *nylon*.

1.2.2 Objetivos específicos

- Confeccionar as armaduras, realizando a amarração das amostras de vigas com os diferentes materiais alternativos como: borracha e abraçadeira em *nylon*, simulando emenda por traspasse na disposição das armaduras longitudinais, garantindo a estanqueidade e fixação dos elementos (estribo, cobrimento nominal de 3cm, emendas e armaduras longitudinais;
- Executar os rompimentos à tração por flexão em laboratório;
- Analisar comparativamente as resistências à flexão simples adquiridas em ensaios laboratoriais, para um conjunto de três amostras representantes de cada modo de amarração;
- Mostrar as vantagens/desvantagens do uso de materiais alternativos nas obras de construção civil.

1.3 JUSTIFICATIVA

O Brasil aprovou a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por intermédio da Lei nº 12.305 de 2 de Agosto de 2010, a qual define a forma como o país deve dispor os seus resíduos, incentivando a reciclagem e a sustentabilidade, sendo assim, a busca incessante pelo emprego de materiais considerados “descartes” é a palavra de “ordem” na atualidade. Não obstante, o uso dos materiais na amarração das armaduras longitudinais, visando contribuir para o possível dinamismo e versatilidade nas obras de construção civil com concreto armado, garantindo-lhes resistir aos esforços solicitantes, colaboram com o atual cenário.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Será que é possível a utilização de materiais alternativos na amarração de armaduras longitudinais, garantindo-lhes resistir aos esforços solicitantes?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

Mesmo sabendo da possibilidade de se realizar emendas em barras longitudinais, quando possível, devem ser evitadas. Entretanto, em determinadas obras de construção civil é comum a necessidade de se efetuar emendas nas barras longitudinais, e nesses casos é fundamental garantir que ocorra a transmissão dos esforços de modo a atender as solicitações de cálculo. A NBR 6118:2014 retrata as emendas, classificando-as, e ainda normatiza que são permitidas as emendas individuais de fios, cordoalhas e cabos, por dispositivos especiais de eficiência consagrada pelo uso ou devidamente comprovada por ensaios conclusivos, sendo o tipo e a posição das emendas estar perfeitamente caracterizadas no projeto. Diante do dinamismo e versatilidade nas obras de construção civil com concreto armado, as armaduras longitudinais de vigas, amarradas por transpasse, utilizando materiais alternativos na amarração pode vir a resistir aos esforços solicitantes o que possibilita ganhos de resistência.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa será limitada ao levantamento estatístico de dados relativos aos percentuais de resistência ao rompimento à flexão simples das amostras de vigas confeccionadas em concreto armado, cujas armaduras longitudinais traspassadas são amarradas utilizando materiais alternativos. Os ensaios de rompimento à flexão simples serão realizados em laboratório do centro universitário da fundação Assis Gurgacz na cidade de Cascavel, Paraná. Diante dos resultados, analisar a possibilidade de utilização dessas formas propostas de amarração em obras de construção civil, alternativamente aos materiais e métodos normativos.

2 CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Concreto

2.1.1.1 Cimento Portland

Para Siqueira (2008), cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de clinker constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego. O clinker é um produto de natureza granulosa, resultante da calcinação de uma mistura daqueles materiais, conduzida até a temperatura de sua fusão incipiente.

Siqueira (2008) retrata que os constituintes básicos do cimento Portland são a sílica (SiO_2), a cal (CaO), a alumina (Al_2O_3), o óxido de ferro (Fe_2O_3), magnésia (MgO) e ainda anidrido sulfúrico (SO_3), que é adicionado após a calcinação para retardar o tempo de pega do produto. Tem ainda, como constituintes menores impurezas adquiridas do processo, óxido de sódio (Na_2O), óxido de potássio (K_2O), óxido de titânio (TiO_2) e outras substâncias de menor importância. Os óxidos de potássio e sódio constituem os denominados álcalis do cimento.

De acordo com Varela (2013), o Cimento Portland Composto é modificado e gera calor numa velocidade menor do que o gerado pelo Cimento Portland Comum. Seu uso, portanto, é mais indicado em lançamentos maciços de concreto, onde o grande volume da concretagem e a superfície relativamente pequena reduzem a capacidade de resfriamento da massa. Este cimento também apresenta melhor resistência ao ataque dos sulfatos contidos no solo. Recomendado para obras correntes de engenharia civil sob a forma de argamassa, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados, artefatos de cimento, dentre outras aplicações. É possível visualizar as recomendações para o uso de cada tipo de CP II, levando em consideração os elementos(intempéries) de agressão do mesmo:

- a) Cimento Portland CP II-Z (com adição de material pozzolânico) - Empregado em obras civis em geral, subterrâneas, marítimas e industriais. E para produção de argamassas, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. O concreto feito com este produto é mais impermeável e por isso mais durável(VARELA, 2008).
- b) Cimento Portland Composto CP II-E (com adição de escória granulada de alto-forno) - Composição intermediária entre o cimento portland comum e o cimento portland com adições (alto-forno e pozzolânico). Este cimento combina com bons resultados o baixo calor de hidratação com o aumento de resistência do Cimento Portland Comum. Recomendado para estruturas que exijam um desprendimento de calor moderadamente lento ou que possam ser atacadas por sulfatos (VARELA, 2008).

- c) Cimento Portland Composto CP II-F (com adição de material carbonático - fíler) - Para aplicações gerais. Pode ser usado no preparo de argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro, concreto-massa, elementos pré-moldados e artefatos de concreto, pisos e pavimentos de concreto, solo-cimento, dentre outros (VARELA, 2008).

2.1.1.2 Agregados miúdo e graúdo

Os agregados destacam-se por compor cerca de 60 a 80 % do volume do concreto (ARAGÃO FILHO, 2010). A qualidade deste material é fundamental na produção de um concreto adequado, isto é, que atende às especificações exigidas pelo setor da engenharia e afins. Agregados podem ser naturais ou artificiais, sendo os naturais aqueles que se encontram de forma particulada na natureza (areia, cascalho ou pedregulho) e artificiais os que são produzidos por algum processo industrial (pedras britadas, areias artificiais e argilas expandidas, entre outros), então é, portanto, um material granular que não possui forma nem volumes definidos, geralmente inerte e possui propriedades adequadas contra o desgaste (I. Oliveira, 2012). Exercem uma forte influência sobre as propriedades e características do concreto a ser fabricado, possuindo, desta forma, fundamental importância na construção de edificações. Desta forma, justifica-se a necessidade da execução de análises da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto, descritos na norma NBR NM 248 (ABNT, 2001).

De acordo com a NBR 9935:1987, o agregado pode ser definido como um material granular pétreo, sem forma ou volume definido, a maioria das vezes quimicamente inerte, obtido por fragmentação natural ou artificial, com dimensões e propriedades adequadas a serem empregados em obras de engenharia. São produzidos a partir de britagem de maciços rochosos ou da exploração de ocorrências de material particulado natural, areia, seixo rolado ou pedregulho.

Em geral, os agregados para concreto são areia, pedregulho e pedra britada, procedentes de jazidas naturais, e são, portanto, designados como agregados naturais. Por outro lado, os materiais processados termicamente, tais como argila expandido, pedra pomes, vermiculita e perlita expandidas, cinzas volantes e escórias de alto forno, que são usados para a produção de concreto leve, são chamados agregados artificiais (ARAGÃO FILHO, 2010).

A principal aplicação dos agregados é na fabricação de concretos e argamassas onde, em conjunto com um aglomerante (pasta de cimento portland / água), constituem uma rocha artificial, com diversas utilidades em engenharia. Podem também ser aplicados em diversos campos da engenharia, tais como: base de estradas de rodagem, lastro de vias férreas, elemento filtrante, muros de contenção, paisagismo, entre outros (NBR 9935, 1987).

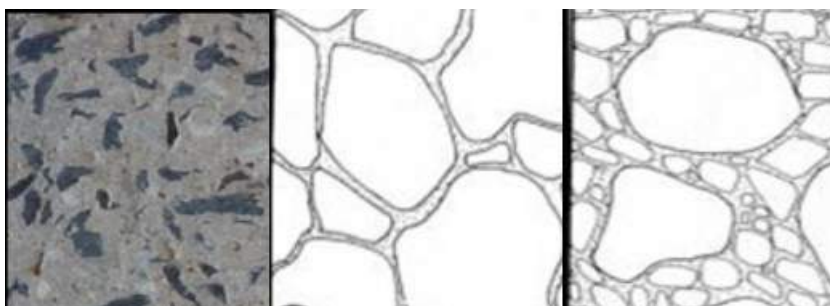
As diretrizes deste ensaio retratam sobre a composição granulométrica, a qual considera a proporção relativa entre os diferentes tamanhos de grãos que fazem a constituição do material. Para tanto faz-se uso de conjunto de peneiras, com diferentes malhas, analisando aquilo que passa pela peneira e aquilo que fica retido.

Por possuírem propriedades que devem ser estudadas e determinadas para a aplicação

na produção de argamassa e concreto destacando-se: a composição granulométrica; a massa específica; a massa unitária; a umidade; o inchamento; impurezas; formas de partículas; e a reatividade, é de suma importância compreendê-los para uma aplicação adequada.

Segundo a NM 248: 2001, a função dos agregados é contribuir com grãos capazes de resistir aos esforços solicitantes, ao desgaste e à ação das intempéries, buscando reduzir as variações de volume provenientes de várias causas visando reduzir o custo. A distribuição uniforme do agregado para preenchimento dos vazios é importante para um aumento da resistência final do material, conforme ilustrado na Figura 1:

Figura 1: Distribuição do agregado



Fonte: NBR 7211:2009

A NBR 7211:2009, classifica os agregados miúdos em:

Agregados cujos grãos são capazes de passar pela peneira 4,75 mm e ficam retidos até na peneira de malha 0,15 mm, conforme as peneiras definidas na NM ISO 3310-1 a qual estabelece os limites toleráveis na tabela 1:

Tabela 1: Limites de distribuição granulométrica de acordo com a norma NBR 7211:2009.

Peneira com abertura de malha	Porcentagem, em massa, retirada acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 μ m	15	35	55	70
300 μ m	50	65	85	95
150 μ m	85	90	95	100
Notas:				
O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.				
O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.				
O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.				

Fonte: NBR 7211:2009

Nesta tabela nota-se os limites ótimos e utilizáveis, dados em porcentagem, das massas retidas acumuladas para cada respectiva malha de peneira estabelecida.

Estabelece também os módulos de finuras ótimos, utilizáveis inferior e superior para as amostras de agregado miúdos.

Para calcular o módulo de finura, a norma estabelece a seguinte relação:

$$MF = \frac{\sum(\text{massa retida acumulada} - \text{peneira intermed.} + \text{fundo})}{100} \quad (1)$$

Para o referido trabalho será utilizado o agregado com granulometria na faixa utilizável que varia de 1,55 a 2,20.

Já os agregados graúdos, são os agregados cujos grãos passam por uma peneira de malha com abertura 75mm e ficam retidos até na peneira de malha 4, 75mm. Da mesma forma, destacam-se os limites para esses agregados na tabela 2, conforme a norma:

Tabela 2: Limites da composição granulométrica para os agregados graúdos.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retirada acumulada				
	Zona granulométrica $\frac{d}{D^a}$				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 – 5
63 mm	-	-	-	-	5 – 30
50 mm	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5 mm	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5 mm	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25 mm	-	0 – 5	5 – 25 ^b	87 – 100	-
19 mm	-	2 – 15 ^b	65 ^b – 95	95 – 100	-
12,5 mm	0 – 5	40 ^b – 65 ^b	92 – 100	-	-
9,5 mm	2 – 15 ^b	80 ^b – 100	95 – 100	-	-
6,3 mm	40 ^b – 65 ^b	92 – 100	-	-	-
4,75 mm	80 ^b – 100	95 – 100	-	-	-
2,36 mm	95 – 100	-	-	-	-
a Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo. b Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados. Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.					

Fonte: NBR 7211:2009

Para cada uma das amostras de ensaio, baseado pela NBR NM 248:2001, será possível determinar a massa retida em cada peneira, fato que permite determinar a porcentagem retida, a porcentagem retida acumulada e, conseqüentemente, os parâmetros:

Dimensão Máxima Característica: que corresponde à malha da peneira, seja esta de série normal ou intermediária, que apresenta % retida acumulada menor ou igual a 5%.

Módulo de finura: que é a razão entre o somatório da porcentagem retida acumulada das peneiras de série normal e o número 100, conforme anteriormente mencionado.

Para o referido trabalho será utilizado o agregado graúdo com granulometria conhecida comercialmente como brita 1.

2.1.1.3 Água

A água utilizada é tratada e fornecida pela Sanepar e segue os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria Nr. 2914 do Ministério da Saúde. Os reservatórios da Sanepar são lavados e higienizados a cada 6 meses e, no sistema de distribuição, são executadas descargas periódicas para assegurar que a água distribuída não sofra alterações da qualidade. Os produtos químicos que a Sanepar utiliza são os mais comuns e universalmente empregados no tratamento de água (SANEPAR,2010).

A qualidade da água fornecida é controlada diariamente desde a captação no rio e/ou poço, durante todo o processo de tratamento e até o cavalete das residências. Além deste controle, são analisados todos os produtos químicos utilizados para o tratamento da água. A qualidade da água distribuída é verificada através de amostras coletadas em pontos estratégicos da rede, para atender o número mínimo de amostragem exigido pela Portaria Nr. 2914/2011 do Ministério da Saúde (SANEPAR,2010).

Assim, os parâmetros analisados pela Sanepar (2010) mensalmente são:

- Turbidez: ocorre devido às partículas em suspensão, deixando a água com aparência turva.
- Cor: ocorre devido às substâncias dissolvidas na água.
- Cloro Residual Livre produto químico utilizado para eliminar bactérias.
- Flúor: produto químico adicionado à água para prevenir a cárie dentária.
- Coliformes Totais: indicador utilizado para medir contaminação por bactérias provenientes do meio ambiente.
- E. Coli indicador de presença de bactérias de origem animal

Nota-se, portanto, que a água utilizada para o concreto em análise é de boa qualidade e isenta de quaisquer elementos nocivos que possam alterar as propriedades do mesmo nos estados fresco e endurecido.

Corroborando com a temática Watanabe (2008), esclarece que a água a ser utilizada na mistura deve ser de boa qualidade, recomenda-se o de água potável na mistura, caso contrário será realizado ensaio na água para verificar se há agentes agressivos para a mistura. Essa água deve estar livre de substâncias deletérias para o aço e ao concreto. O quanto devemos inserir de

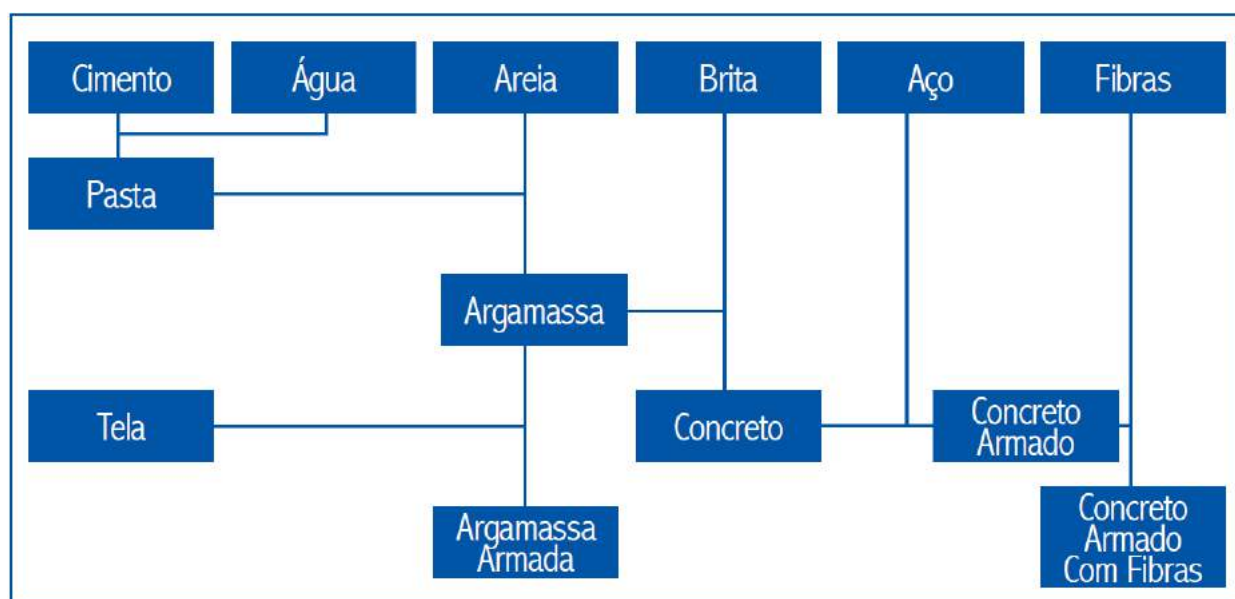
água no traço de concreto é definido pela relação água cimento a/c . O excesso de água pode interferir na tensão do concreto, diminuindo a tensão limite de escoamento, acarretando perda de coesão e consequentemente deslocamentos.

2.1.1.4 Caracterização do concreto

Para o manual da ABESC (2007), o concreto é um dos materiais da construção mais utilizados no Brasil. O Concreto é um material formado pela mistura de cimento, água, agregados (areia e pedra britada) e, eventualmente, aditivos e adições(fibras). O cimento e a água formam a pasta que une os agregados quando endurecida. A este conjunto denomina-se concreto que, inicialmente encontra-se em estado fresco(plástico), permitindo ser moldado nas mais diversas formas, texturas e finalidades. Quando este é utilizado combinado com armaduras de aço denomina-se concreto armado.

Podendo ser disposto conforme figura 2 e suas nomenclaturas utilizadas neste trabalho:

Figura 2: Nomenclaturas utilizadas



Fonte: ABESC (2007)

Após o início do seu endurecimento o concreto continua a ganhar resistência indefinidamente. Contudo, a obtenção de um concreto com qualidade tecnológica requer uma série de cuidados que vai desde a compra dos agregados, dosagem, preparo, homogeneização da mistura, manuseio, aplicação e até mesmo a “cura” adequada – garantirá a perfeita hidratação do cimento de modo a garantir resistência e a durabilidade desejada.

A figura 3, extraída da ABESC (2007), apresenta os principais tipos de concreto dosado em central e suas características:

Figura 3: Nomenclaturas

TIPO	APLICAÇÃO	VANTAGENS
Rolado	Barragens, pavimentação rodoviária (base e sub-base) e urbanas (pisos, contra-pisos).	Maior durabilidade.
Bombeável	De uso corrente em qualquer obra. Obras de difícil acesso. Necessidade de vencer alturas elevadas ou longas distâncias.	Maior rapidez na concretagem. Otimização da mão-de-obra e equipamentos. Permite concretar grandes volumes em curto espaço de tempo.
Resfriado	Peças de elevado volume como bases ou blocos de fundações.	Permite o controle da fissuração.
Colorido	Estruturas de concreto aparente, pisos (pátios, quadras e calçadas), guarda-corpo de pontes etc.	Substitui gasto com revestimento. Evita o custo de manutenção de pinturas.
Projetado	Reparo ou reforço estrutural, revestimento de túneis, monumentos, contenção de taludes, canais e galerias.	Dispensa a utilização de fôrmas.
Alta Resistência Inicial	Estruturas convencionais ou protendidas, pré-fabricados (estruturas, tubos etc).	Melhor aproveitamento das fôrmas. Rapidez na desforma. Ganhos de produtividade.
Fluido	Peças delgadas, elevada taxa de armadura, concretagens de difícil acesso para a vibração.	Reduz a necessidade de adensamento (vibração). Rapidez na aplicação.
Pesado	Como lastro, contra-peso, barreira à radiação (câmaras de raios-X ou gama, paredes de reatores atômicos) e lajes de subpressão.	Redução do volume de peças utilizadas como lastro ou contra-peso, substituição de painéis de chumbo (radiação).
Leve (600 kg/m³ a 1200 kg/m³)	Elementos de vedação (paredes, painéis, rebaixos de lajes, isolante termo-acústico e nivelamento de pisos).	Redução do peso próprio da estrutura. Isolamento termo-acústico.
Leve estrutural	Peças estruturais, enchimento de pisos e lajes, painéis pré-fabricados.	Redução do peso próprio da estrutura.
Pavimentos Rígidos	Pavimentos rodoviários e urbanos, pisos industriais e pátios de estocagem.	Maior durabilidade, menor custo de manutenção.
Alto Desempenho (CAD)	Elevada resistência (mecânica, física e química), pré-fabricados e peças protendidas.	Melhora aderência entre concreto e aço.
Convencional (a partir de 20 MPa)	Uso corrente na construção civil.	O concreto dosado em central possui controle de qualidade e propicia ao construtor maior produtividade e menor custo.
Submerso	Plataformas marítimas.	Resistência à agressão química.
Com fibras e aço, plásticas ou de polipropileno	Reduz a fissuração.	Maior resistência à abrasão, à tração e ao impacto.
Grout	Agregados de diâmetro máximo de 4,8 mm.	Grande fluidez e auto-adensável.

Fonte: ABESC, 2007.

O concreto de cimento Portland, ou apenas concreto, é o material formado pela mistura homogênea do cimento, agregado miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários como aditivos químicos, pigmentos, metacaulim e outros materiais pozzolânicos (NBR 12655:2015). Tal substância possui dois estados de fundamental importância para a construção civil, o estado fresco e o endurecido.

Para Neville (1997), o estado fresco diz respeito ao estágio inicial, pré pega, sua principal característica está na fluidez. Enquanto fresco o concreto se comporta como um fluido facilitando seu transporte, lançamento e adensamento, conforme Figura 4. Devido a esta propriedade o concreto pode ser moldado da maneira que for mais conveniente, sendo bastante apreciado na engenharia civil e arquitetura.

Figura 4: Concreto no estado fresco

Fonte: Autor, 2018.

O concreto endurecido refere-se ao seu estado sólido, definido após o início da pega, quando o concreto passa a obter características mecânicas, interessantes do ponto de vista estrutural, como a resistência à compressão axial (BAUER, 2008).

O ganho de resistência varia segundo o histórico e a idade do elemento analisados. O histórico se refere ao tipo de cimento utilizado, tipo de cura e ao meio em que o mesmo está exposto, tais condições serão detalhas a seguir.

São comercializados no Brasil seis tipos de cimento, com diferentes tipos de composições que aprimoram suas características primárias. Na Figura 5, podemos conferir os tipos de cimento mais utilizados.

Figura 5: Tipos de cimento comercializados no Brasil

Tipo de Cimento		Adição	Resistência (Mpa)
CP I	Cimento Portland Comum		25
CP I-S	Cimento Portland Comum com adição	Argila (1-5%)	25 ou 40
CP II-E	Cimento Portland Composto com Escória	Escória (6-34%)	25, 32 ou 40
CP II-Z	Cimento Portland Composto com Pozolana	Argila (6-14%)	25, 32 ou 40
CP II-F	Cimento Portland Composto com Fíler	Calcário (6-10%)	25, 32 ou 40
CP III	Cimento Portland de Alto-forno	Escória (35-70%)	25, 32 ou 40
CP IV	Cimento Portland Pozolânico	Argila (15-50%)	25 ou 32
CP V-ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial		Variada
CPB	Cimento Portland Branco Estrutural		25, 32 ou 40

Fonte: Portal do Concreto, 2014

CP I: Cimento Portland comum: Geralmente utilizado nos trabalhos gerais de construção, onde não é necessário características especiais, sendo um cimento bastante similar ao produzido na década de 40 (BAUER,2008).

CP II: Cimentos Compostos: Atualmente é o tipo de cimento mais utilizado, e suas aplicações variam segundo sua adição, enquanto o CP II - E é recomendado para estruturas de concreto armado, assentamento de blocos e chapisco o CP II - F é recomendado para concreto armado, protendido e fabricação de artefatos (VOTORANTIM,2014).

CP III: Cimentos de alto-forno: Recomendado para obras de saneamento, barragens, pontes, concreto massa e calçadas (VOTORANTIM,2014).

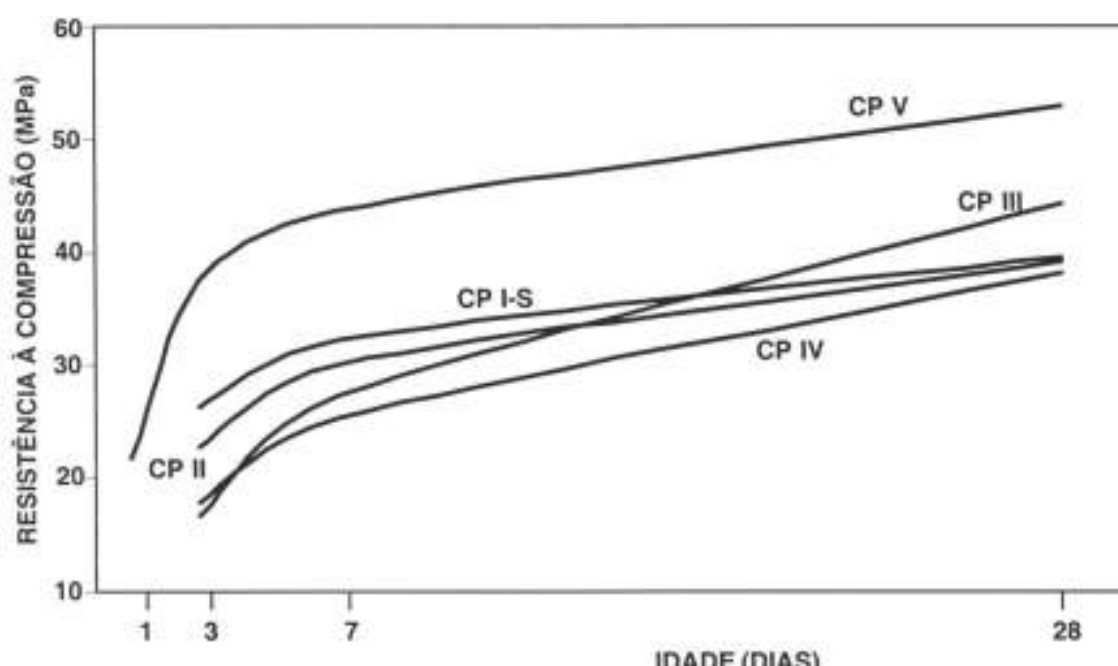
CP IV: Cimento Pozolânico: Utilizado em obras especiais situados em regiões litorâneas, pois protege a obra contra agentes agressivos naturais (VOTORANTIM,2014).

CP V-ARI: Cimento de alta resistência inicial: Como o próprio nome sugere é utilizado em obras onde há a necessidade de atingir resistências altas em idades recentes, comumente utilizado pelas centrais de dosagem de concreto (VOTORANTIM,2014).

CPB: Cimento Branco Estrutural: Utilizado em obras de concreto aparente, telhas de cimento, pisos industriais e vigas de fachada, devido ao seu acabamento e melhor receptibilidade a pigmentação (VOTORANTIM,2014).

Após o início do seu endurecimento o concreto continua a ganhar resistência, esta evolução varia segundo o tipo de cimento, como podemos observar no gráfico da figura 6:

Figura 6: Evolução média de resistência à compressão dos distintos tipos de cimento portland



Fonte: ABCP (1996 *apud* ABCP 2003)

Pode-se notar que logo no terceiro dia o CP V - ARI atinge resistências mais elevadas

do que os outros no mesmo período, tendo um crescimento mais limitado a partir desta idade, continuando a ganhar resistência indefinidamente com o passar do tempo, assim como todos os outros tipos de cimento.

2.1.1.5 Tempo de cura do concreto

Segundo Bauer (2008), o termo cura do concreto é entendido como um conjunto de medidas que têm por objetivo evitar a evaporação da água utilizada na mistura do concreto, que deverá reagir com o cimento para o ganho de resistência. A ausência deste processo acarreta em uma resistência inferior ao potencial desejado. Os métodos de mais notáveis são:

Submersão: É o método mais eficiente de realizar a cura, pois mantém toda estrutura em contato constante com a água evitando a evaporação, todavia não é muito aplicado devido as dificuldades práticas. Sendo apenas executado em lajes ou pisos que não serão utilizados nos primeiros dias, este método também é utilizado nos laboratórios de controle tecnológico do concreto (BAUER,2008).

Irrigação ou Aspersão de água: Consiste em irrigar continuamente as superfícies expostas do concreto no estado fresco. Contudo, caso a irrigação seja irregular, tal método pode levar a fadiga e posteriormente ruptura da estrutura.

Agentes químicos e biológicos podem afetar o ganho de resistência do concreto. Regiões litorâneas ou ambientes marítimos, devem receber cuidados especiais na dosagem do concreto. Outro fator está relacionado a temperatura, em geral temperaturas altas, podem levar a um ganho de resistência inicial alto atrelado a uma diminuição significativa na resistência em idades mais avançadas.

Com a finalidade de definir a dosagem adequada, o responsável tem o dever de estudar cuidadosamente o projeto estrutural. Tendo atenção prioritária às características mecânicas estipuladas em projeto, destas podemos citar, compressão, tração, flexão e abrasão.

Para este efeito deve-se observar as características dos materiais disponíveis, especialmente a respeito do cimento utilizado, como já foi mencionado anteriormente. Comumente são adotados apenas aspectos físicos como critério de seleção do cimento pelo usuário final, mas em alguns casos específicos como nas fábricas de produção do material, é necessário analisar suas propriedades químicas.

Da mesma forma a qualidade da água possui grande influência na qualidade da mistura, portanto deve se levar em consideração sua procedência. Em geral, a água proveniente da rede pública de saneamento pode ser aceita, sem grandes preocupações, uma vez que está dentro dos critérios de potabilidade previsto pela legislação brasileira, todavia nos casos em que houver dúvida quanto a sua procedência deve-se realizar ensaios adicionais.

Os agregados também são alvo de preocupação uma vez que podem portar impurezas e distribuição granulométrica indesejáveis. Seus parâmetros devem ser analisados segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009).

Outros fatores que devem ser levados em consideração são o equipamento utilizado e

a mão-de-obra disponível. Pode-se dizer que quanto mais rudimentar for o equipamento mais qualificada deve ser a mão-de-obra de modo a manter a mesma qualidade, desta forma, fica a cargo do engenheiro ponderar a realidade em que a obra se encontra e tomar as devidas precauções.

Toda esta conjectura culmina nas condições de dosagem prescritos pela NBR 12655 (ABNT,2015) expostas a seguir:

Condição A: O cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados. Aplicável em todas as classes de cimento.

Condição B: O cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivos dosadores e os agregados em massa combinada com volume. Aplicável às classes C10 a C20

Condição C: Cimento medido em massa, os agregados são em volume, a água de amassamento em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados da determinação da consistência do concreto através dos ensaios de trabalhabilidade normatizados. Aplicabilidade restrita às classes C10 e C15.

As classes de concreto mencionadas acima são definidas pela NBR 8953 (ABNT,2015), segundo sua resistência a compressão característica. Como pode ser visto na Figura 7, vale lembrar que concretos com resistência inferior a 20 MPa não são considerados estruturais por isto se encontram ausentes.

Figura 7: Classe de resistência de concretos estruturais

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: NBR 8953 (ABNT,2015)

O acompanhamento da obra por sua vez pode ser dividido em duas categorias: verificação e realização dos ensaios necessários.

Na verificação o engenheiro deve analisar periodicamente os materiais empregados, seguindo os critérios supracitados, bem como o estado e comportamento dos equipamentos de preparo, transporte e adensamento utilizados em obra, além do método de cura empregado. Sendo interessante analisar as condições de exposição da estrutura, do subsolo e os materiais disponíveis no local. Os principais ensaios dos componentes básico do concreto são:

1. Teor de umidade dos agregados miúdos

Deve-se seguir as recomendações da norma NBR 9939 (ABNT,2011), podendo ser realizado com álcool, método mais utilizado em obras, ou estufa aquecida a $105^{\circ}C$. Sua principal função é controlar a relação água/cimento, portanto é interessante realizar a medição antes da produção do concreto, sendo repetida sempre que for necessária uma vez que fatores externos como chuva e umidade do ar podem colaborar para alteração deste teor.

2. Granulometria e impurezas nos agregados

Os ensaios devem ser realizados a cada $30m^3$ de concreto produzido no caso de agregado miúdo e $50m^3$ nos graúdos (BAUER,2008), seguindo a norma NBR 7211 (ABNT,2011).

3. Aditivos

Devem ser realizados ensaios de adequação dos efeitos no que diz respeito a trabalhabilidade, redução da relação água/cimento, tempo de pega e mudança do desempenho da resistência, segundo as especificações do produto.

Por sua vez os principais ensaios para o concreto são:

- Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (Slump Test)

A consistência, ou trabalhabilidade, do concreto pode ser definida como a propriedade que deve satisfazer o concreto a fim de que possa ser elaborado, transportado, colocado e adensando sem perda de homogeneidade (BAUER,2008). Seu ensaio está descrito na norma NBR NM 67 (ABNT,1998).

- Ensaios de resistência à compressão

Tal análise visa aferir a resistência do concreto, através da compressão axial. Sendo de fundamental importância para averiguar se o concreto atende as especificações de projeto, as normas que regem este ensaio são a NBR 5738 (ABNT,2008) e a NBR 5739 (ABNT,2009).

2.1.1.6 Abatimento do tronco de cone

Alguns cuidados devem ser estabelecidos para o preparo do concreto tais como: tipos de brita, *slump*, resistência desejada, dentre outras, podem comprometer a qualidade da peça a

ser concretada. Então é necessário atentar-se ao volume do concreto, classe de agressividade, abatimento (*slump – test*), resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}), consumo de *cimento*/ m^3 , tipo de aditivo e adição quando solicitado. Contudo, deve-se evitar falhas nos procedimentos de preparo e manuseio do concreto e ainda proteger os agregados de eventuais chuvas e demais intempéries.

A julgar pela importância dos ensaios do concreto, especialmente ao que tange o presente trabalho, é inescusável o seu detalhamento realizando o ensaio de abatimento, conhecido como *slump test*.

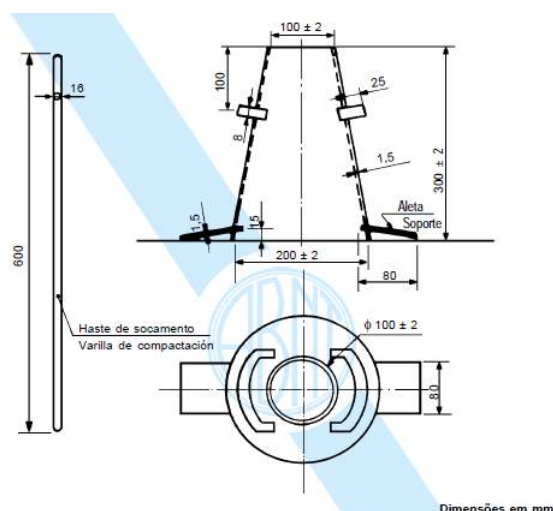
É possível listar como realizar a determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone:

Amostra: Deve ser coletado ao menos 1,5 vezes o volume necessário para o preenchimento do molde, este deve ser executado durante a operação de descarga após os 15% iniciais e antes de completar 85% do volume total da betonada NBR NM 33 (ABNT,1994).

Aparelhagem: São utilizados os seguintes aparelhos:

1. Molde: Metálico em formato de um tronco de cone cujo o diâmetro da base inferior seja de 200 mm e o diâmetro da base superior seja de 100 mm e uma altura de 300 mm , em ambas as medidas são aceitos até 2 mm de variação (Figura 8).
2. Haste de compactação: De seção circular, reta, feita com aço ou outro material adequado, com 16 mm de diâmetro, comprimento de 600 mm e extremidades arredondadas (Figura 8).
3. Placa de base: Placa retangular ou quadrada, metálica, plana, com dimensões não inferiores a 500 mm e espessura igual ou superior a 3 mm (Figura 8).

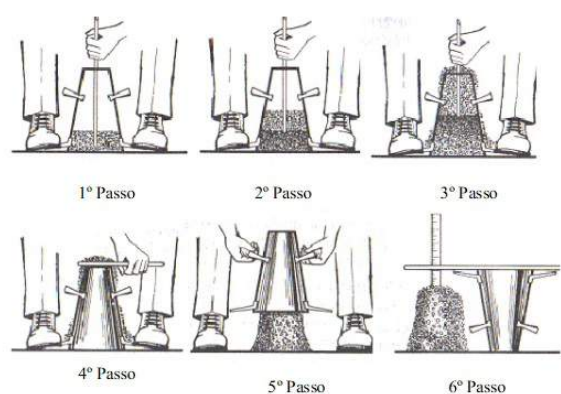
Figura 8: Aparelhagem para o ensaio de abatimento



Fonte: NBR NM 67 (ABNT,1998)

procedimento: Deve-se colocar o molde sob a placa, úmidos, e posicionar os pés sobre suas aletas de modo a evitar deslocamento do mesmo, em seguida preenchê-lo com o concreto, dividido em três camadas, cada uma correspondente a um terço da altura do molde compactado. Em cada camada deve ser aplicado 25 golpes, uniformemente distribuídos, com a haste de socamento - evitando compactar as camadas inferiores, já compactadas. Após a compactação é preciso alisar a superfície utilizando a própria haste e/ou uma desempenadeira. Finalmente, deve-se remover o molde cuidadosamente na direção vertical, de maneira constante, tal ação deve ser realizada dentre 5 a 10 segundos, concluindo com a medição do abatimento. Na Figura 9 podemos observar todos os passos do experimento.

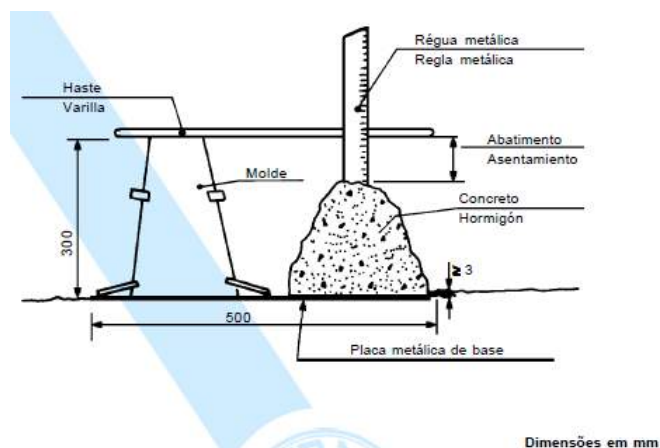
Figura 9: Representação gráfica do teste de abatimento de tronco de cone



Fonte: Clube do Concreto, 2013

Resultado: O resultado deve ser expresso em milímetros, arredondando-se aos 5mm mais próximos, sendo determinado a partir da diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo-de-prova (Figura 10).

Figura 10: Aparelhagem para o ensaio de abatimento



Fonte: NBR NM 67 (ABNT,1998)

Análise dos resultados: A NBR 7212 (ABNT,1984) dispunha a respeito da discrepância tolerada no ensaio de trabalhabilidade (Figura 11). Contudo, em 2012, a norma foi atualizada e esta informação foi removida.

Figura 11: Tolerâncias ensaio de trabalhabilidade

Abatimento	Tolerância
De 10 a 90	± 10
De 100 a 150	± 20
Acima de 160	± 30

Fonte: NBR 7212 (ABNT,1984)

2.1.1.7 Resistência à compressão

Para os ensaios de resistência à compressão é imprescindível a análise correta dos resultados dos ensaios, de modo a garantir que os mesmos correspondem às características reais da estrutura, portanto a realização e análise deste ensaio podem ser divididas em quatro etapas:

1. Definição da quantidade de lotes bem como o método de amostragem - parcial ou total. Especificado pela NBR 12655 (ABNT,2015)
2. Moldagem dos corpos de prova, sob orientação da NBR 5378 (ABNT,2008)
3. Realização do ensaio de compressão axial, disposta na NBR 5379 (ABNT,2007)
4. Análise dos resultados, novamente sob à luz da norma NBR 12655 (ABNT,2015)

Para realizar a definição dos lotes, cada lote é caracterizado por uma amostra, com um número de exemplares de acordo com tipo de controle. A Figura 12 traz uma tabela com os limites máximos para formação de lotes.

Figura 12: Limite máximo para formação de lotes de concreto

Identificação (o mais exigente para cada caso)	Solicitação principal dos elementos da estrutura	
	Compressão ou compressão e flexão	Flexão simples ^b
Volume de concreto	50 m ³	100 m ³
Número de andares	1	1
Tempo de concretagem	três dias de concretagem ^c	
^a No caso de controle por amostragem total, cada betonada deve ser considerada um lote, conforme 6.2.3.1		
^b No caso de complemento de pilar, o concreto faz parte do volume do lote de lajes e vigas		
^c Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de sete dias, que inclui eventuais interrupções para tratamento de juntas.		

Fonte: NBR 12655 (ABNT,2015)

Segundo a norma deve ser avaliado o volume de concretagem, número de andares e tempo de concretagem, cada aspecto será atribuído uma quantidade específica de lotes, sendo escolhido o maior valor dentre eles.

Dando continuidade aos cuidados, por sua vez deve-se amostrar o lote de concreto utilizado:

As amostras devem ser coletadas aleatoriamente seguindo as orientações da NBR NM 33 (ABNT, 1994). Cada exemplar é constituído de dois corpos de prova da mesma amassada, em conformidade com NBR 5378 (ABNT, 2008), tomando-se como a resistência do exemplar o maior valor obtido no ensaio de compressão axial. (NBR 12655 (ABNT, 2015))

Referente aos métodos de controle, A NBR 12655 (ABNT, 2015) dispõe sobre dois métodos de controle - por amostragem parcial e total. No primeiro é realizado um cálculo estatístico para determinar a resistência à compressão axial característica do concreto ($f_{ck,est}$), do lote analisado, no segundo a análise de conformidade deve ser realizada em cada betonada.

Para o método da amostragem parcial são coletados no mínimo seis exemplares para os concretos do grupo 1 e no mínimo doze para concretos do grupo 2. Os grupos estão divididos conforme a NBR 8953 (ABNT,2015) representada anteriormente na Figura 7.

Para lotes com número de exemplares $6 \leq n < 20$ o valor da resistência à compressão axial, na idade desejada. Utiliza-se a seguinte equação:

$$f_{ck,est} = 2 \times \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m - 1} - f_m \quad (2)$$

Onde:

m é igual a $n/2$. Desprezando o maior valor de n , caso seja ímpar;

$f_1, f_2, \dots, f_m$ é o valor da resistência dos exemplares, em ordem crescente.

Neste método não se pode adotar para o $f_{ck,est}$ um valor menor que o produto $\psi_6 \times f_1$. Os valores para ψ_6 estão definidos nas tabela da Figura 13.

Figura 13: Valores ψ_6

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 (conforme 6.2.3.3).											

Fonte: NBR 12655 (ABNT,2015)

Para lotes com número de exemplares $n \geq 20$. Utiliza-se a equação:

$$f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65 \times Sd \quad (3)$$

sendo:

$$Sd = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_i - f_{cm})^2} \quad (4)$$

Onde:

f_{cm} é a resistência média dos exemplares do lote, expresso em MPa. Sd é o desvio padrão dessa amostra, expresso em MPa.

A análise dos resultados dos lotes de concreto ou betonadas deverão ser aceitos, caso seu $f_{ck,est}$ seja igual ou maior que à resistência a compressão característica do concreto especificada em projeto ($f_{ck,projeto}$).

2.1.1.8 Concreto dosado em central (CDC)

A crescente busca pela qualidade do concreto atrelado a exigência de padrões cada vez mais rigorosos, propiciou a formação de empresas especializadas na dosagem e entrega do concreto, chamadas de Centrais de Dosagem.

Devido a rápida popularização destas empresas fora criada em meado dos anos 70 a Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem (ABSC) com o intuito de desenvolver as atividades das empresas associadas e capacitar o mercado consumidor a adotar práticas melhores na produção do concreto (ABESC, 2007).

Segundo a ABESC (2007) as principais vantagens de se utilizar concreto dosado em central (CDC) estão na maior qualidade do concreto produzido, diminuição custo e racionalização dos canteiros de obras. Tais ganhos se dão com a diminuição do número de operários na obra, que consequentemente previne a empresa de gastos com encargos trabalhistas e sociais, diminuição da perda de materiais de construção resultando em redução de custos. Ainda com a qualidade garantida pela dosadora através do seu controle tecnológico.

Segundo uma pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), entre 2005 e 2012, houve um aumento de 80% no consumo de cimento enquanto a produção de concreto dosado em central (CDC) aumentou, extraordinários de 180%. Apenas em 2012, estima-se que as centrais tenham produzido 51 milhões de metros cúbicos de concreto.

Uma das explicações para este fenômeno está na grande expansão da economia brasileira neste período aliado a pacotes de estímulos governamentais, como o Plano de Aceleração do Crescimento (PAC). Outro fator apontado pela associação está a possível mudança cultural que o setor de construção civil vem passando, uma vez que tecnologias construtivas mais racionais à base de concreto vem sendo preteridas, justificando o aumento da demanda por CDC acima da expansão do próprio mercado da construção civil, que naquele momento estava em franco aquecimento.

Atualmente, o mercado em geral vem sofrendo com uma crise sem precedentes. Segundo a Revista Exame (2015), no período de um ano, houve 600 mil demissões no setor de construção civil, e as principais empresas viram seu lucro despencar em 98% ainda sob a observação que

seis das treze maiores incorporadoras de capital aberto não lançaram um único empreendimento no ano de 2015. O que é bastante preocupante para as centrais de dosagem visto que seus maiores clientes deixam de consumir. Para especialistas a recuperação do mercado deve ser lenta e dependerá do humor da economia e das investigações sobre as maiores empreiteiras do país, não devendo demonstrar sinais de melhora antes de 2017. Todavia este não é o primeiro desafio que o setor enfrenta, várias crises já abalaram a economia brasileira, mas em todas o mercado saiu mais forte e maduro, portanto espera-se que as empresas utilizem a crise para aprimorar e focar no aumento da qualidade com redução dos custos, podendo representar uma boa oportunidade para o mercado de CDC, expandir ainda mais sua presença.

Para Sussekind (1989), é através do rompimento do corpo de prova que se encontra uma das mais importantes propriedades mecânicas do concreto, a resistência à compressão. O nome que se dá para a energia necessária para o rompimento de um material é tenacidade.

Corroborando Mehta e Monteiro (1994), a diferença entre a tenacidade e a resistência, é que a primeira mede a energia, enquanto que a segunda é a medida da tensão necessária para fraturar o material (1994). Afirmam ainda que a resistência de um material aumentar, a ductilidade e a tenacidade diminuem. Isso prova que materiais com alta resistência, normalmente rompem de maneira brusca, não ocorrendo uma deformação não elástica ou permanentemente significativa.

2.1.1.9 Resistência característica do concreto à compressão - f_{ck}

A resistência característica do concreto depende basicamente da relação entre água e cimento, e é definida como sendo a tensão exigida para romper o material (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

As características da resistência do concreto endurecido são normalmente determinadas em corpos de prova. Estes são preparados simultaneamente com a concretagem da peça estrutural, da qual foram retirados e que, sempre que possível, devem as peças permanecerem nas mesmas condições climáticas, enquanto ocorre o endurecimento (LEONHARDT e MONNIG, 1977).

A determinação numérica da resistência do concreto decorrerá do tratamento estatístico dos resultados de ensaios feitos sobre um número suficiente de corpos de prova (SUSSEKIND, 1989).

Para Sussekind (1989), se entenderá por resistência característica do concreto aquela correspondente aos 28 dias, pois esta deve ser a idade convencional em que uma estrutura usual é colocada sob seu carregamento total.

2.1.2 Aço

2.1.2.1 Elemento estrutural - Aço

O aço pode ser definido como uma liga metálica composta em 98% de ferro, e com pequenas quantidades de carbono (de 0.002% a 2.00%) (DIAS, 1997).

Para Bellei (2000), compreender as propriedades do aço, é fundamental para que o profissional conheça o comportamento desse material em uma determinada situação.

Segundo Dias (1997) as propriedades mecânicas definem o comportamento dos esforços quando sujeitos a esforços mecânicos e correspondem às propriedades que determinam a sua capacidade de resistir e transmitir esforços que lhe são aplicados, sem romper ou sem que ocorram deformações excessivas.

Segundo Pfeil (1992), o teor de carbono do aço pode variar de 0% até 1,7%. O carbono aumenta a resistência do aço, tornando-o mais duro e frágil. Os aços com baixo teor de carbono têm sua resistência à tração reduzida, mas tornam-se mais dúcteis.

O aço é classificado de acordo com o valor característico da resistência de escoamento, sendo as barras classificadas nas categorias CA-25 e CA-50, e os fios na categoria CA-60 (ABNT - NBR 7480:1996).

2.1.2.2 Características mecânicas do aço

Segundo Carvalho e Figueiredo (2012), as características mecânicas mais importantes para a definição do aço, obtidas em ensaio de tração, são:

f_{yk} Resistência característica de escoamento do aço à tração(f_{yk}): é a máxima tensão que as barras ou os fios devem suportar. Excedendo essa resistência, inicia-se o processo de deformação permanente.

f_{stk} Limite de resistência (f_{stk}): é a força máxima suportada pelo material, ou seja, o ponto máximo de resistência da barra. A tensão máxima é determinada através da relação entre a força de ruptura e a área da seção transversal inicial da amostra.

ξ Alongamento na ruptura: é o aumento do comprimento do corpo de prova correspondente à ruptura.

Para Dias (1997), é fundamental entender que a relação tensão-deformação é uma relação entre a força aplicada a um material e sua respectiva deformação. Sendo assim, têm-se algumas características do aço:

- Elasticidade;
- Plasticidade;
- Ductilidade;
- Tenacidade.

Para Pfeil (1992), a elasticidade de um material é a capacidade do mesmo voltar à sua forma original, em ciclo de carregamento e descarregamento. A deformação elástica é reversível, desaparecendo quando a tensão é removida. Já a plasticidade é a deformação permanente

ocasionada por tensão superior ou igual à resistência, associada ao limite de proporcionalidade, ou seja, não é reversível (PFEIL, 1992).

Ductilidade é a capacidade dos materiais de se deformar sob a ação de cargas sem se romper, permitindo a redistribuição de tensões elevadas locais (PFEIL, 1992). Os aços CA-25 e CA-50 podem ser considerados aços de alta ductilidade, já o CA-60 são aços de ductilidade normal (ABNT - NBR 6118: 2014). Segundo Pfeil (1992), tenacidade é a energia total, elástica e plástica, que o material pode absorver por unidade de volume até a sua ruptura. Para qualquer aço estrutural e em temperatura atmosférica, são propriedades físicas constantes (BELLEI, 2000):

- Massa específica: $\rho = 7,85 \frac{t}{m^3}$;
- Módulo de elasticidade: $E = 210000 MPa \cong 2100 \frac{tf}{cm^2}$;
- Coeficiente de Poisson no regime elástico: $\nu = 0,3$;
- Módulo transversal de elasticidade: $G = 78850 MPa \cong 788 \frac{tf}{cm^2}$;
- Coeficiente de Poisson no regime plástico: $\nu \cong 0,5$
- Coeficiente de dilatação térmica: $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ C^{-1}$

2.1.2.3 Armaduras de aço

As armaduras para uso em concreto armado são especificadas pela NBR 7480:2007 (ABNT, 2007), a qual as barras se classificam com diâmetro nominal $6,3mm$ ou superior, obtido por laminação a quente e classificam-se como fios diâmetro nominal $10,0mm$ ou inferior, obtidos por trefilação ou processo equivalente. Ainda de acordo com essa norma, o valor característico da resistência de escoamento são classificadas nas categorias CA-25 e CA-60, e os fios de aço na categoria CA-60.

Para FUSCO (1975), pode ser considerado com um componente estrutural da estrutura de concreto armado, associando-se diversas peças de aço.

Já para Freire (2001), o processo de armação refere-se a um conjunto de operações, relacionadas a preparação e posicionamento do aço na estrutura.

Esse processo de armação compreendendo três elementos: o projeto, a fabricação e o fornecimento para construção (KALIAN et al. 2000).

2.1.2.4 Concreto armado

Os dois materiais, concreto e aço, quando juntos, formam umas das “parcerias” mais conhecidas no ramo da construção civil, e trabalham solidariamente, e isso é possível em decorrência das forças de aderência entre a superfície do aço e o concreto, pois as barras de aço tracionadas (armadura tracionada) só funcionam quando, pela deformação do concreto que as envolve, começam a ser alongadas.

Esse fato caracteriza as armaduras passivas, e é a aderência que faz com que o concreto armado se comporte como material estrutural (CARVALHO e FIGUEIREDO, 2012). Retrata ainda que identificam-se, assim, as principais características das estruturas de concreto armado: concreto e armadura funcionando em conjunto por causa da aderência e da possibilidade de ocorrência de regiões fissuradas de concreto.

2.1.2.5 Dimensões mínimas para elementos de concreto armado

A NBR 6118:2014, determina dimensões limites para os elementos de concreto tendo como objetivo evitar um desempenho inaceitável para os elementos estruturais e propiciar condições aceitáveis de execução. Portanto, para vigas a seção transversal não deve ser menor que 12cm e das vigas-parede menor que 15cm , podendo ser reduzidos, respeitando-se um mínimo absoluto de 10cm em casos excepcionais, sendo obrigatoriamente respeitadas as seguintes condições de alojamento das armaduras e suas interferências com as armaduras de outros elementos estruturais, respeitando os espaçamentos e cobrimentos estabelecidos nesta Norma e o lançamento e vibração do concreto de acordo com a ABNT NBR 14931. No caso dos pilares e pilares-paredes maciços, qualquer que seja sua forma, não deve apresentar dimensão transversal menor que 19cm , em casos especiais permite-se utilizar dimensões entre 19cm e 14cm .

2.1.3 Ligações das barras longitudinais

De acordo com catálogo de produtos da Gerdau, o aço fornecido para construção civil atende a norma ABNT NBR 7480:2007, e pode ser adquirido em barras retas de 6.3 a 40mm , dobradas até 20mm e em rolos de 6.3 a 16mm . Os feixes de barras possuem comprimento de 12m e peso de 2.000kg . Em elementos estruturais de comprimento superior a 12m , como vigas e pilares por exemplo, torna-se necessário fazer a emenda das barras.

A NBR 6118:2014 (item 9.5) apresenta a emenda das barras, segundo um dos seguintes tipos:

- a) por traspasse (ou transpasse);
- b) por luvas com preenchimento metálico, rosqueadas ou prensadas;
- c) por solda;
- d) por outros dispositivos devidamente justificados.

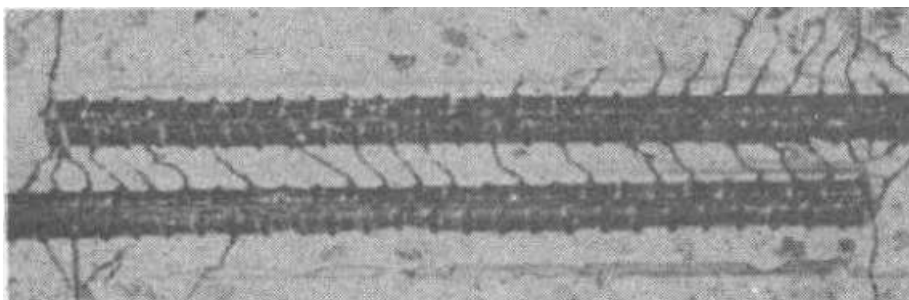
No caso das emendas do tipo luva e solda, o concreto não participa da transmissão de forças de uma barra para outra, podendo as emendas serem dispostas em qualquer posição. No caso da emenda por traspasse é necessário que o concreto participe na transmissão dos esforços.

Nesta senda, serão mostradas apenas as características das emendas por transpasse, que são bem mais comuns na prática das estruturas de concreto e foco do presente trabalho.

2.1.3.1 Emenda por transpasse

Para casos de emendas nas armaduras longitudinais por transpasse, a mesma é realizada pela simples justaposição longitudinal das barras num comprimento de emenda bem definido, como mostrado na Figura 14. transpasse só é permitida

Figura 14: Formato da fissuração na emenda de duas barras



Fonte: LEONHARDT e MÖNNIG, 2007. p.60)

A transferência da força de uma barra para outra numa emenda por transpasse ocorre por meio de bielas inclinadas de compressão, como indicadas na Figura 14. Ao mesmo tempo surgem também tensões transversais de tração, que requerem uma armadura transversal na região da emenda.

A NBR 6118:2014 (item 9.5.2) estabelece que a emenda por para barras de diâmetro até $32mm$. E retrata ainda que deve-se ter cuidados especiais ao realizar ancoragens e em elementos estruturais lineares de seção inteiramente tracionada. Orienta que no caso de feixes, o diâmetro do círculo de mesma área, para cada feixe, não pode ser superior a $45mm$, respeitados os critérios estabelecidos para o comprimento de traspasse de barras tracionadas, isoladas.

As barras a serem emendadas devem ficar próximas entre si, numa distância não superior a $4 \cdot \phi$. Barras com saliências podem ficar em contato direto, dado que as saliências mobilizam o concreto para a transferência da força (ABNT, 2014).

Para Leonhardt E Mönnig (2007), o padrão de fissuração na ruptura de emendas depende do cobrimento de concreto nas duas direções e dependendo do espaçamento entre as emendas a ruptura na região da emenda ocorrerá de uma ou outra forma.

A resistência da emenda depende do comprimento de transpasse, do diâmetro e espaçamento das barras e da resistência do concreto. O aumento do comprimento de transpasse não aumenta a resistência da emenda na mesma proporção (LEONHARDT e MÖNNIG, 2007).

2.1.3.2 Proporção das barras emendadas

Conforme a NBR 6118:2014, a emenda de barras introduz tensões de tração e de compressão no concreto na região da emenda. Para evitar altas concentrações de tensão, deve-se limitar a quantidade de emendas numa mesma seção da peça. A norma em seu item (9.5.2.1)

considera que na mesma seção transversal as emendas que se superpõem ou cujas extremidades mais próximas estejam afastadas de menos que 20% do comprimento do trecho de traspasse, como indicado na Figura 15. “Quando as barras têm diâmetros diferentes, o comprimento de traspasse deve ser calculado pela barra de maior diâmetro.”

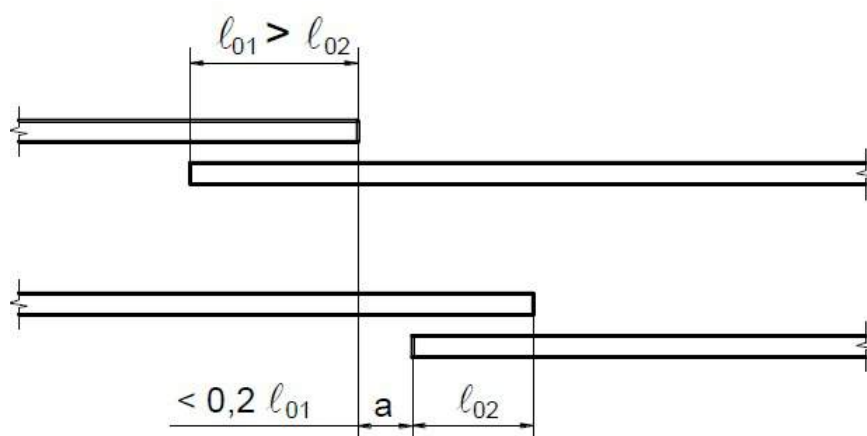
No esquema da Figura 15, l_{01} e l_{02} são os comprimentos das emendas de quatro barras.

O critério para definir se duas emendas são consideradas ou não na mesma seção da peça é função da distância:

- Se $< 0,2 \cdot l_{01} \Rightarrow$ as emendas ocorrem na mesma seção;
- Se $> 0,2 \cdot l_{01} \Rightarrow$ as emendas ocorrem em seções diferentes.

Ou seja, as emendas não necessitam necessariamente estar perfeitamente alinhadas para serem consideradas na mesma seção ao longo da peça. Tais informações, ilustram-se conforme Figura 15:

Figura 15: Emendas supostas na mesma seção transversal.



Fonte: ABNT, NBR 6118:2014. p. 42

2.1.3.3 Comprimento de traspasse de barras tracionadas, isoladas

Na maioria dos projetos de vigas os elementos de vigas ficam dispostas juntas (unidas) o quão próximo possível, sendo espaçadas no intervalo entre 0 a $4 \cdot \phi$, sendo o comprimento do trecho de traspasse para barras tracionadas compreendido entre:

$$l_{0t,min} \geq \begin{cases} 0,3 \cdot \alpha_{0t} \cdot l_b \\ 15 \cdot \phi \\ 200mm \end{cases} \quad (5)$$

Para valores de α_{0t} , tem-se

Barras emendadas na mesma seção (%)	≤ 20	25	33	50	> 50
Valores de α_{0t}	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0

2.1.3.4 Comprimento de ancoragem

Define a NBR 6118/2014 (item 9.4.2.4) que, comprimento de ancoragem básico como o comprimento de uma barra de armadura passiva suficiente para ancorar o esforço $A_s \cdot f_{yd}$ nessa barra, ao longo desse comprimento, resistência de aderência uniforme

$$f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd} \quad (6)$$

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c \quad (7)$$

$\eta_1 = 1,0$ para barras lisas;
 $\eta_1 = 1,4$ para barras entalhadas;
 $\eta_1 = 2,25$ para barras nervuradas;
 $\eta_2 = 1,0$ para situações de boa aderência;
 $\eta_2 = 0,7$ para situações de má aderência;
 $\eta_3 = 1,0$ para $\phi \leq 32mm$;
 $\eta_3 = (132 - \phi)/100$, para $\phi \geq 32mm$;

donde,

ϕ é o diâmetro da barra, expresso em milímetros (mm).

O comprimento de ancoragem básico é dado por:

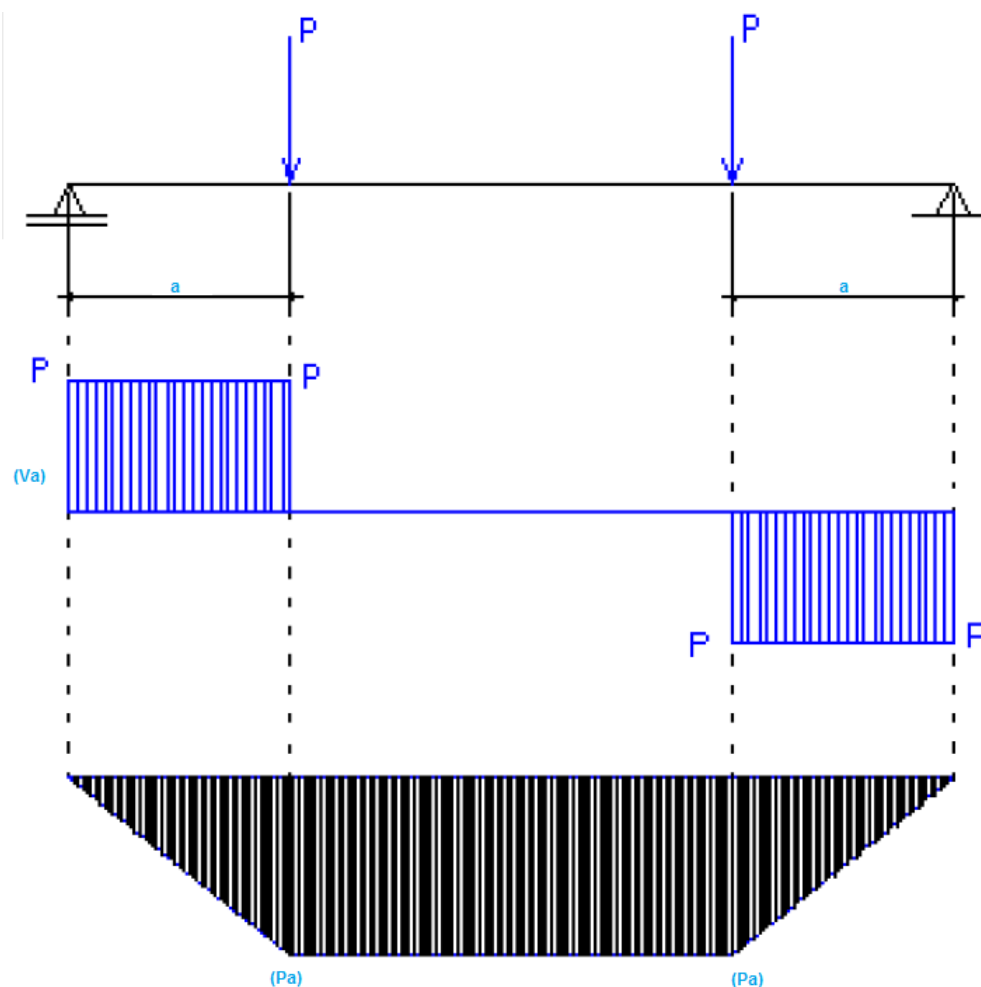
$$l_b = \frac{\phi \cdot f_{yd}}{4 \cdot f_{bd}} \geq 25 \cdot \phi \quad (8)$$

2.1.4 Flexão Pura

Para o processo de colapso de vigas sob tensões normais ou ensaios de Stuttgart, segundo Sussekind (1989), esse ensaio consiste no carregamento gradativo da peça, sendo as cargas concentradas aumentadas até que a mesma atinja o valor que a leve ao colapso, tendo a vantagem de permitir na mesma peça, a observação da flexão pura (sem cisalhamento) e de flexão simples (com cisalhamento) no caso de duas cargas concentradas.

Nota-se na figura 16, que devido ao carregamento crescente, a região central apresenta uma flexão pura, com esforço cortante igual a zero e momento fletor constante.

Figura 16: Representação dos esforços cortantes e momentos fletores.



Fonte: Autor, 2018.

De acordo com a norma ABNT NBR 12142: 2010, a máquina de ensaio deve ser equipada com um dispositivo de flexão que assegure a aplicação da força perpendicularmente às faces superior e inferior do corpo de prova, sem excentricidades.

A Figura 17 mostra esquematicamente o dispositivo auxiliar para a realização do ensaio a ser acoplado em máquinas que não sejam equipadas para esta finalidade.

3 CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Tipo de estudo e descrição do método

O experimento possui caráter experimental de natureza aplicada com uma abordagem quali-quantitativa, objetivando explorar a possível aplicação de materiais alternativos na amarração das barras emendadas por traspasse. Foi definindo os materiais utilizados e suas características básicas.

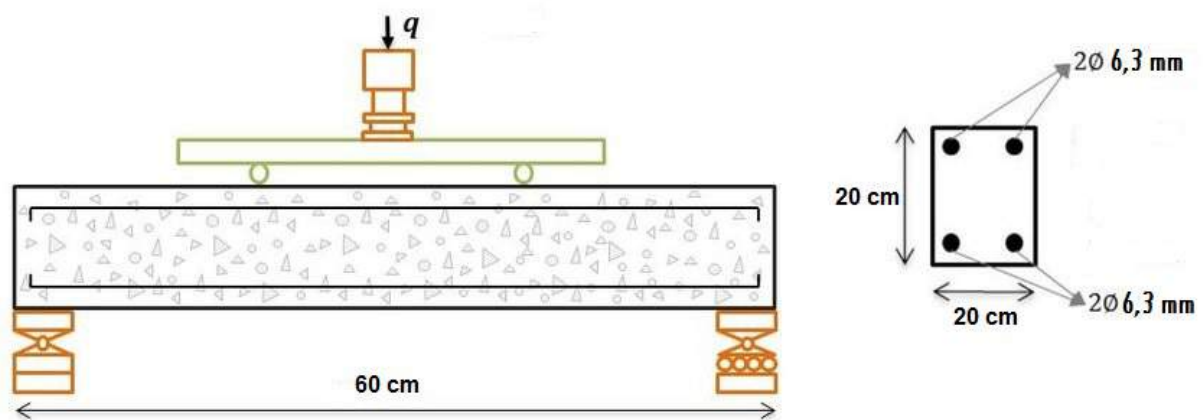
Inicialmente, foram definidas as seções da viga e seus carregamentos resistentes por meio da normas NBR 6118:2014 e NBR 6120:1980.

Na sequência, realizou-se a confecção e montagem das armaduras e caixarias, simulando emendas por traspasse na disposição das armaduras longitudinais e amarradas com borrachas e abraçadeira de *nylon* baseadas nos procedimentos de moldagem e cura previstas na NBR 5738:2008.

Será utilizado como referência a resistência média de amostras de vigas com as mesmas características que as anteriores, porém os traspasses serão amarrados com a técnica do arame recozido, a qual é usual e previsto em normas executivas na construção civil.

Após concluídas a confecção dos corpos de provas de vigas, foram realizados os rompimentos à tração por flexão simples das mesmas, através da técnica de ensaio, prevista em norma NBR 12142:2010, realizado no laboratório do Centro universitário Assis Gurgacz.

Figura 18: Modelo padrão normatizado pela NBR 12142:2010, amarradas com diversos materiais nos traspasses.

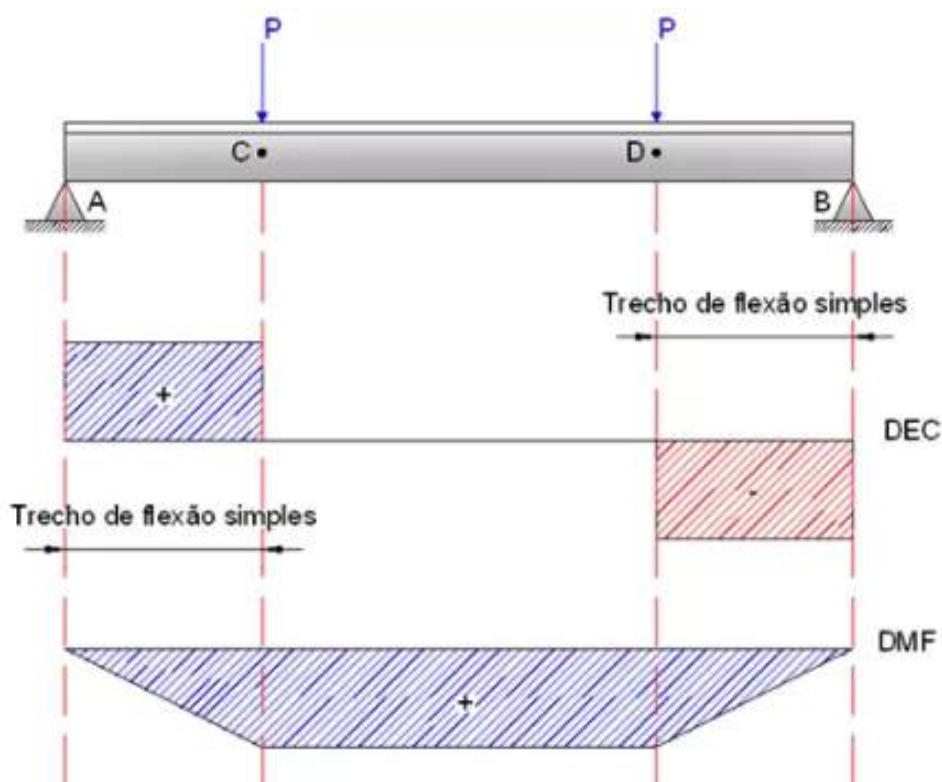


Fonte: Autor, 2018.

Resumidamente, os esforços encontrados do modelo normativo de rompimento, podem

ser visualizados na Figura 19:

Figura 19: Resumos dos esforços para o modelo padrão normatizado pela NBR 12142:2010.



Fonte: Autor, 2018.

3.1.2 Caracterização da amostra

Para cada elemento representativo de cada conjunto amostral, foram ensaiados três corpos de provas para análise estatística e melhor representatividade do conjunto de amostras, melhorando a homogeneidade dos dados obtidos.

3.1.2.1 Cimento

Para a confecção das vigas, foi utilizado o cimento CP V – ARI, conforme NBR 5733/1991, é a sigla de designação do cimento Portland de alta resistência inicial. O uso deste cimento é indicado quando se faz a retirada das peças em menos tempo, sendo de ampla utilização nas indústrias de pré-fabricados, devidamente ilustrado conforme Figura 20.

Figura 20: Cimento CP V – ARI (alta resistência inicial).



Fonte: Autor, 2018.

3.1.2.2 Areia média

De acordo com o fornecedor essa areia vem da cidade de Guaíra, a qual é retiradas das margens do rio, sendo considerada quartzosa com grânulos arredondados, caracterizadas como areia média na faixa granulométrica de $0,3mm$ a $1,2mm$.

Figura 21: Areia média.



Fonte: Autor, 2018.

3.1.2.3 Brita 1

A classificação do tipo da brita é de acordo com seu diâmetro, sendo classificada de 0 (zero) a 5 (cinco) em ordem crescente. É possível visualizar o agregado brita 1 utilizada no traço de concreto na Figura 22, como faixa granulométrica de $9,5mm$ a $19mm$ adquirida na pedreira próximo da empresa:

Figura 22: Agregado brita 1.



Fonte: Autor, 2018.

3.1.2.4 Água - Empresa de abastecimento da cidade Cascavel

A qualidade da água utilizada na confecção do concreto é garantida pela empresa de abastecimento da cidade de Cascavel e mantida em condições de uso para hidratar o concreto nos tambores de armazenamento, conforme Figura 23 da empresa, a qual forneceu o material e mão de obra para a execução do presente trabalho.

Figura 23: Água utilizada - Balde dosador (20L) - Tambor de armazenamento



Fonte: Autor, 2018.

3.1.2.5 Concreto

Para confecção dos corpos de provas de vigas amarradas com materiais diversos foi utilizado o dobro do traço básico que a empresa adota na fabricação de seus pré-moldados, de modo a não alterar o cotidiano da linha de produção da indústria.

Traço: Para realização do concreto foram utilizados as seguintes proporções, representados e definidos nos itens anteriores:

- 1 Padiolas de areia;
- 1 Padiolas de pedra brita 1;
- 1 Sacos de cimento CPV ARI marca CAUÊ;
- 1 balde dosador com 20 litros de água, aproximadamente;

A empresa não forneceu as proporções em massa do traço, nem as condições de aplicação (A,B,...).

Os materiais foram dosados e colocados na betoneira com capacidade de 600 litros, conforme Figura 24:

Figura 24: Betoneira utilizada - marca CSM 600



Fonte: Autor, 2018.

A betoneira de 600 litros do modelo SRE proporciona a empresa maior produtividade sem demandar fadiga física do operador, pois possui um sistema de basculamento automatizado que permite a descarga do concreto sem utilizar o volante.

O concreto é descarregado acionando-se um motor através do painel de comando. Este equipamento configura um grande avanço em termos de ergonomia e produtividade.

Informações Técnicas:

- Capacidade do motor: 600 Litros
- Capacidade de mistura: 360 Litros
- Número aprox. de ciclos/hora: 14
- Produção horária aproximada: $6m^3$
- Rotação do tambor: 28 RPM
- Potência do motor: 4 cv IV pólos
- Potência do motor (acion. caçamba): 1,25 cv IV pólos
- Potência do motovibrador caçamba: 0,33 cv VIII pólos
- Potência motofreio basculamento: 1,25 cv VIII pólos
- Tensão trifásica: 220/380 V
- Frequência: 60 Hz
- Transmissão por correia tipo "V": A112
- Capacidade caixa água (opcional): 50 Litros
- Dimensões (CxLxA): $2.040 \times 1.360 \times 2.900mm$

Foi calculado e verificado que este traço resultou num volume de concreto fresco de 250 litros, trabalhando assim com quase a metade da capacidade. De acordo com a empresa esse traço é usual e melhora a capacidade de formação homogênea do concreto, porém não há controle de umidade dos agregados e o funcionário dosador afirmou que em dias quentes adicionam mais água na betoneira, de modo a melhorar a vibração no interior das formas, segundo relato.

Na Figura 25, é possível visualizar alguns passos para confecção do concreto fresco, desde os materiais até produto final:

Figura 25: Processo de fabricação do concreto fresco



Fonte: Autor, 2018.

Controle tecnológico do concreto:

- Ensaios de *resistência à compressão*

Foram moldados 12 corpos de provas cilíndricos ($10 \times 20\text{cm}$), sendo rompidos dois para cada ensaio na idade e mesma condição de cura, exposta ao ambiente, seguindo as especificações das normas NBR NM 67 (ABNT, 1998), NBR 5738 (ABNT, 2008), e NBR 12655:2015. Buscou-se identificar amostras que seriam rompidas na mesma idade da mesma betonada, de modo a minimizar os possíveis erros de dosagem. Nas Figuras 26 e 27 são apresentadas as ferramentas utilizadas para o ensaio de trabalhabilidade e para moldagem dos corpos de prova.

Figura 26: Processo de moldagem dos corpos de provas com o concreto fresco



Fonte: Autor, 2018.

Os corpos de provas foram moldados, seguindo a norma NBR 12655:2015, umedecendo os moldes com uma fina camada de desmoldante e preenchendo-os, por camadas, totalizando 3 (três) camadas no total, fazendo o adensamento com uma haste metálica, totalizando 25 golpes, e de modo a não penetrar as demais previamente adensadas, conforme ilustrado acima:

- *Fresagem*: Após 30 horas da concretagem, os corpos de provas foram desmoldados, limpos e na sequência fresados conforme Figura 27:

Figura 27: Processo de fresagem dos corpos de provas e identificação

Fonte: Autor, 2018.

- **Rompimentos:** Foi realizada a análise no laboratório da FAG, afim de aferir a resistência do concreto, através da compressão axial. Os resultados estão em anexo B. O cronograma de rompimento e demais dados conforme Tabela 3:

Tabela 3: Cronograma de rompimento

Idade (dias)	1	3	5	7	10	12
Data Rompimento	09/06/2018	11/06/2018	13/06/2018	15/06/2018	18/06/2018	20/06/2018

3.1.2.6 Armaduras de aço e propriedades geométricas

Para o presente trabalho o aço utilizado foi adquirido na empresa *ArcelorMittal*.

Antes de realizar a execução do procedimento dos ensaios nos conjuntos de amostras representativas para cada corpo de provas, neste caso as vigas, calculou-se os valores das propriedades geométricas das vigas, apresentados na tabela 4:

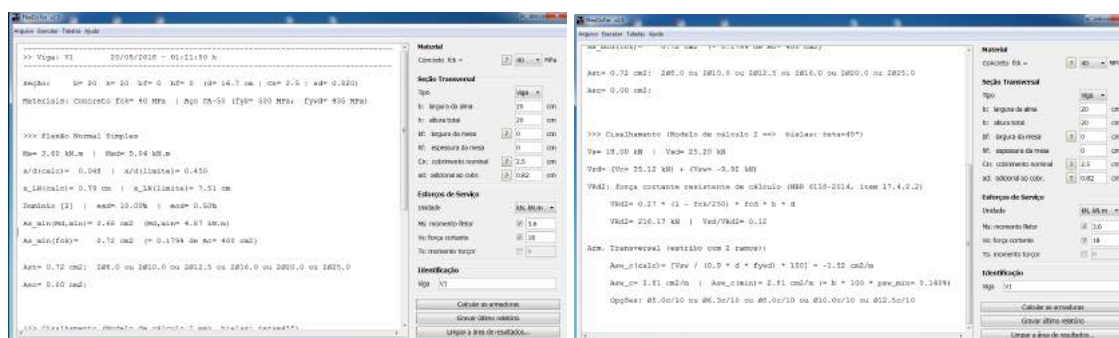
Tabela 4: Propriedades geométricas das vigas

Dados	Dimensão	Unidade
d (altura útil)	16,7	cm
h (altura total)	20	cm
b (largura)	20	cm
x (linha neutra)	0,79	cm
c (cobrimento)	3,0	cm

Fonte: Autor

Tais dados foram obtidos com auxílio *plugin FlexCisTor v2.5* do *software TQS*, conforme ilustrado na Figura 28:

Figura 28: Dados obtidos com auxílio *plugin FlexCisTor v2.5*.



Fonte: *plugin do TQS FlexCisTor v2.5*

Antes da execução do procedimento dos ensaios nos conjuntos de amostras representantes para cada corpo de provas, neste caso as vigas, identificou-se os valores apresentados nas tabelas 5 e 6:

Tabela 5: Valores de cálculo da armadura longitudinal

Armadura Longitudinal	Dimensão	Unidade
M_k (Momento Característico)	3,6	$KN \cdot m$
M_d (Momento de Cálculo)	4,7	$KN \cdot m$
f_{ck} (Concreto)	40	MPa
f_{cd} (Concreto)	28,57	MPa
f_{yk} (Aço CA50)	50	KN/cm^2
f_{yd} (Aço CA50)	43,48	KN/cm^2
A_s^+ (Área de Aço)	0,625	cm^2
ϕ_{aco+} (Diâmetro Aço)	6,3	mm
N_{aco+} (Quantidade Aço)	2	<i>unidade</i>
A_s^- (Área de Aço)	0,625	cm^2
ϕ_{aco-} (Diâmetro Aço)	6,3	mm
N_{aco-} (Quantidade Aço)	2	<i>unidade</i>
l_b (Comprimento Ancoragem)	10	cm
f_{bd} (Resistência aderente)	1,22	KN/cm^2
f_{ctd} (Resistência tração)	0,54	KN/cm^2
f_{ctk} (Resistência Característica concreto C40)	0,756	KN/cm^2
$l_{0t,min}$ (Comprimento Traspasse)	20	cm

Fonte: Autor

Tabela 6: Valores de cálculo da armadura transversal

Armadura Transversal	Dimensão	Unidade
V_s (Cortante Característica)	18	KN
$V_s d$ (Cortante de Cálculo)	25,2	KN
$V R_{d2}$ (Cortante resistente)	216,17	KN
$V_s d / V R_{d2}$ (Concreto)	0,12	-
A_{sw} (Área de Aço)	2,81	cm^2/m
ϕ_{aco} (Diâmetro Aço)	5,0	mm
$A_{sw_{min}}$ (Área de Aço mínima)	2,81	cm^2/m
S_{min} (Espaçamento)	10	cm

Fonte: Autor

Antes de iniciar os ensaios foram coletas os dados das características do concreto, conforme tabela 7:

Tabela 7: Características do concreto

Lote do Concreto	NI		
f_{ck} (MPa)	23,6	Marca	CAUÊ
Slump (cm)	-	Tipo	CP-V ARI
Umidade (%)	2	Lote	-
Temperatura ($^{\circ}C$)	10		

Fonte: Autor

Para as barras longitudinais foi usado barras com diâmetro de 6,3mm em aço CA-50 e para os estribos e 5,0mm em aço CA-60, e dispostas com amarrações distintas. As dimensões das formas são $20 \times 20 \times 70$ de modo a garantir que o espaçamento necessário para o apoios durante os ensaios de rompimentos.

Os materiais foram cortados, dobrados e dispostos na central de armação da empresa, conforme Figura 29:

Figura 29: Processo de armação das armaduras de aço



Fonte: Autor, 2018.

É possível visualizar as amostras padrão com dimensões adotadas dentro dos parâmetros estabelecidos pela NBR 12142:2010 traspassadas amarradas com arame recozido, ilustrada na figura 30:

Figura 30: Amostra padrão normatizada pela NBR 12142:2010 com traspases amarradas com arame recozido.



Fonte: Autor, 2018.

Agora o conjunto de amostras padrão normatizadas pela NBR 12142:2010 com traspases amarradas com descartes de borrachas.

Figura 31: Amostra padrão normatizada pela NBR 12142:2010 com traspases amarradas com descartes de borrachas.



Fonte: Autor, 2018.

Por fim, o conjunto de amostras padrão normatizada pela NBR 12142:2010 com traspases amarradas com abraçadeiras de *nylon*.

Figura 32: Amostra padrão normatizada pela NBR 12142:2010 com traspases amarradas com abraçadeiras de *nylon*.



Fonte: Autor, 2018.

3.1.2.7 Esforço resistente

De acordo com a NBR 12142:2010, a resistência à tração na flexão deve ser calculada de acordo com a seguinte equação:

$$f_{ct,f} = \frac{F \cdot l}{b \cdot d^2} \quad (9)$$

Substituindo os dados obtidos, tem-se:

$$0,54 \times 10^3 = \frac{F \cdot 0,6}{0,2 \cdot 0,167^2} \quad (10)$$

Resultando na resistência média esperada por norma de $F = 5,02 MPa$.

3.1.2.8 Fôrmas

Para fins de economia e fácil aplicação foram utilizadas as formas de madeiras, com dimensões internas descritas no projeto anexoA. As madeiras de fundo e fechamento das extremidades utilizada foi pinho de 2.5cm e para os fechamentos laterais usado madeira compensada de 10mm. É possível visualizar o processo de fabricação, ilustrado na Figura 33:

Figura 33: Formas confeccionadas em madeira



Fonte: Autor, 2018.

3.1.2.9 Concretagem - Concreto Armado

Para a concretagem foram tomados os devidos cuidados quanto a estanqueidade das formas, aplicação de desmoldantes, altura de lançamento do concreto, apiloamento com haste metálica para melhor compactação sem ocasionar desagregação, dentro outros.

Para garantir o cobrimento nominal foram utilizados espaçadores plásticos de 3,0mm para cumprir os requisitos normativos.

É possível visualizar os detalhes dos procedimentos e materiais aplicados durante a operação de concretagem ilustrado na Figura 34:

Figura 34: Formas confeccionadas em madeira



Fonte: Autor, 2018.

3.1.3 Coleta de dados

O maquinário utilizado é composto por uma prensa, célula universal de cálculo e um computador, conforme ilustrado na Figura 35:

Figura 35: Equipamento controlador normatizado a ser utilizado do laboratório de ensaios da FAG



Fonte: Autor, 2018.

Para realizar os rompimentos será utilizado uma prensa com acessórios suportes de apoio e descarga de esforços, conforme ilustrado na Figura 36:

Figura 36: Prensa com acessórios suportes de apoio (cutelos) e descarga de esforços normatizados do laboratório de ensaios da FAG



Fonte: Autor, 2018.

Os parâmetros utilizados para referência será o limite de suporte de cargas até o estado limite último dos elementos, podendo ainda ser verificado o comportamento de fissuração, sendo o limite previsto em norma de $0,0035mm$.

Os dados serão coletados durante os ensaios de flexão previstos na norma ABNT NBR 12142: 2010, as quais serão fornecidas pelos equipamentos definida na ABNT NBR 5739:2007.

3.1.4 Análise dos dados

A análise dos dados será pelo método comparativo das cargas suportantes até o estado de ruína dos elementos.

As amostras de vigas na idade de 12 dias, ilustradas na Figura 37:

Figura 37: Amostras padrão normatizada pela NBR 12142:2010 com traspases diversos no 12º dia, processo de desformas e posicionamento na máquina de rompimento.



Fonte: Autor, 2018.

4 CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

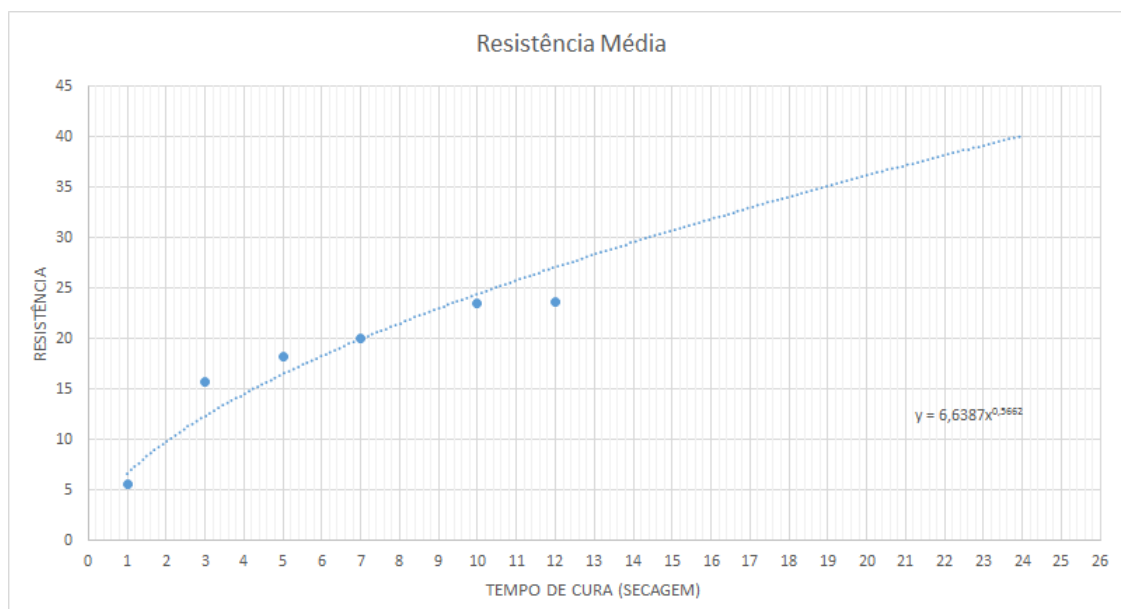
O cronograma de rompimento dos corpos de provas cilíndricos ($10 \times 20\text{cm}$) e demais dados apresentados na Tabela 8:

Tabela 8: Cronograma de rompimento e resultados obtidos

Idade (dias)	1	3	5	7	10	12
Resistência Média	5,6	15,8	18,3	20,0	23,5	23,6
Data Rompimento	09/06/2018	11/06/2018	13/06/2018	15/06/2018	18/06/2018	20/06/2018

Os dados foram consolidados numa curva de evolução de resistência no tempo, conforme ilustrado na Figura 38:

Figura 38: Curva de evolução de resistência no tempo para corpos de provas cilíndricos ($10 \times 20\text{cm}$)



Fonte: Autor, 2018.

Já para as vigas é possível constatar os resultados da tração a flexão dos rompimentos das amostras padrão com dimensões adotadas dentro dos parâmetros estabelecidos pela NBR 12142:2010, apresentadas no Anexo B, traspassadas amarradas com arame recozido:

Figura 39: Dados das amostras padrão normatizada pela NBR 12142:2010 com traspases amarradas com arame recozido.

Corpo de Prova - Viga 01 - AR		Corpo de Prova - Viga 02 - AR		Corpo de Prova - Viga 03 - AR	
Dados Cadastrais		Dados Cadastrais		Dados Cadastrais	
Amostra:	TCC Edvaldo	Amostra:	TCC Edvaldo	Amostra:	TCC Edvaldo
Tipo de ensaio:	Tração na Flexão - Prismático	Tipo de ensaio:	Tração na Flexão - Prismático	Tipo de ensaio:	Tração na Flexão - Prismático
Cliente:	Edvaldo	Cliente:	Edvaldo	Cliente:	Edvaldo
Responsável:	Renam	Responsável:	Renam	Responsável:	Renam
Data de Moldagem:	08/06/2018	Data de Moldagem:	08/06/2018	Data de Moldagem:	08/06/2018
Resultado do ensaio		Resultado do ensaio		Resultado do ensaio	
Carga máxima (kgf):	12.590	Carga máxima (kgf):	9.280	Carga máxima (kgf):	11.120
Tensão máxima (MPa):	3,1	Tensão máxima (MPa):	2,3	Tensão máxima (MPa):	2,7
Mód. Elasticidade (GPa):		Mód. Elasticidade (GPa):		Mód. Elasticidade (GPa):	

Fonte: Autor, 2018.

Agora os dados dos conjunto de amostras padrão normatizadas pela NBR 12142:2010 com traspases amarradas com descartes de borrachas, apresentadas no Anexo B.

Figura 40: Dados das amostras padrão normatizada pela NBR 12142:2010 com traspases amarradas com descartes de borrachas.

Corpo de Prova - Viga 01 - BOR		Corpo de Prova - Viga 02 - BOR		Corpo de Prova - Viga 03 - BOR	
Dados Cadastrais		Dados Cadastrais		Dados Cadastrais	
Amostra:	TCC Edvaldo	Amostra:	TCC Edvaldo	Amostra:	TCC Edvaldo
Tipo de ensaio:	Tração na Flexão - Prismático	Tipo de ensaio:	Tração na Flexão - Prismático	Tipo de ensaio:	Tração na Flexão - Prismático
Cliente:	Edvaldo	Cliente:	Edvaldo	Cliente:	Edvaldo
Responsável:	Renam	Responsável:	Renam	Responsável:	Renam
Data de Moldagem:	08/06/2018	Data de Moldagem:	08/06/2018	Data de Moldagem:	08/06/2018
Resultado do ensaio		Resultado do ensaio		Resultado do ensaio	
Carga máxima (kgf):	9.540	Carga máxima (kgf):	10.730	Carga máxima (kgf):	11.020
Tensão máxima (MPa):	2,3	Tensão máxima (MPa):	2,6	Tensão máxima (MPa):	2,7
Mód. Elasticidade (GPa):		Mód. Elasticidade (GPa):		Mód. Elasticidade (GPa):	

Fonte: Autor, 2018.

Por fim, os dados dos conjuntos de amostras padrão normatizadas pela NBR 12142:2010 com traspases amarradas com abraçadeiras de *nylon*, apresentadas no Anexo B.

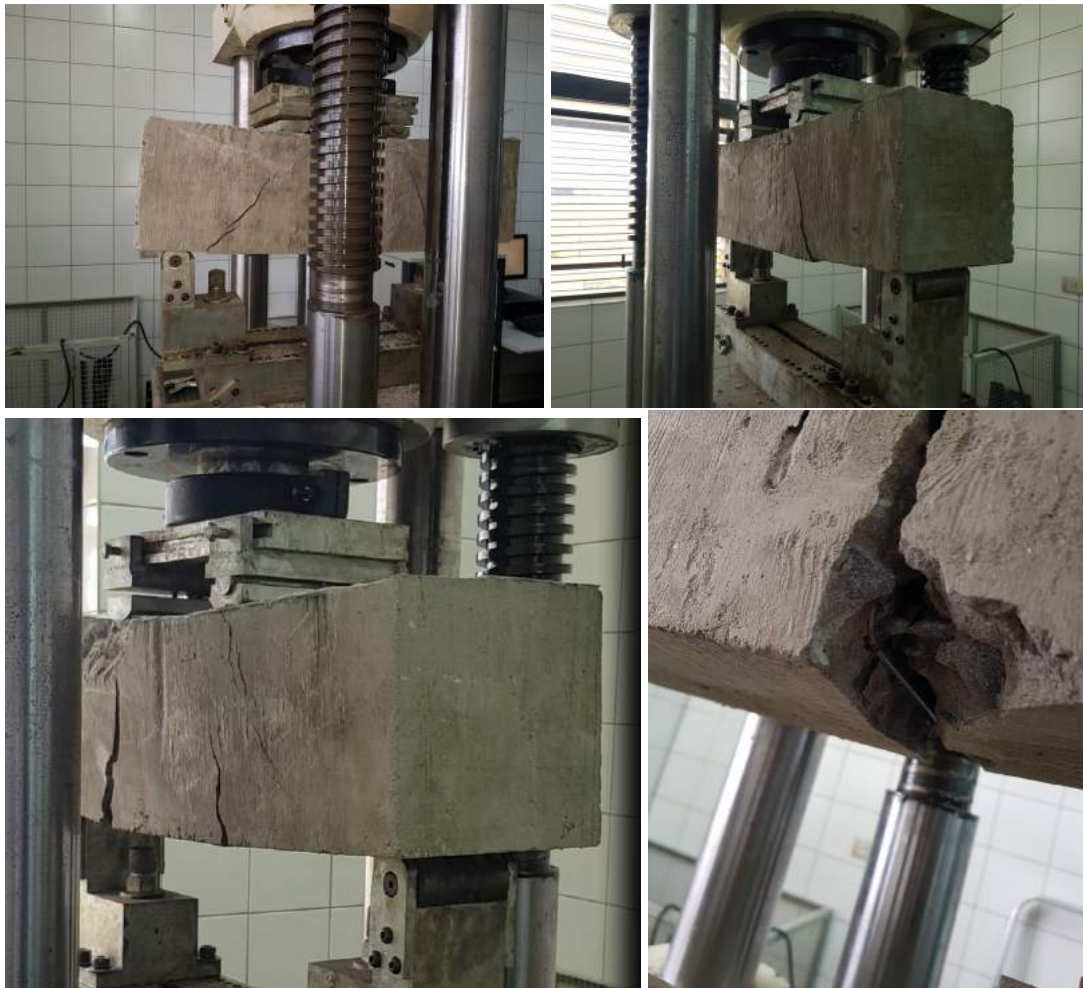
Figura 41: Dados das amostras padrão normatizada pela NBR 12142:2010 com traspasses amarradas com abraçadeiras de *nylon*.

Corpo de Prova - Viga 01 - Nylon		Corpo de Prova - Viga 02 - Nylon		Corpo de Prova - Viga 03 - Nylon	
Dados Cadastrais		Dados Cadastrais		Dados Cadastrais	
Amostra:	TCC Edvaldo	Amostra:	TCC Edvaldo	Amostra:	TCC Edvaldo
Tipo de ensaio:	Tração na Flexão - Prismático	Tipo de ensaio:	Tração na Flexão - Prismático	Tipo de ensaio:	Tração na Flexão - Prismático
Cliente:	Edvaldo	Cliente:	Edvaldo	Cliente:	Edvaldo
Responsável:	Renam	Responsável:	Renam	Responsável:	Renam
Data de Moldagem:	08/06/2018	Data de Moldagem:	08/06/2018	Data de Moldagem:	08/06/2018
Resultado do ensaio		Resultado do ensaio		Resultado do ensaio	
Carga máxima (kgf):	10.470	Carga máxima (kgf):	10.750	Carga máxima (kgf):	11.360
Tensão máxima (MPa):	2,8	Tensão máxima (MPa):	2,8	Tensão máxima (MPa):	2,8
Mód. Elasticidade (GPa):		Mód. Elasticidade (GPa):		Mód. Elasticidade (GPa):	

Fonte: Autor, 2018.

Através do ensaio de flexão nota-se o rompimento da viga por cisalhamento oblíquo na região do terço médio das vigas, conforme esperado e devidamente ilustrado na Figura 42:

Figura 42: Linhas de ruptura das amostras de vigas submetidas à flexão pura.



Fonte: Autor

As cargas de ruptura aplicadas no ensaio foram consideravelmente iguais para todas as amostras, sendo referência as amarradas com arame recozido, tendo ainda o cisalhamentos oblíquos às vigas havendo falhas primeiramente no concreto e na sequência no aço, sendo consolidado os dados na tabela 9.

Tabela 9: Resultados do ensaio

		DATA		Idade	Leitura na Prensa (Kgf)	Resistência (MPa)	Resistência Média (MPa)
		Concretagem	Rompimento				
AMOSTRA (arame)	1	08/06/2018	20/06/2018	12	12,59	3,1	2,7
	2	08/06/2018	20/06/2018	12	9,28	2,3	
	3	08/06/2018	20/06/2018	12	11,12	2,7	
AMOSTRA (nylon)	1	08/06/2018	20/06/2018	12	10,47	2,6	2,67
	2	08/06/2018	20/06/2018	12	10,75	2,6	
	3	08/06/2018	20/06/2018	12	11,36	2,8	
AMOSTRA (borracha)	1	08/06/2018	20/06/2018	12	9,54	2,3	2,53
	2	08/06/2018	20/06/2018	12	10,73	2,6	
	3	08/06/2018	20/06/2018	12	11,02	2,7	

Fonte: Autor

Percebe-se que os dados médios resistentes são muito próximos, sugerindo comportamentos similares de resistência à tração por flexão, podendo ser visualizados no Anexo C.

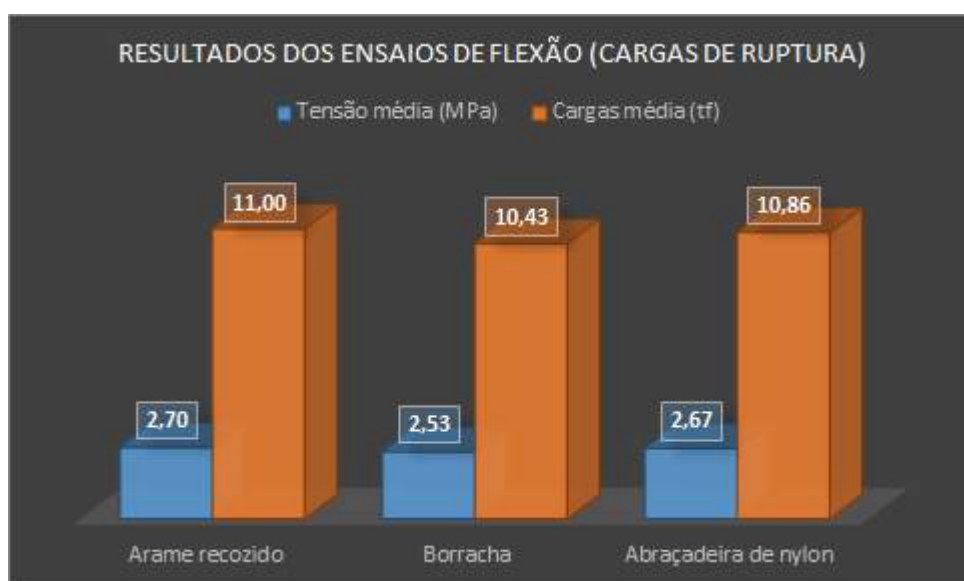
Tabela 10: Consolidação dos dados de rompimentos

	Resistência Média (MPa)	Variação (%)
AMOSTRA (arame)	2,7	referência
AMOSTRA (nylon)	2,67	1,25
AMOSTRA (borracha)	2,53	6,17

Fonte: Autor

Os dados obtidos foram consolidados, graficamente ilustrado na Figura 43:

Figura 43: Gráfico das médias dos dados amostrais normatizados pela NBR 12142:2010 com traspases diversos.



Fonte: Autor

5 CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Utilizando o procedimento normativo para rompimento das vigas retangulares, não foram encontradas diferenças significativas entre as resistências das vigas submetidas a esforços de flexão simples, corroborando com as afirmações encontradas na literatura de que independentemente do material utilizado, desde que permita a união concreto-aço, de nada mudaria a resistência aos esforços solicitantes, podendo ser apresentado na tabela 10. Por norma, esperava-se como resultando uma média de $5,02 MPa$.

Tendo como objetivo a aplicação de elementos distintos nas amarrações das armaduras longitudinais das vigas emendadas por traspases, a pesquisa mostrou que há a possibilidade desta hipótese, porém a agilidade de amarração inicialmente esperada, restou-se deficiente devido a morosidade da aplicação e ainda dúvidas pela esterilidade (ser inerte), isto é, se haveria reações químicas internas de rejeição daqueles materiais utilizados (*nylon* e borracha) no decorrer do tempo pelos componentes do concreto armado.

Para este estudo aparentemente haveria economia, mesmo sendo consideravelmente baixa, mas deixou de ser atraente devido a débil agilidade, sugerindo a manutenção do uso do arame recozido, o qual foi estimado em $R\$0,01/laco$ já considerando as perdas, sem considerar os custos com mão de obra. Os demais materiais tomaram o triplo do tempo dos armadores para confecção de cada viga para amarrar apenas as armaduras longitudinais traspassadas, e considerando os altos valores atuais de mão de obra na construção civil, o uso dos materiais diversos, ainda que sem custos de aquisição, tornaram-se mais caros na conjuntura do processo de amarração.

Não esquecendo que a escolha desta dimensão de viga foi devido à dificuldade de realizar ensaios práticos com vigas de dimensões elevadas, requisições normativas, capacidade laboratorial de suporte, e ainda cumprir os procedimentos rigorosos previstos em norma, elevando ainda mais os custos para a pesquisa, de modo que não comprometesse a qualidade de execução dos ensaios normativos previstos na NBR 12142:2010.

6 CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para complementar e garantir melhores resultados da pesquisa, sugere-se:

- Verificar as reações químicas entre o concreto e cada elemento utilizado para realizar a amarração das barras longitudinais das vigas;
- Experimentar o rompimento de corpos de provas sem elementos de amarração com as mesmas condições apresentadas;
- verificar corpos de provas com diferentes tamanhos de traspasse com os mesmos elementos de amarração.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NM 248:2001. **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR 14931:2004. **Execução de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 6120:1980. **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

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

_____. NBR 5738:2008. **Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 6118:2014. **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 6118:2014: **Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro: Abnt, 2014. 238 p.

_____. NBR NM 33: **Concreto - Amostra de concreto fresco**. Rio de Janeiro: Moderna, 1994.

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

_____. NBR 5738: **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro: Moderna, 2008.

_____. NBR 5739: **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: Moderna, 2007. 9 p.

_____. NBR 7212: **Execução de Concreto Dosado em Central**. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 9939: **Agregados - Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado gráúdo**. Rio de Janeiro: Moderna, 2011.

_____. NBR 9935: **Agregados - Terminologia**. Rio de Janeiro: Moderna, 1987.

_____. NBR 12655: **Concreto – Preparo, controle e recebimento**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 7480 – **Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado**, Rio de Janeiro, ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (BRASIL). **Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto**. Brasil, 2013. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto>>. Acesso em: 26 ago. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM **ABESC – Manual Do Concreto Dosado Em Central**, São Paulo, 2007. Acesso em: 26 ago. 2017., Disponível em: <<http://www.abesc.org.br/assets/files/manual-cdc.pdf>>

ADES, Andréa Zebulun. **A Importância do Controle Tecnológico na Fase Estrutural em Obras de Edificações**. 2015. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013703.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2017.

ARAGÃO FILHO, Luiz Augusto C. Moniz de **Materiais de Construção Civil II**, IME, 2010. Acesso em: 22 ago. 2017, Disponível em: <http://engenhariaconcursos.com.br/arquivos/Materiais/ensaios_tecnologicos_agregados.pdf>.

ALYSSANDRO, Marcos **Aula 1 – introdução e agregados**, Natal, 2013. Acesso em: 26 ago. 2017, Disponível em: <<http://docente.ifrn.edu.br/marcosanjos/disciplinas/materiais-de-construcao-civil-1/aula-1-introducao-e-agregados/view>>.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado**. 2006. Notas de Aula – Universidade Estadual Paulista, 2006.

BASTOS, P. S. S. **Vigas de Concreto Armado**. 2015. Notas de Aula – Universidade Estadual Paulista, 2006.

BAUER, L. Falcão, **Materiais de construção I e II**. 5ª edição revisada. Livros Técnicos e Científicos. Editora São Paulo, 2008.

BELLEI, I. H. **Edifícios Estruturais em Aço**. 3ª ed. São Paulo: Pini, 2000.

DIAS, L. A. M. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem**. São Paulo, Zigurate Editora, 1997.

EXAME. Brasil: Editora Abril, v. 1064, abr. 2014. Quinzenal.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Técnica de armar as estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1995.

GERDAU, S.A. **Catálogo de Produtos: AÇO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Disponível em:<<https://www.comercialgerdau.com.br/pt/productsservices/products/Document20Gallery/catalogo-produtos-cg.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2017.

GITAHY, M. L. C.: **Adaptando e inovando: o Laboratório de Ensaios de Materiais da Escola Politécnica e a tecnologia do concreto em São Paulo'**. História, Ciências, Saúde — Manguinhos, vol. VII(3), 675-690, nov. 2000-fev. 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-59702001000600006>. Acesso em: 26 ago. 2017.

I. Oliveira., **Apostila MACO I – Agregados.**, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 1ª edição, 2012.

LEONHARDT, F.; MONNIG, E. **Construções de concreto, Vol.1: Princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado.** Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

LEONHARDT, F.; MONNIG, E. **Construções de concreto, Vol.2: Casos especiais de dimensionamento de estruturas de concreto armado.** Rio de Janeiro: Interciência, 2007.

LEONHARDT, F.; MONNIG, E. **Construções de concreto, Vol.3: princípios básicos sobre a amarração de estruturas de concreto armado.** Rio de Janeiro: Interciência, 2007.

LEONHARDT, F.; MONNIG, E. **Construções de concreto, Vol.4: Verificação da capacidade de utilização.** Rio de Janeiro: Interciência, 1979.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 06:** Equipamentos de proteção individual-EPI. Brasília: MTE, 2011. 7 p. Disponível em: <[portal.mte.gov.br/data/files/8A7C812D36A2800001388130953C1EFB/NR-06\(atualizada\)2011.pdf](portal.mte.gov.br/data/files/8A7C812D36A2800001388130953C1EFB/NR-06(atualizada)2011.pdf)>. Acesso em: 26 ago. 2017.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 18:** Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção. Brasília: MTE, 2015. Disponível em: <[portal.mte.gov.br/data/files/FF8080814CD7273D014D350CBF47016D/NR-18\(atualizada2015\)limpa.pdf](portal.mte.gov.br/data/files/FF8080814CD7273D014D350CBF47016D/NR-18(atualizada2015)limpa.pdf)>. Acesso em: 26 ago. 2017.

Neville, A. M., **Properties of concrete – Fourth and Final Edition.** Longman Group Limited, England, ISBN 0-582-23070-5, 1997.

PFEIL, W. **Estruturas de aço: Propriedades – Métodos de cálculo ligações – esforços normais.** 5ª ed. Rio de Janeiro, Interciência, 1992.

REVISTA EXAME (São Paulo). **Construção civil vive crise sem precedentes no Brasil.** Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/revista-exame/edicoes/109202/noticias/a-crise-e-a-crise-da-construcao>>. Acesso em: 26 ago. 2017.

Siqueira, Ligia V.M. Oliveira., **Apostila Laboratório de Materiais de Construção - I A Parte - Cimento.**, Joinville, 2008. Universidade Do Estado De Santa Catarina – UDESC. Acesso em: 26 ago. 2017., Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/portal/departamentos/dec/labmcc/materiais/ensaios_tecnologicos_cimento_portland.pdf>.

SUSSEKIND, J. C. **Curso de concreto: Concreto armado**. São Paulo, Ed. Globo, 1989.

Sanepar Acesso em: 26 ago. 2017., **Relatório qualidade água**. Disponível em: <<http://www.sanepar.com.br/sanepar/relatorioqualidadeagua/2010/001.pdf>>

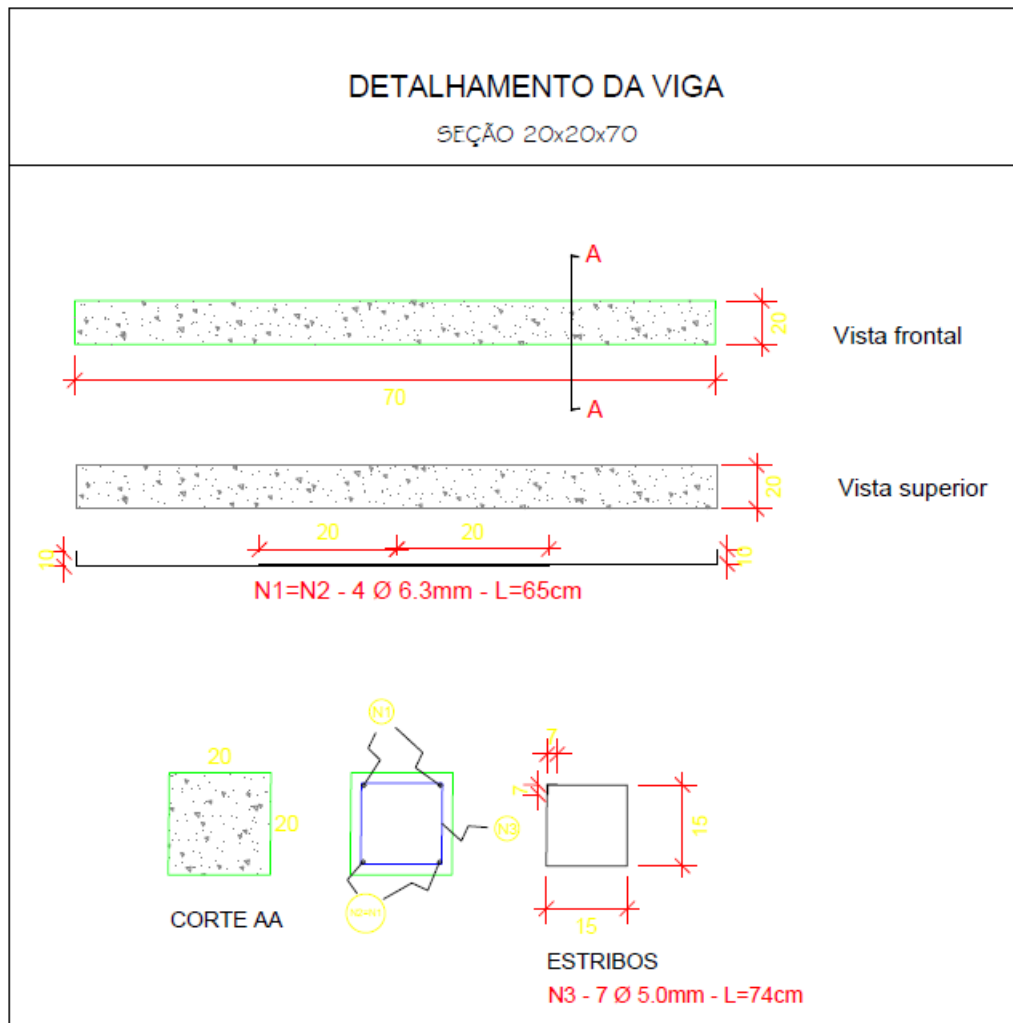
Varela, Marcio. **Apostila de Materiais de Construção**. IFRN - 2013. Acesso em: 26 ago. 2017., Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/marciovarela/disciplinas/materiais-de-construcao/apostila-de-materiais-de-construcao-curso-tecnico>>.

VOTORANTIM. Conheça cada tipo de cimento e onde aplicar. 2014. Disponível em: <www.votorantimcimentos.com.br/htms-ptb/Produtos/Cimento.htm>. Acesso em: 26 ago. 2017.

WATANABE, Paula Sumie. **Concretos Especiais – Propriedades, materiais e aplicações**. Bauru/SP. 2008. Disponível em: <https://docgo.net/philosophy-of-money.html?utm_source=129741290-73266541-conc-esp-paula&utm_campaign=download> . Acesso em: 28 ago. 2017.

ANEXO A – DETALHAMENTOS DAS VIGAS

Figura 44: Detalhamentos das amostras padrão normatizadas pela NBR 12142:2010 com traspases diversos.



Fonte: Autor

ANEXO B – EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA NO TEMPO

Figura 45: Resistência do rompimento dos corpos de provas cilíndricos - CP 01:1 DIA



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - CP 01 - 1 DIA

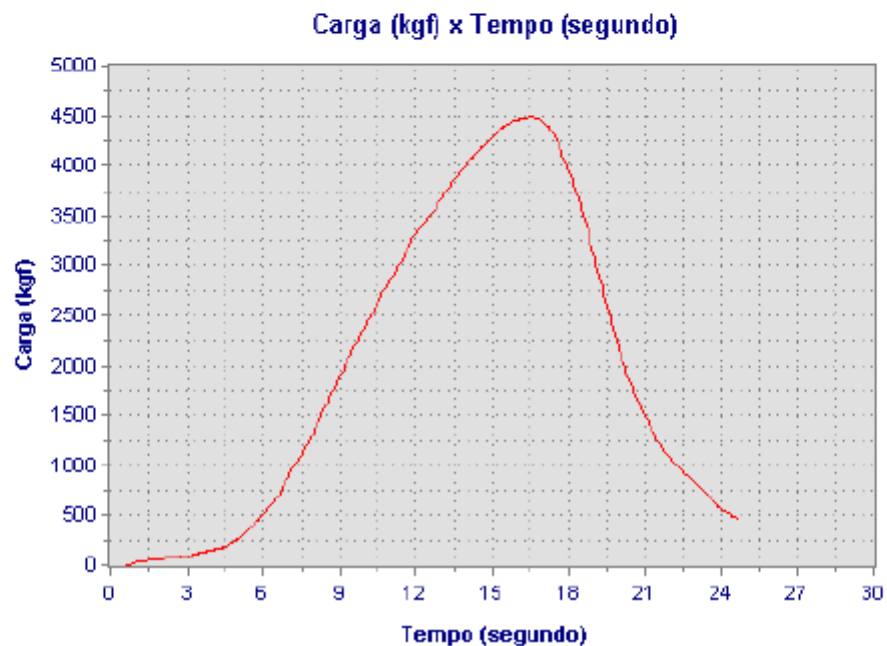
Dados Cadastrais

Amostra: TCC II - Edvaldo
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Edvaldo Ferreira de Araujo
Responsável: Renan
Data de Moldagem: 08/06/2018

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 4.500
Tensão máxima (MPa): 5,6
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado



Fonte: laboratório rompimento FAG

Figura 46: Resistência do rompimento dos corpos de provas cilíndricos - CP 02:3 DIA



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

Corpo de Prova - CP 2 - 3 DIAS

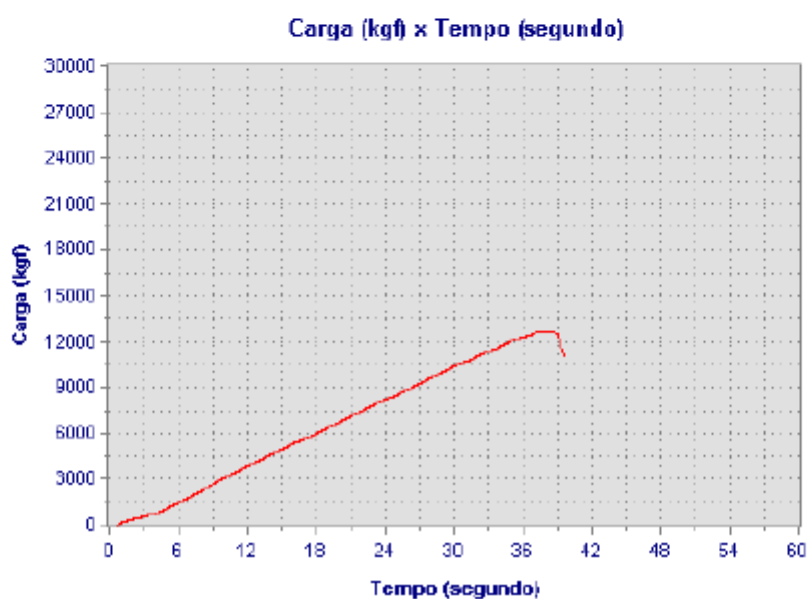
Dados Cadastrais

Amostra: AMOSTRA EDVALDO TCC II
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Edvaldo
 Responsável: Jeyson
 Data de Moldagem: 08/08/2018

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 12.660
 Tensão máxima (MPa): 15,8
 Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado



Fonte: laboratório rompimento FAG

Figura 47: Resistência do rompimento dos corpos de provas cilíndricos - CP 03:5 DIA



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - CP 03 - 5 DIAS

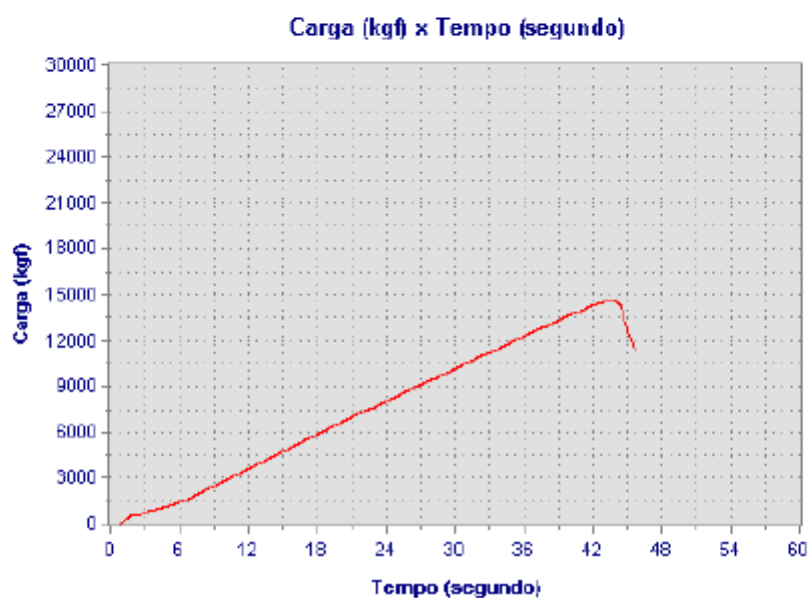
Dados Cadastrais

Amostra: TCC II EDVALDO
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Edvaldo
 Responsável: Renan
 Data de Moldagem: 08/06/2018

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 14.620
 Tensão máxima (MPa): 18,3
 Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado



Fonte: laboratório rompimento FAG

Figura 48: Resistência do rompimento dos corpos de provas cilíndricos - CP 04:7 DIA



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

Corpo de Prova - CP 4 - 7 DIAS

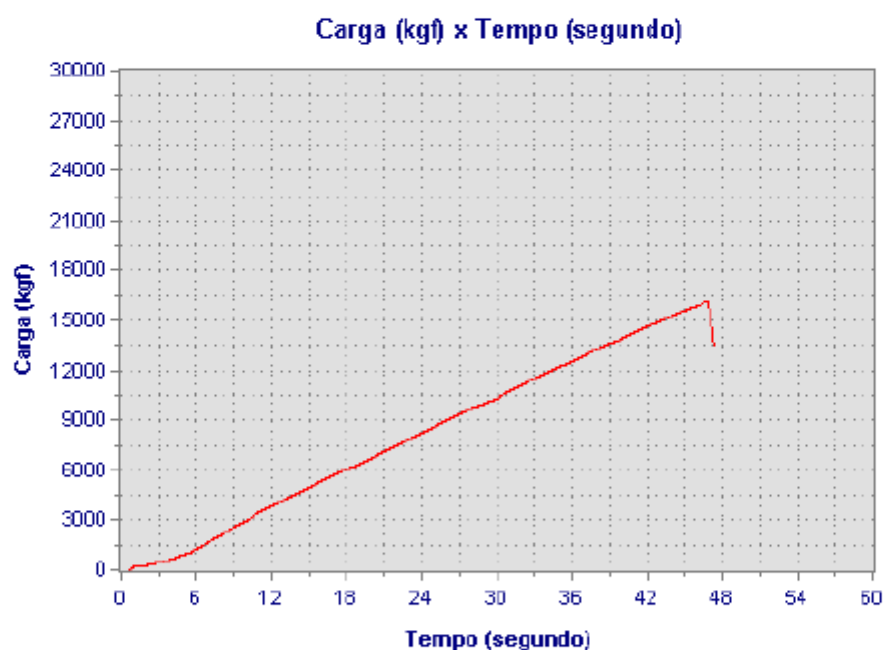
Dados Cadastrais

Amostra: AMOSTRA EDVALDO TCC II
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Edvaldo
 Responsável: Jeyson
 Data de Moldagem: 08/06/2018

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 16.010
 Tensão máxima (MPa): 20,0
 Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado



Observações:

Figura 49: Resistência do rompimento dos corpos de provas cilíndricos - CP 05:10 DIA



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - CP 05 - 10 DIAS

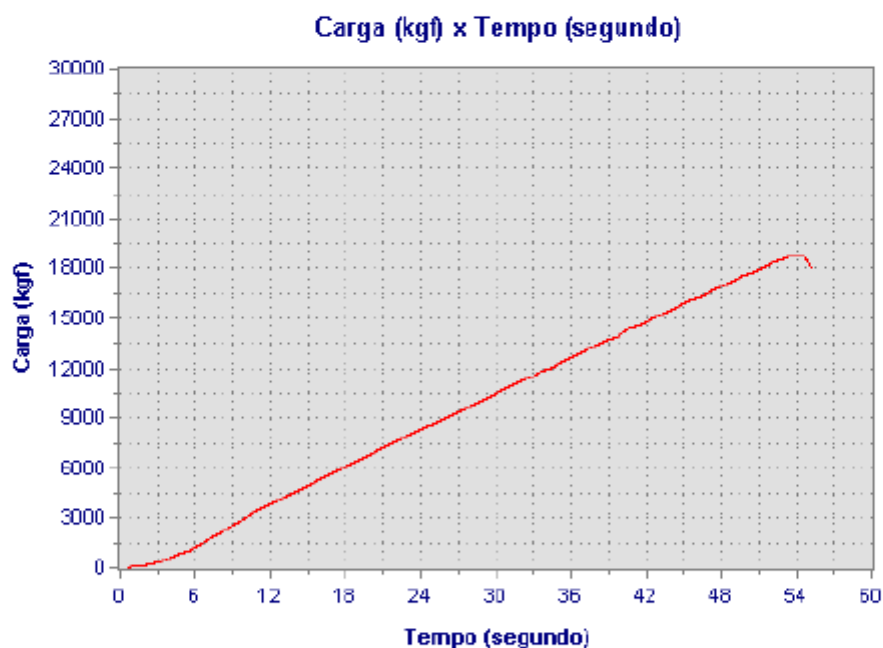
Dados Cadastrais

Amostra: TCC II EDVALDO
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Edvaldo
Responsável: Renan
Data de Moldagem: 08/06/2018

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 18.800
Tensão máxima (MPa): 23,5
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado



Observações:

Figura 50: Resistência do rompimento dos corpos de provas cilíndricos - CP 06:12 DIA



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

Corpo de Prova - CP 07 - 12 DIAS

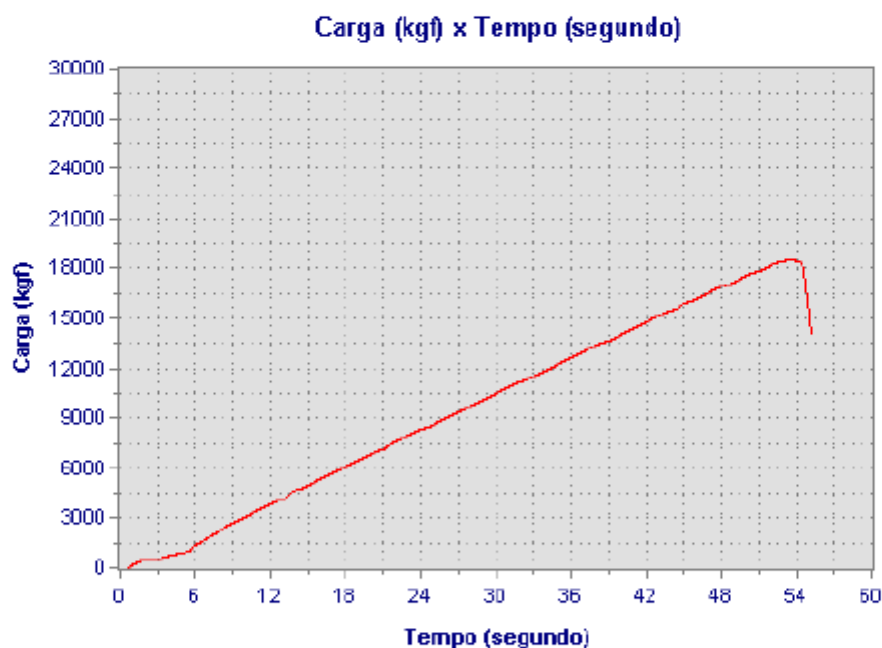
Dados Cadastrais

Amostra: TCC II EDVALDO
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Edvaldo
 Responsável: Renan
 Data de Moldagem: 08/06/2018

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 20.480
 Tensão máxima (MPa): 25.6
 Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado



Observações:

ANEXO C – DADOS ROMPIMENTOS DAS VIGAS

Figura 51: Resistência do rompimento dos corpos de provas vigas: Viga 01- AR



NBR 12142 - Determinação da resistência à tração na flexão em cp prismático - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - Viga 01 - AR

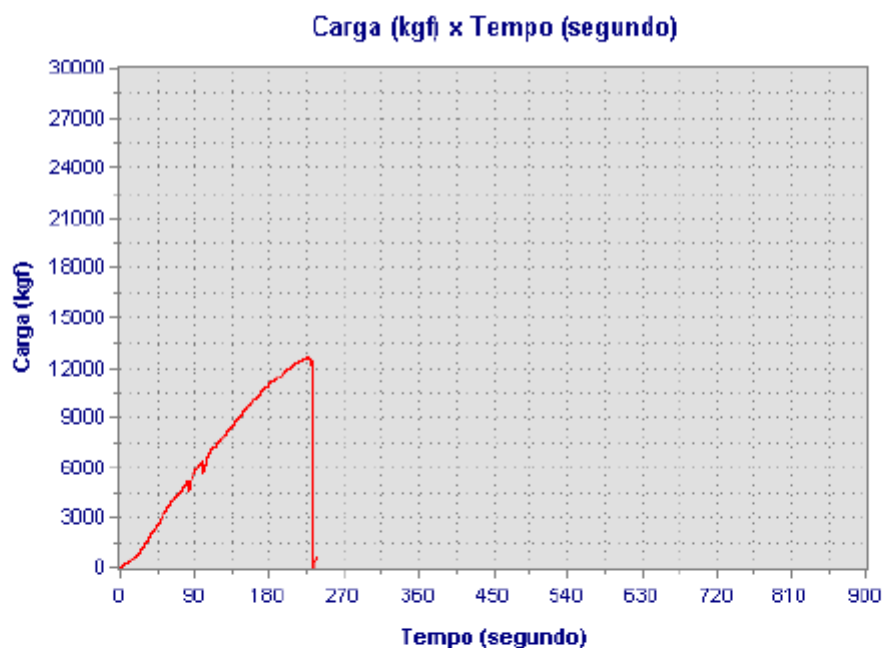
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Edvaldo
 Tipo de ensaio: Tração na Flexão - Prismático
 Cliente: Edvaldo
 Responsável: Renam
 Data de Moldagem: 08/08/2018

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 12.580
 Tensão máxima (MPa): 3,1
 Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado



Observações:

Figura 52: Resistência do rompimento dos corpos de provas vigas: Viga 02- AR



NBR 12142 - Determinação da resistência à tração na flexão em cp prismático - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - Viga 02 - AR

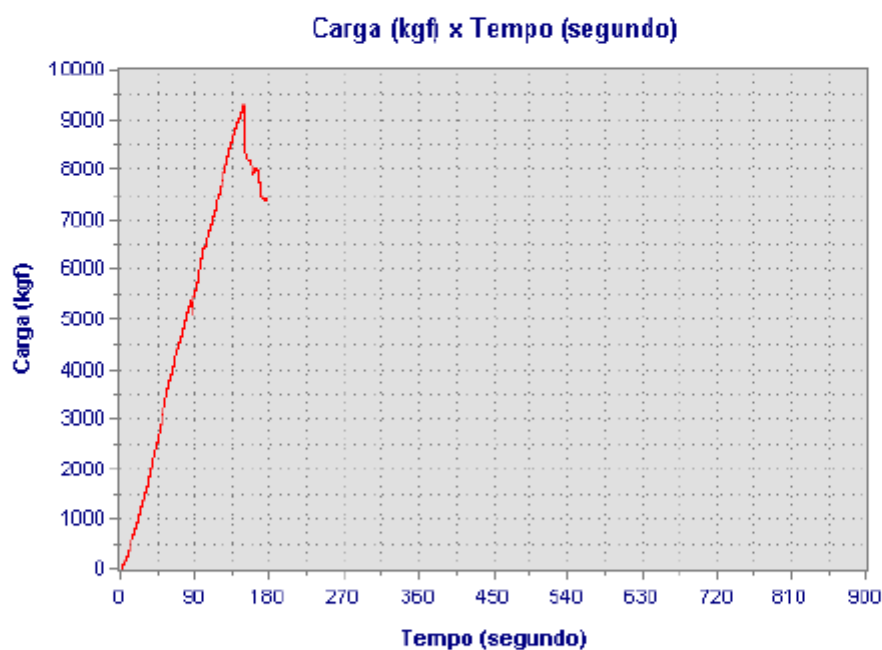
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Edvaldo
 Tipo de ensaio: Tração na Flexão - Prismático
 Cliente: Edvaldo
 Responsável: Renam
 Data de Moldagem: 08/06/2018

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 9.280
 Tensão máxima (MPa): 2,3
 Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado



Observações:

Figura 53: Resistência do rompimento dos corpos de provas vigas: Viga 03- AR



NBR 12142 - Determinação da resistência à tração na flexão em cp prismático - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - Viga 03 - AR

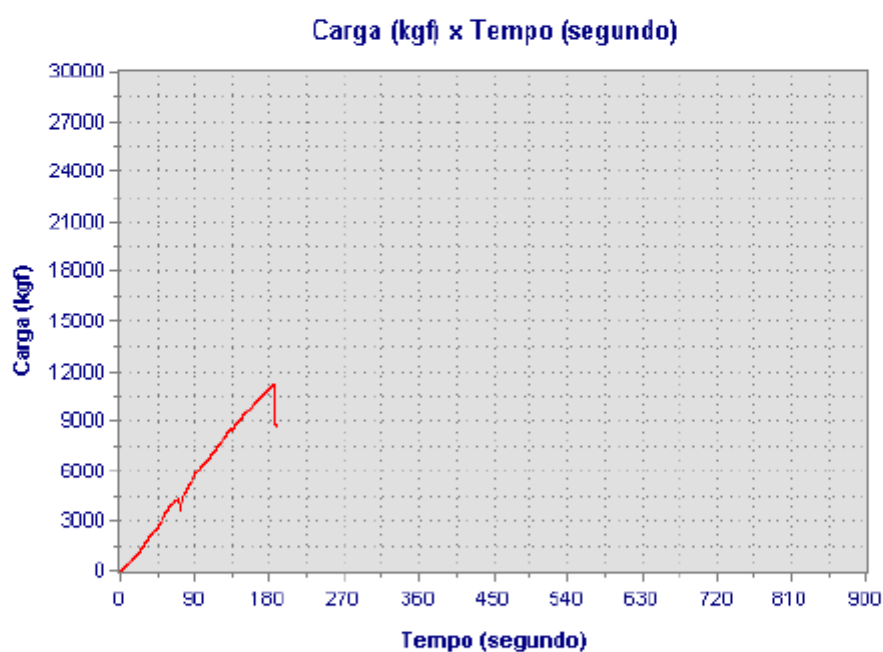
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Edvaldo
 Tipo de ensaio: Tração na Flexão - Prismático
 Cliente: Edvaldo
 Responsável: Renam
 Data de Moldagem: 08/06/2018

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 11.120
 Tensão máxima (MPa): 2,7
 Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado



Observações:

Figura 54: Resistência do rompimento dos corpos de provas vigas: Viga 01- BOR



NBR 12142 - Determinação da resistência à tração na flexão em cp prismático - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - Viga 01 - BOR

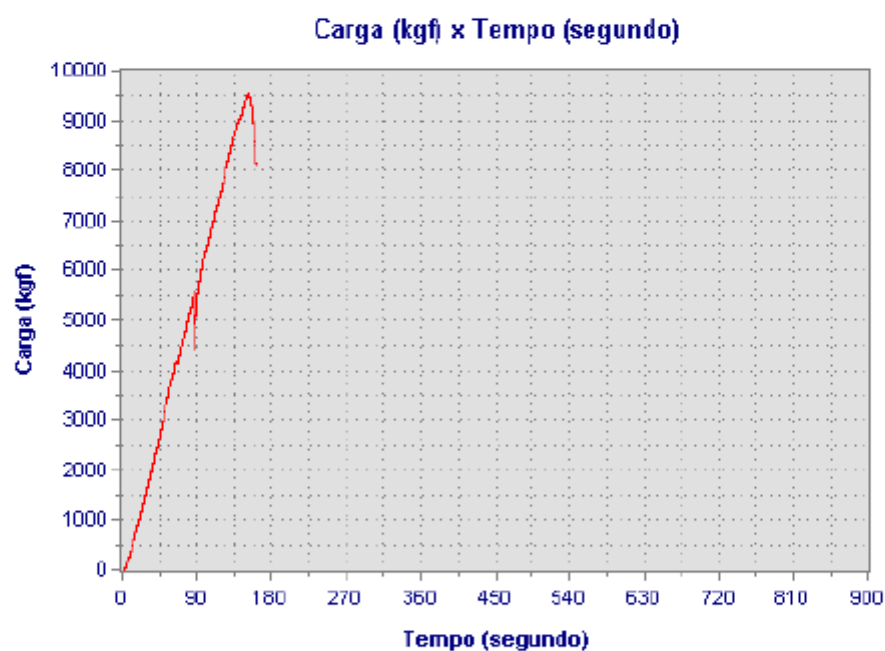
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Edvaldo
 Tipo de ensaio: Tração na Flexão - Prismático
 Cliente: Edvaldo
 Responsável: Renam
 Data de Moldagem: 08/08/2018

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 9.540
 Tensão máxima (MPa): 2,3
 Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado



Observações:

Figura 55: Resistência do rompimento dos corpos de provas vigas: Viga 02- BOR



NBR 12142 - Determinação da resistência à tração na flexão em cp prismático - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - Viga 02 - BOR

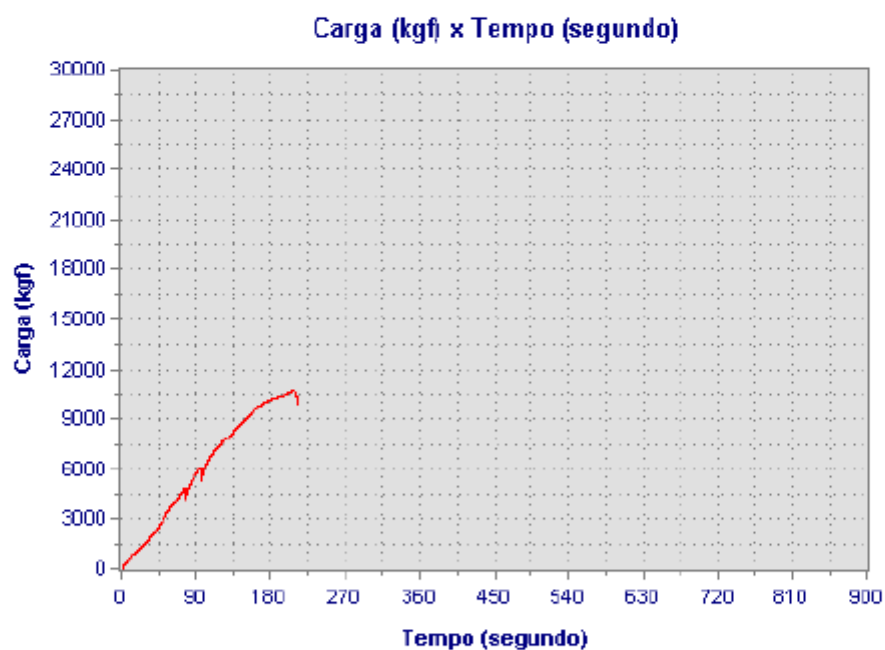
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Edvaldo
 Tipo de ensaio: Tração na Flexão - Prismático
 Cliente: Edvaldo
 Responsável: Renam
 Data de Moldagem: 08/06/2018

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 10.730
 Tensão máxima (MPa): 2,6
 Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado



Observações:

Figura 56: Resistência do rompimento dos corpos de provas vigas: Viga 03- BOR



NBR 12142 - Determinação da resistência à tração na flexão em cp prismático - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - Viga 03 - BOR

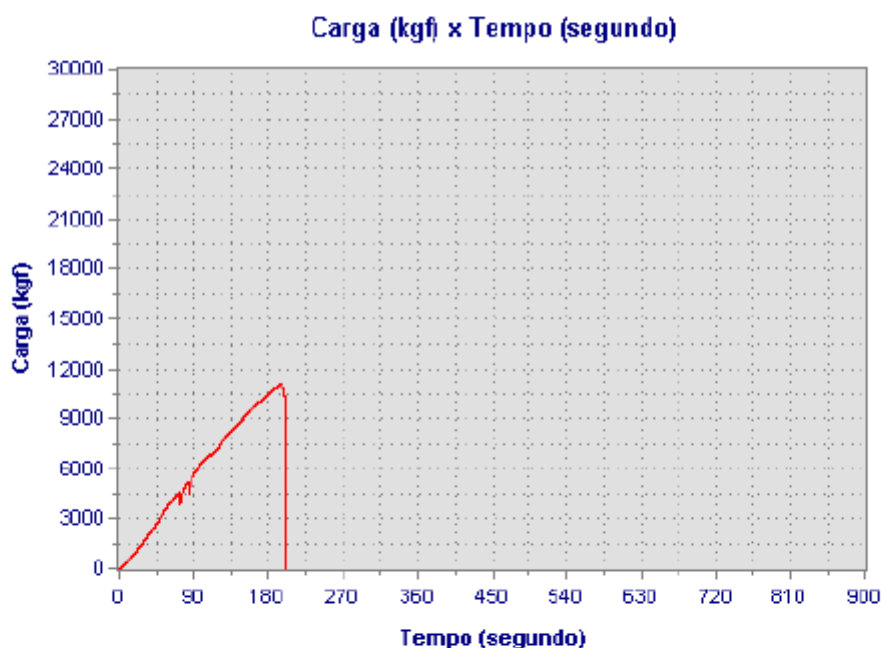
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Edvaldo
 Tipo de ensaio: Tração na Flexão - Prismático
 Cliente: Edvaldo
 Responsável: Renam
 Data de Moldagem: 08/08/2018

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 11.020
 Tensão máxima (MPa): 2,7
 Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado



Observações:

Figura 57: Resistência do rompimento dos corpos de provas vigas: Viga 01- NYLON



NBR 12142 - Determinação da resistência à tração na flexão em cp prismático - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - Viga 01 - Nylon

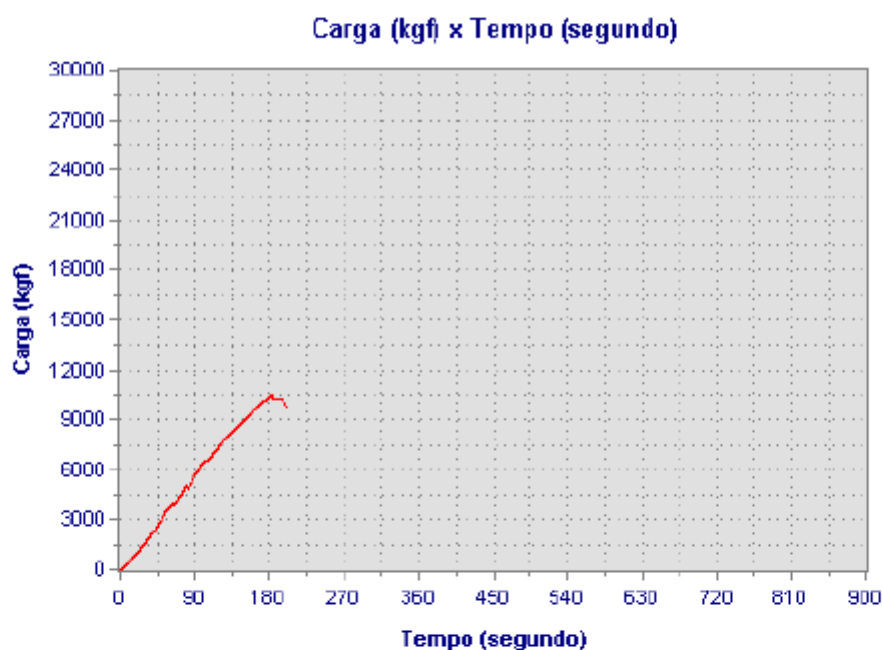
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Edvaldo
 Tipo de ensaio: Tração na Flexão - Prismático
 Cliente: Edvaldo
 Responsável: Renam
 Data de Moldagem: 08/06/2018

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 10.470
 Tensão máxima (MPa): 2,6
 Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado



Observações:

Figura 58: Resistência do rompimento dos corpos de provas vigas: Viga 02- NYLON



NBR 12142 - Determinação da resistência à tração na flexão em cp prismático - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - Viga 02 - Nylon

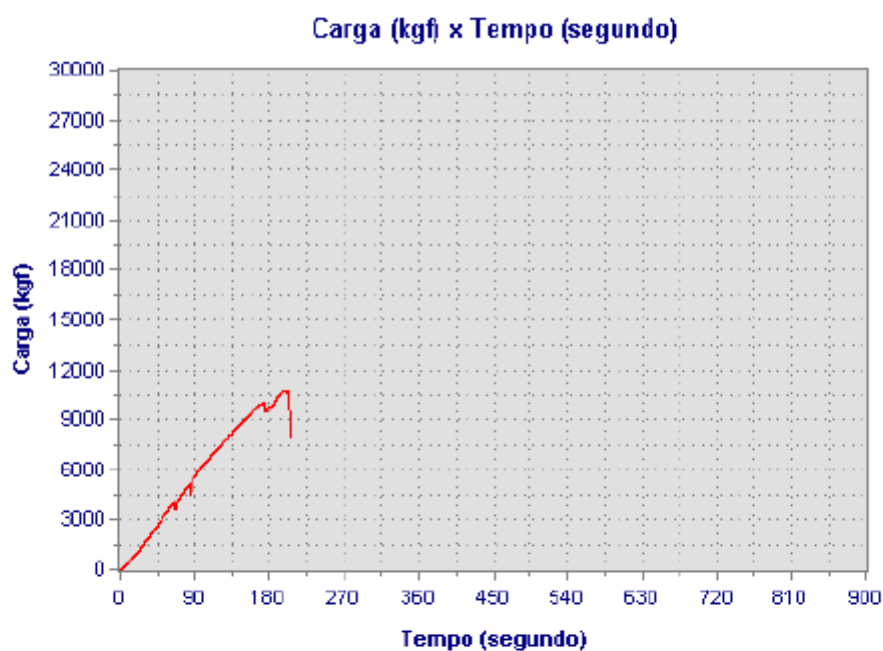
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Edvaldo
 Tipo de ensaio: Tração na Flexão - Prismático
 Cliente: Edvaldo
 Responsável: Renam
 Data de Moldagem: 08/06/2018

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 10.750
 Tensão máxima (MPa): 2,8
 Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado



Observações:

Figura 59: Resistência do rompimento dos corpos de provas vigas: Viga 03- NYLON



NBR 12142 - Determinação da resistência à tração na flexão em cp prismático - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - Viga 03 - Nylon

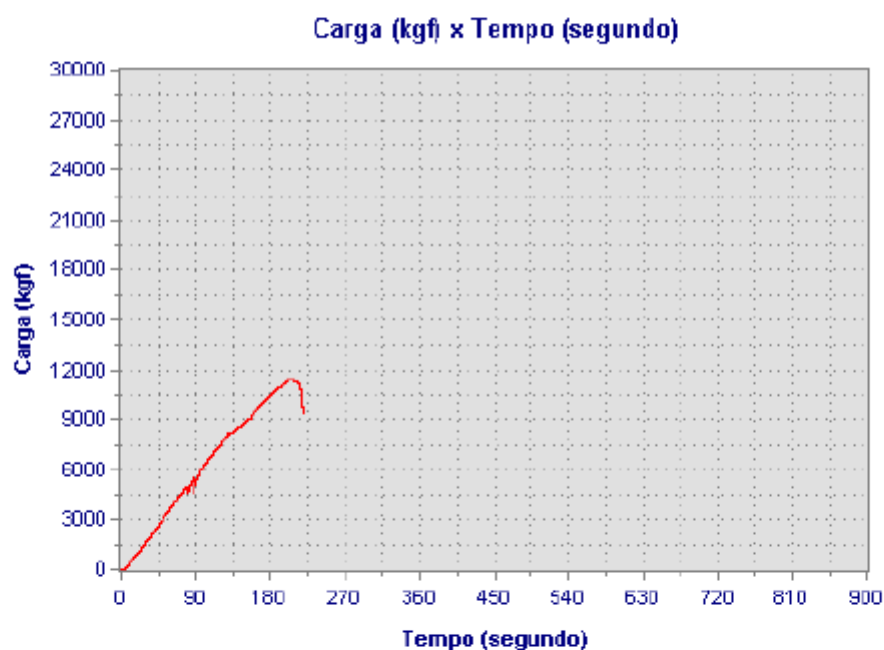
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Edvaldo
 Tipo de ensaio: Tração na Flexão - Prismático
 Cliente: Edvaldo
 Responsável: Renam
 Data de Moldagem: 08/08/2018

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 11.360
 Tensão máxima (MPa): 2,8
 Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado



Observações: