

## A INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE ENSAIO NO LIMITE DE RESISTÊNCIA E DE ESCOAMENTO DO AÇO CA-50.

Maria Clara de Oliveira Mota<sup>1</sup>, Filipe Lima dos Santos<sup>2</sup>

**Resumo:** O aço é um dos materiais mais utilizados na construção civil. Por esse motivo, é imprescindível a realização de pesquisas para a conhecer as propriedades desse material, para assim projetá-lo de maneira que consiga suportar as cargas diante das várias situações em que estará submetido. Com o intuito de analisar a influência da variação da velocidade de deformação, foram realizados ensaios de tração com o aço CA-50, de acordo com a norma da ASMT E8/E8M para testes de tensão com materiais metálicos. Segundo a bibliografia, a velocidade deveria exercer influência na resistência, de modo que quanto maior a velocidade maior sua resistência. Porém com as velocidades ensaiadas, essa influência não foi muito significativa.

**Palavras-chave:** Ensaios de Tração; Velocidade de deformação; Aço CA-50.

### 1. INTRODUÇÃO

Com aumento da exigência do mercado da construção civil quanto ao padrão de qualidade dos produtos, os estudos relacionados às propriedades dos materiais estão se tornando indispensáveis. E cada projeto demanda características diferentes dependendo do objetivo a que se dispõe, cabe ao engenheiro encontrar o material que melhor se adequa de modo a garantir a qualidade e até o preço.

As propriedades mecânicas dos aços, comumente, são obtidas através de ensaios de tração, pois esse é um método fácil e barato. É um ensaio destrutivo, que consiste em aplicar uma carga crescente, alongando o material, geralmente, até a sua ruptura. Ao longo do ensaio, a máquina vai registrando continuamente os resultados e, ao final, exibe um os resultados em forma de gráfico. [1]

Entretanto, o comportamento dos materiais pode sofrer influência da temperatura, velocidade de solitação, nível de impurezas do material, entre outro. Entretanto essa influência pode ser desprezível ou não, vai depender das especificações do material que está em análise. [2]

De um modo geral, a velocidade de deformação (Muitas vezes chamada de velocidade de ensaio) afeta o escoamento e o limite de resistência máxima fazendo com que se observem tensões de escoamento mais altas, quanto maior for a velocidade de deformação. [3]

O presente trabalho de conclusão de curso se propõe a investigar se a velocidade de deslocamento realmente exerce alguma influência significativa sobre o limite de resistência à tração e o limite de escoamento. A análise será feita através de gráficos que serão obtidos a partir de uma comparação entre as especificações do material fornecida pelo fabricante e os resultados de ensaios de tração que serão realizados à diferentes velocidades.

### 2. DESENVOLVIMENTO

Nessa parte do artigo, será realizado um breve referencial teórico e uma explicação sobre a metodologia que será utilizada. Para finalizar, apresentará e analisará os resultados obtidos nos ensaios de tração.

#### 2.1. Referencial Teórica

O referencial contará com uma pequena fundamentação teórica sobre os aços (mais especificamente o aço estrutural CA-50), os ensaios à tração, sua importância e modo de utilização e as curvas tensão-deformação. E por último será abordado a influência da velocidade na resistência dos materiais.

##### 2.1.1. Aço

O Aço é uma liga metálica constituída, basicamente, por ferro, carbono e alguns elementos resultado do processo de fabricação, como silício, manganês, fósforo e enxofre. Sua produção se dá a partir do aquecimento do óxido de ferro na presença de carbono e alguns elementos secundários, que gera o ferro gusa. Esse processo tem com objetivo de reduzir o teor de oxigênio e consequentemente aumentar o de carbono. Após isto é feito uma nova fusão que dá origem ao ferro fundido, que será encaminhada a uma unidade siderúrgica chamada Aciaria, onde

será transformado em aço. Por fim ocorre a descarbonatação, de modo que o teor de carbono não chegue a mais de 2%. A variação na concentração de carbono e a presença de outras substâncias é o que concede diferentes propriedades ao material. [4]

O aço é muito empregado em diversas áreas, como a construção civil e a metalúrgica, devido a suas características únicas; como custo relativamente baixo, boa resistência, material reciclável, além de outras características. Aços estruturais são aqueles que devido a suas propriedades, são adequados para a utilização em elementos que suportam cargas. Os aços estruturais são os mais utilizados na construção civil, especificamente o aço CA-50. [4]

A sigla CA é a abreviação para concreto armado, que é uma estrutura de concreto que possui uma armadura de aço em seu interior. Enquanto o 50 está relacionado ao limite de escoamento que é 50kgf/mm<sup>2</sup> ou 500 MPa. De acordo com a norma da NBR 7480/2007, o aço CA são barras de aço adquiridas por laminação a quente com diâmetro nominal igual ou maior de 5 mm. A grande aplicação do aço CA-50 se dá por a sua versatilidade, resistência e, principalmente, grande aderência ao concreto. [5]

### 2.1.2. Ensaio a tração

Uma das formas mais utilizadas para se obter informações específicas sobre as propriedades mecânicas de um determinado material é o ensaio de tração. Esse teste consiste na aplicação de uma força uniaxial em um corpo de prova de modo a alongá-lo, geralmente até sua ruptura. Durante o ensaio, os dados sobre a variação de comprimento da amostra são registrados pela máquina. As especificações técnicas desse ensaio, como a velocidade de escoamento, dimensões e formato do corpo de prova, são padronizadas por norma, que para o caso dos materiais metálicos é a NBR 6152. [6]

A partir da correlação entre a carga aplicada e o alongamento restante, além dos valores de comprimento inicial e área de seção transversal, é possível encontrar dois parâmetros importantes para análise dos dados e obtenção dos gráficos: a tensão de engenharia e deformação de engenharia. A tensão de engenharia (S) pode ser encontrada dividindo força aplicada pela máquina pela área inicial de seção transversal da amostra:

$$S = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

A deformação de engenharia (e) pode ser encontrada dividindo a diferença entre o comprimento final e inicial da peça ou o alongamento resultante pelo comprimento inicial:

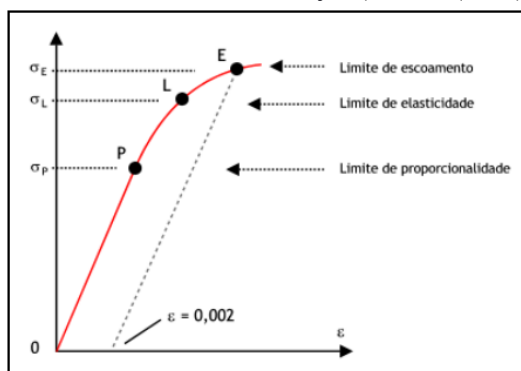
$$e = \frac{L_f - L_0}{L_0} \quad (2)$$

Com gráfico de tensão-deformação é possível determinar região elástica e plástica, da região de escoamento, do início do processo de ruptura e do ponto onde ocorreu a ruptura total do material. [2]

### 2.1.3. Gráfico tensão-deformação

Com base nos dados desse ensaio de tração é possível obter o diagrama de tensão-deformação. Na fase elástica, o gráfico é linear, o que significa que a deformação é proporcional a carga que foi aplicada, obedecendo a lei de Hooke. Nesse diagrama podemos identificar algumas características do material, estas são: limite de resistência à tração, limite de escoamento, limite de ruptura, entre outras. [1]

Gráfico 1: Tensão X Deformação (Pacioni (2007))



As deformações que o corpo de prova pode sofrer são elásticas e plásticas. As deformações elásticas são aquelas em que após retirada a carga, o corpo permanece com as dimensões idênticas as iniciais, ou seja, não houve

deformação permanente. Porém, após uma determinada tensão, as deformações sofridas pelo corpo de prova começam a ser irreversíveis, ou seja, mesmo depois da retirada do esforço, as dimensões do material não retornam a sua forma original. [6]

As deformações plásticas uniformes são aquelas que ocorrem na mesma intensidade em todo o corpo de prova. Já as deformações plásticas não-uniformes, toda a tensão é aplicada em apenas uma parte da amostra, nesse local que posteriormente irá ocorrer a fratura. [2]

O limite de Proporcionalidade é o limite que a amostra pode atingir mantendo-se na região elástica do gráfico limite de elasticidade, ou seja, é a tensão máxima que a amostra consegue suportar conservando sua deformação proporcional. Nessa parte, o gráfico é linear, e o seu gradiente é igual ao módulo de elasticidade. [2]

Entretanto, o limite de escoamento que é a tensão mais utilizada para determinar o final da zona de elasticidade, início da zona de plasticidade. O escoamento pode ser definido como um ponto no gráfico que causa um grande alongamento na estrutura mesmo que os esforços aplicados permaneçam constantes. Em caso de haver dificuldade em identificar esse ponto na curva de tensão-deformação, pode-se utilizar o método *Offset*. Esse método consiste em traçar uma linha reta no gráfico, paralela à linha elástica com uma distância de 0,2% ou 0,002 do seu comprimento inicial. [7]

Após o escoamento, a tensão aumenta até o limite de resistência à tração, que é o ponto que ocorre a tensão máxima que determinado material pode suportar. É o local que o corpo estará suportando a maior escorço. Logo depois desse ponto começa a fase de ruptura, que é o ponto em que a área de seção transversal é reduzida no local onde vai ocorrer a fratura. [1]

#### 2.1.4. Velocidade de ensaio

Além das propriedades dos materiais, também é importante analisar como elas se comportam diante de interferência de diversas variáveis existentes no meio. Fatores, como temperatura, velocidade de deformação, tamanho do grão, porcentagem de impurezas e condições ambientes, podem afetar substancialmente os resultados do gráfico tensão-deformação, de modo a afetar, também as propriedades do material. [3]

Segundo a Norma da ASMT E8/E8M para testes de tensão com materiais metálicos, alguns materiais podem ser bastante afetados pela velocidade de ensaio. Em geral, variações expressivas durante o ensaio de tração podem ser identificadas. A velocidade do teste pode afetar os valores devido à sensibilidade da taxa dos materiais e aos efeitos de temperatura e tempo.

A velocidade de deformação pode ter uma influência significativa sobre a tensão plástica e o limite de escoamento do material. Nota-se uma considerável dependência entre a taxa de deformação aplicada e a resistência. Quanto maior é a taxa de deformação aplicada nesse corpo maior será a resistência mecânica do mesmo. [9]

## 2.2. Materiais e métodos

A Metodologia utilizada nesse artigo foi um estudo de caso, além de uma pesquisa experimental e bibliográfica. É uma pesquisa considerada exploratória e descritiva, com abordagem quantitativa. [10]

#### 2.2.1. Corpo de prova

O material utilizado como corpo de prova desse trabalho foram vergalhões de aço baixo carbono comercial CA-50 com bigorna de 8 mm. Composição química apresentada na Tabela 1.

Tabela 1- Composição química do Aço CA-50. (Autoria própria)

| C (%) | Mn (%) | Cr (%) | Mo (%) | Ni (%) | Cu (%) | Fe (%) | Ceq (%) |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 0,28  | 0,54   | 0,07   | 0,01   | 0,08   | 0,25   | bal    | 0,45    |

Foi usado um corpo de prova padronizado pela NBR, com um comprimento proporcional à área de seção transversal. Os corpos de prova, com base na norma, não precisaram ser usinados, por se tratar de vergalhões de aço.

O comprimento de medida original ( $L_0$ ):

$$L_0 = K\sqrt{A_0} \quad (3)$$

em que K é internacionalmente adotado como 5,65 e  $A_0$  é a área de seção transversal

O comprimento da garra de fixação do dispositivo adotado foi de 45 mm. Sendo assim o comprimento total da peça utilizado foi de 130 mm (Figura 1).



Figura 1- Dimensões do corpo de prova (Autoria própria).

#### 2.2.2. Máquina de tração

Os ensaios de tração foram realizados no laboratório de ensaios mecânicos da UFERSA, usando a máquina da marca EMIC, da linha DL (Figura 2).



Figura 2- Máquina de ensaio de tração. (Autoria própria)

A máquina de tração é hidráulica, possui um pistão de alta pressão, que proporciona o controle da estrutura através de um software. Possui uma célula de carga instalada na Estrutura de 2000 kN e um extensômetro eletrônico (EE08 ou EE12), que ajudam na medição e na obtenção dos dados do ensaio.

### 2.2.3. Velocidade do teste

As velocidades de ensaio utilizadas foram escolhidas através de um ensaio prévio com 6 velocidades diferentes (5 mm/min, 10 mm/min, 15 mm/min, 20 mm/min, 25 mm/min, 30 mm/min), para assim escolher as velocidades que melhor se adaptam ao projeto.

### 2.2.4. Procedimento

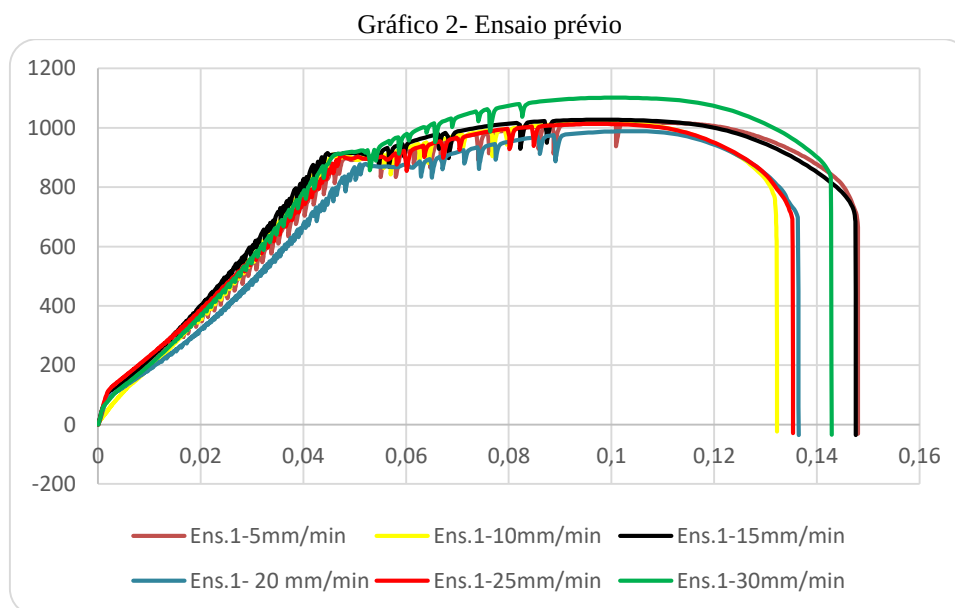
Foram ensaiados 21 corpos de prova com diâmetro nominal iguais 8 mm a temperatura ambiente (25°), 6 amostras para o ensaio prévio para escolher as velocidades de ensaio e 5 amostras para cada uma das 3 diferentes velocidades de ensaio (totalizando 15 amostras).

O corpo de prova foi colocado adequadamente na máquina, com 45 mm preso em cada uma das garras de fixação do dispositivo de testes. No software foi definido o método de ensaio, as dimensões das amostras, as velocidades de cada ensaio, entre outros. A máquina começou a alongar o corpo de prova a uma taxa constante e as medidas de carga instantânea aplicada (com uma célula de carga) e de alongamentos resultantes (extensômetro) foram, contínua e simultaneamente, armazenadas pelo software.

Os gráficos devem ser feitos com as tensões e deformações da engenharia. Para isso os dados encontrados pelo software foram colocados no Excel e ao lado deles as equações, de modo a encontrar as incógnitas necessárias.

## 2.3. Resultados e discussões

O Gráfico 2 mostra os resultados obtidos no ensaio prévio. Com base nele, foram escolhidas 3 velocidades diferente, 5 mm/min, 20 mm/min e 30 mm/min, pois foram as velocidades em que ocorreu maior variação nos parâmetros analisados.



Os gráficos 3, 4 e 5 representam os resultados do ensaio de tração de acordo com as três velocidades usados nesse trabalho, respectivamente, 5 mm/min, 20 mm/min e 30 mm/min. Apesar de terem sido feitas cinco ensaios para cada uma das velocidades, os resultados do gráfico 3 e 5 só possuem quatro resultados, pois durante os ensaios, ocorreram erros. No primeiro, a máquina parou no ensaio na metade e no segundo, a máquina forneceu resultado errado.

Gráfico 3- Ensaio com velocidade de 5 mm/min.

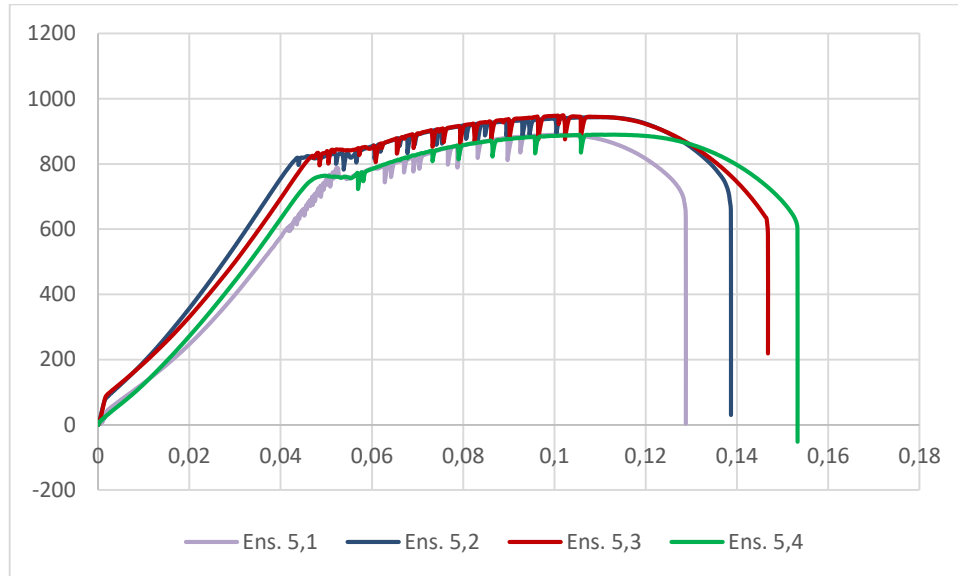


Gráfico 4- Ensaio com velocidade de 20 mm/min.

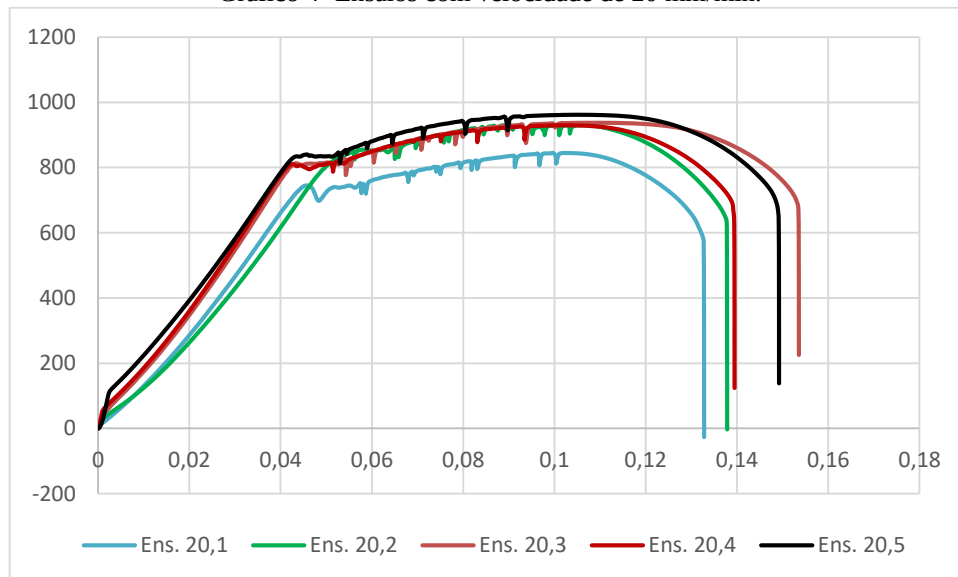
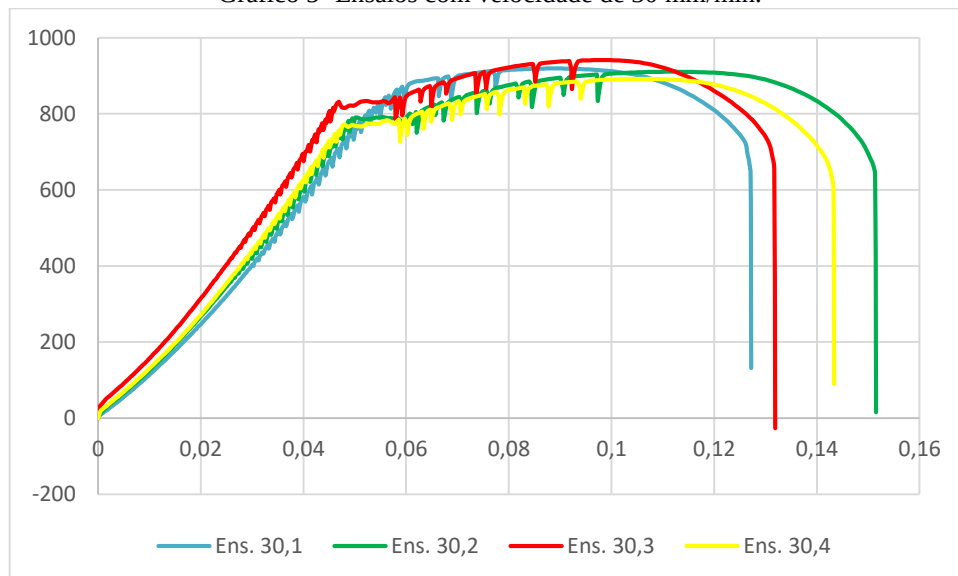


Gráfico 5- Ensaio com velocidade de 30 mm/min.



Os dados obtidos experimentalmente para os para tensão máxima, estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2- Resultados das Tensões máximas.  
(Autoria própria)

| <b>Velocidade</b> | <b>Corpo de prova</b> | <b>Tensão máxima (MPa)</b> |
|-------------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>5 mm/min</b>   | 1                     | 889,736                    |
|                   | 2                     | 943,172                    |
|                   | 3                     | 943,967                    |
|                   | 4                     | 889,815                    |
|                   | Média                 | 917,673                    |
|                   | Desvio P.             | 32,272                     |
| <b>20 mm/min</b>  | 1                     | 844,40                     |
|                   | 2                     | 930,10                     |
|                   | 3                     | 937,78                     |
|                   | 4                     | 929,15                     |
|                   | 5                     | 961,73                     |
|                   | Média                 | 920,63                     |
|                   | Desvio P.             | 44,602                     |
| <b>30 mm/min</b>  | 1                     | 919,08                     |
|                   | 2                     | 910,57                     |
|                   | 3                     | 940,98                     |
|                   | 4                     | 891,73                     |
|                   | Média                 | 915,59                     |
|                   | Desvio P.             | 20,427                     |

Os resultados obtidos para os para tensão de escoamento e deformação escoamento, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Resultados do limite de escoamento.  
(Autoria própria)

| <b>Velocidade</b> | <b>Corpo de prova</b> | <b>Tensão de escoamento (MPa)</b> | <b>Deformação escoamento (mm)</b> |
|-------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>5 mm/min</b>   | 1                     | 774,33                            | 0,0527                            |
|                   | 2                     | 815,95                            | 0,0442                            |
|                   | 3                     | 824,66                            | 0,0470                            |
|                   | 4                     | 745,04                            | 0,0463                            |
|                   | Média                 | 790,00                            | 0,0476                            |
|                   | Desvio P.             | 37,156                            | 0,00363                           |
| <b>20 mm/min</b>  | 1                     | 736,09                            | 0,0469                            |
|                   | 2                     | 818,19                            | 0,5280                            |
|                   | 3                     | 809,94                            | 0,0441                            |
|                   | 4                     | 805,12                            | 0,0433                            |
|                   | 5                     | 831,72                            | 0,0429                            |
|                   | Média                 | 800,21                            | 0,0460                            |
|                   | Desvio P.             | 37,237                            | 0,00411                           |
| <b>30 mm/min</b>  | 1                     | 814,93                            | 0,0478                            |
|                   | 2                     | 786,00                            | 0,0511                            |
|                   | 3                     | 814,93                            | 0,0478                            |
|                   | 4                     | 767,09                            | 0,0487                            |
|                   | Média                 | 795,74                            | 0,0489                            |
|                   |                       | 23,468                            | 0,00156                           |

Os resultados obtidos para os para tensão e deformação de ruptura, são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4- Resultados do limite de ruptura.  
(Autoria própria)

| Velocidade | Corpo de prova | Tensão de ruptura (MPa) | Deformação ruptura (mm) |
|------------|----------------|-------------------------|-------------------------|
| 5 mm/min   | 1              | 681,76                  | 0,128                   |
|            | 2              | 678,89                  | 0,138                   |
|            | 3              | 631,43                  | 0,146                   |
|            | 4              | 605,27                  | 0,153                   |
|            | Média          | 649,34                  | 0,141                   |
|            | Desvio P.      | 37,359                  | 0,0107                  |
| 20 mm/min  | 1              | 573,34                  | 0,133                   |
|            | 2              | 635,53                  | 0,138                   |
|            | 3              | 680,03                  | 0,153                   |
|            | 4              | 683,10                  | 0,139                   |
|            | 5              | 668,05                  | 0,149                   |
|            | Média          | 648,01                  | 0,142                   |
|            | Desvio P.      | 45,797                  | 0,0083                  |
| 30 mm/min  | 1              | 660,69                  | 0,127                   |
|            | 2              | 656,59                  | 0,151                   |
|            | 3              | 676,91                  | 0,132                   |
|            | 4              | 616,19                  | 0,143                   |
|            | Média          | 652,60                  | 0,138                   |
|            | Desvio P.      | 25,807                  | 0,0108                  |

A partir da comparação das médias dos ensaios, é possível perceber que há uma certa variação nas tensões do aço. Porém essa variação nas médias foi bastante pequena, menos de 1% em todas as tensões analisadas. Com relação as deformações, a variação também foi muito insignificante.

Os resultados dos ensaios de Lemos (2013) para o Aço SAE 4340 com velocidades pequenas, também mostraram-se muito inexpressíveis. Porém com velocidades maiores, com 100 mm/min e 500 mm/min, as diferenças quase chegaram á 10%. Segundo ele, a tensão de escoamento e a resistência máxima são diretamente proporcionais à velocidade de ensaio, o que significa que quanto maior for a velocidade, maior será sua resistência.

### 3. CONCLUSÃO

O objetivo desse artigo era analisar a influência da velocidade de ensaio sobre a resistência mecânica e, consequentemente, obter uma variação nos resultados de tensão para diferentes velocidades. Entretanto, com as velocidades ensaiadas de 5 mm/min, 20 mm/min e 30 mm/min, essa influência foi muito pequena ou inexistente.

Porém, a bibliografia afirma que a taxa de deformação pode exercer significativa alteração na resistência do Aço e consequentemente, em suas características. E que a resistência a tração é proporcional a velocidade de ensaio utilizada.

Para trabalhos futuros, sugere-se um estudo do aço com velocidades maiores, como 100 mm/min ou maiores. Bem como a utilização de outros materiais, no estudo sobre a influência da velocidade de deformação.

### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CALLISTER, William D. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, c2008. 705 p
- [2] LOPES, N.C. Influência da temperatura e da velocidade de deslocamento no ensaio de compressão de liga de alumínio AA6004. São Bernardo do Campo, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso- Centro Universitário da Fundação Educacional Inaciana.
- [3] LEMOS, G. V. B. et al. O efeito da velocidade de deformação no ensaio de tração em um aço SAE 4340. 2013.
- [4] FERRAZ, H. O Aço na Construção Civil. São Paulo, 2003. Revista eletrônica de Ciências.
- [5] COSTA E SILVA, A.J. Avaliação da resistência à tração de barras de aço ca-50 expostas à região litorânea. Paraná, 2017. Revista Técnico-Científica do CREA-PR - ISSN 2358-5420 – Ed. Especial – Setembro de 2017.
- [6] PACIONI, T.R. Relatório de ensaio de tração com materiais poliméricos. Campinas, 2007. Trabalho 1º semestre de 2007. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- [7] FILHO, F.H.V. Influência da Taxa de Deformação sobre as Propriedades Mecânicas de Aços Estruturais CA-50. Fortaleza, 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Ceará (UFC).
- [8] ASMT E8/EM8. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.



- 
- [9] PIMENTEL, L.S JUNIOR, A.L.S.A. Análise experimental do comportamento mecânico do polipropileno em ensaio de tração uniaxial. Niterói, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Fluminense.
- [10] BRASILEIRO, A. M. M. Manual de Produção de Textos Acadêmicos e Científicos. Editora Atlas S.A., São Paulo, 2012.