



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA – CT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL – DECA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

BRUNA DANIELE FILGUEIRA DE SOUSA

**REOLOGIA DE PASTAS CIMENTÍCIAS CONTENDO MICROSSÍLICA E
SUPERPLASTIFICANTE UTILIZANDO ENSAIO DE FLUXO.**

JOÃO PESSOA – PARAIBA

2016

BRUNA DANIELE FILGUEIRA DE SOUSA

**REOLOGIA DE PASTAS CIMENTÍCIAS CONTENDO MICROSSÍLICA E
SUPERPLASTIFICANTE UTILIZANDO ENSAIO DE FLUXO.**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à Coordenação do Curso de
Engenharia Civil da Universidade Federal da
Paraíba, como um dos requisitos para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Givanildo Alves de
Azeredo.

JOÃO PESSOA – PARAIBA

2016

S528a Sousa, Bruna Daniele Filgueira de Sousa
Reologia de pastas cimentícias contendo microsilica e
superplastificante utilizando ensaio de fluxo. / Bruna Daniele Filgueira
de Sousa - João Pessoa: UFPB, 2016.

80fl. il.:

Orientador: Prof. Dr. Givanildo Alves de Azeredo

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) Centro de
Tecnologia / Campos I / Universidade Federal da Paraíba.

1. Reologia 2. Pastas cimentícias 3. Superplastificante 4. Microsilica
5. Viscosidade I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.d. 62:658


(043)

FOLHA DE APROVAÇÃO

BRUNA DANIELE FILGUEIRA DE SOUSA

**REOLOGIA DE PASTAS CIMENTÍCIAS CONTENDO MICROSSÍLICA E
SUPERPLASTIFICANTE UTILIZANDO ENSAIO DE FLUXO.**

Trabalho de Conclusão de Curso em 17/ 06/ 2016 perante a seguinte Comissão
Julgadora:



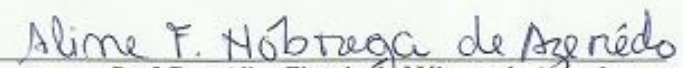
Prof. Dr. Givanildo de Alves Azeredo
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do
CT/UFPB

APROVADO




Prof. Dr. Enildo Tales Ferreira
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do
CT/UFPB

APROVADO



Prof. Dra. Aline Figueiredo Nóbrega de Azeredo
Instituto Federal da Paraíba - Edificações

APROVADO



Prof. Dra. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ser força e proteção durante toda a caminhada, dando a mim muito mais que o merecido, ensinando-me na humildade a reconhecer os erros, na gratidão a ofertar toda e qualquer vitória alcançada, na obediência a perseverar.

À Virgem Maria, por interceder incessantemente por minhas conquistas junto ao Pai, permanecer ao meu lado durante todas as noites não dormidas, transmitir-me coragem e força no olhar, com o amor que só uma mãe é capaz de irradiar.

Ao professor Doutor Givanildo Alves de Azeredo por todos os ensinamentos, apoio, confiança e disponibilidade, por agraciar-me com a oportunidade de adentrar nos caminhos da pesquisa da tecnologia dos materiais e me incentivar a enfrentar novos desafios.

Aos meus pais, Maria Inês Filgueira de Sousa e Carlos Alberto de Sousa Lima, meu irmão, Carlos Diego Filgueira de Sousa, meus avós, Cândida Filgueira Faustino, Maria de Lourdes Sousa Lima e Severino Ramos de Lima, por pacientemente e amorosamente acreditarem em meu potencial, sobretudo nos momentos em que eu mesma deixei de acreditar, por todos os ensinamentos transmitidos responsáveis pela formação do meu caráter permitindo-me seguir por um caminho idôneo o qual muito me orgulha.

Aos meus entes queridos Manoel Faustino, Cione Barbosa Faustino, Amanda Keylla, Kelly Sonally, Rayanne Bezerra, Francinai Barbosa, Laudecir Gomes e Laura Maria, por toda a estima e consideração, pela incansável torcida e alegria a cada conquista minha obtida.

À minha amiga Vanessa Silva, por todo apoio, carinho, amizade e por ser a minha mais convicta certeza de companheirismo nos momentos incertos.

À Dr. Cléber de Oliveira por ser um exímio exemplo de liderança e acreditar em meu potencial, a quem possuo grande estima e admiração.

À toda equipe do SindusconJP, por me proporcionarem tantas alegrias diárias, por todo companheirismo e apoio.

Ao Sr. Orlando Francelino que pacientemente me proporcionou a oportunidade de aprender na prática, o que estudei na teoria.

Ao EJC, família que acolheu meu coração, meus sonhos, alegrias e angústias independentemente da ausência de consanguinidade.

Ao Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB, pela disponibilidade dos equipamentos necessários para que a pesquisa deste trabalho fosse realizada.

À todos os docentes do curso de Engenharia Civil, pelos conhecimentos transmitidos.

RESUMO

A pasta de cimento pode ser considerada como a soma dos materiais mais importantes na composição de concretos, argamassas e fibrocimento, sua dosagem pode variar em função do fator água-cimento, assim como do acréscimo ou não de aditivos químicos ou minerais. Devido às questões ambientais, econômicas e estruturais cada vez mais se busca novas alternativas de materiais que possam suprir às necessidades hodiernas das construções que se tornam cada dia mais ousadas e em virtude disto superplastificantes e aditivos minerais como a microsílca, estão sendo amplamente utilizados influenciando diretamente nas propriedades reológicas do material e conseqüentemente em seu desempenho. Sendo assim, o presente trabalho realiza ensaios de caracterização das propriedades reológicas de pastas de cimento com adição de sílica e superplastificantes, utilizando ensaios de fluxo com reômetro rotacional de placas paralelas. Além da observância do comportamento reológico das pastas como fluido binghamiano, e da evolução da viscosidade aparente com o tempo, foi realizada análise referente ao comportamento das propriedades reológicas em função da variação dos fatores. Foi efetuada análise de variância (ANOVA), com o objetivo de averiguar se a diferença das respostas obtidas ocorreu devido ao acaso ou de fato pelas alterações das quantidades de microsílca, água de amassamento e teor de superplastificante, considerando um índice de confiança de 95%. As curvas de fluxo e de viscosidade obtidas através dos ensaios apontam para o comportamento das pastas como fluido binghamiano. As pastas compostas por cimento tipo CPV – ARI apresentaram tensão de escoamento e viscosidade superior implicando uma menor fluidez, quando relacionados aos parâmetros obtidos para o cimento CP II-Z. As superfícies de resposta foram elaboradas com o auxílio de *software* de tratamento estatístico de dados e descrevem o comportamento dos parâmetros reológicos em função da variação de seus fatores.

ABSTRACT

The cement paste may be considered as the sum of the most important materials in the concrete composition, mortar and fiber cement. In addition, its dosage may vary according to the water-cement factor as well as the addition or not of chemical or mineral additives. Due to environmental, economic and structural issues are increasingly looking for new alternative materials that can supply today's needs of buildings becoming even bolder and because of this superplasticizers and mineral additives such as microsilica, are being widely used influencing directly on the rheological properties of the material and consequently its performance. Therefore, this paper performs the characterization test of rheological properties of cement pastes by adding silica and superplasticizers using assays flow with parallel plate rheometer. Thus, the compliance with the rheologic behavior of the pastes with Bingham fluid, and the evolution in apparent viscosity with time, analysis was performed concerning the behavior of rheological properties due to the variation of the factors. Next, it was performed analysis of variance (ANOVA), in order to ascertain whether the difference of the replies has occurred due by chance or in fact the amount changes of microsilica, kneading water and superplasticizer content by considering a confidence index of 95%. The flow and viscosity curves obtained through the tests point to the behavior of the folders as Bingham fluid. The pastes composed of cement type CPV - ARI showed yield stress and higher viscosity implying a lower fluidity when related to the parameters obtained for the cement CP II-Z. The response surfaces were prepared with the help of statistical data processing software and describe the behavior of rheological parameters due to the variation of its factors.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
2.1 REOLOGIA	8
2.1.1 Principais conceitos teóricos.....	8
2.2 COMPORTAMENTO REOLÓGICO DOS FLUIDOS	11
2.2.1 Fluidos Newtonianos	12
2.2.2 Fluidos não-newtonianos	12
2.2.3 Fluidos Viscoelásticos	14
2.3 REOLOGIA DE PASTAS CIMENTÍCIAS	14
2.3.1 Cimento Portland	16
2.3.2 Superplastificante.....	17
2.3.3 Microsílica.....	18
2.4 RÊOMETRO ROTACIONAL DE PLACAS PARALELAS E ENSAIO DE FLUXO	19
3 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E METODOLOGIA	20
3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	20
3.2 METODOLOGIA	21
3.2.1 Planejamento Experimental	21
3.2.2 Execução dos Ensaio.....	22
3.2.3 Análise de Variância	24
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.1 ELABORAÇÃO E ANÁLISE DE CURVAS DE FLUXO E DE VISCOSIDADE	25
4.2 ESTUDO DE COMPORTAMENTO UTILIZANDO FITAS DISTINTAS	28
4.3 ANÁLISE DE VARIÂNCIA - ANOVA	30
4.3.1 Análise de Variância para Pastas CP II-Z	32
4.3.1 Análise de Variância para Pastas CP V- ARI.....	33
4.4 ESTUDO DO COMPORTAMENTO DAS PASTAS DE CIMENTO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DE SEUS FATORES	35
4.4.1 Variação da Viscosidade	35
4.4.2 Variação da Tensão de Escoamento	38
5.0 CONCLUSÕES	41

1 INTRODUÇÃO

A reologia consiste no estudo do escoamento e da deformação de determinado material. Trata-se de uma ciência amplamente utilizada na caracterização de diversos materiais da indústria alimentícia, química, entre outras já a algum tempo, mas relativamente recente no estudo de materiais à base de cimento.

A pasta de cimento pode ser considerada como a soma dos materiais mais importantes na composição de concretos, argamassas e fibrocimento. A princípio, subproduto da mistura de água e cimento, comporta-se como um líquido viscoso não homogêneo. Sua dosagem, que pode variar em função do fator água-cimento, assim como do acréscimo ou não de aditivos e/ou adições, reflete diretamente em seu comportamento e conseqüentemente nas propriedades do produto em que é aplicado. Sendo assim, irrefutável a necessidade e importância do estudo da reologia das pastas cimentícias.

Este trabalho tem por objetivo contribuir para o avanço da tecnologia de materiais à base de cimento, através da caracterização de parâmetros reológicos de pastas cimentícias com diferentes dosagens através do ensaio de fluxo utilizando reômetro rotacional de placas paralelas, analisando a influência da incorporação de aditivos e adições em seu comportamento, assim como a variação do comportamento reológico de acordo com o tipo de cimento empregado.

O respectivo trabalho de conclusão de curso está apresentado em um total de cinco capítulos:

O primeiro capítulo se refere ao capítulo introdutório onde são apresentados de forma genérica a importância e objetivo dos estudos e análises realizadas.

O segundo capítulo aborda toda a revisão bibliográfica necessária para a elaboração deste trabalho. Dividido em quatro subseções faz alusão aos princípios básicos da reologia, comportamento reológico de fluidos, reologia de pastas de cimento, reômetros utilizados e ensaio de fluxo.

Os materiais, equipamentos e metodologias utilizadas foram apresentadas no capítulo três.

Resultados e discussões obtidos após a realização da pesquisa estão explanados no capítulo quatro.

As considerações finais, conclusão e sugestões para estudos futuros estão expostos no capítulo cinco.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 REOLOGIA

Durante os séculos XVII e XVIII, Hooke e Newton foram os primeiros a estudarem a relação tensão-deformação dos materiais, dando início aos estudos de propriedades reológicas dos materiais. No entanto, apenas por volta de 1929 o termo “reologia” começou a ser empregado, criado por Eugene Bingham, deriva do grego “rheo” que significa “fluir” (TANNER, 2000).

A reologia é definida como a ciência que estuda a deformação e o fluxo dos materiais. (1929, BINGHAM, apud TANNER, 2000). É importante entender a definição do termo “fluxo” de forma diferente ao entendimento sobre “movimento”. Pode-se dizer que um fluido está em fluxo quando há um movimento relativo entre os elementos adjacentes de um líquido, este fluxo pode ser de cisalhamento ou extensional (BARNES, 2000).

Schramm (2006), atribui à reologia a capacidade de descrever a deformação de um corpo sob a influência de tensões.

De acordo com Marinch & Pessan (1987, apud CASTRO, 2007), o intuito da reologia é prever a força que necessita ser aplicada ao corpo para que este escoe ou sofra deformação e, de maneira análoga prever a deformação ou o escoamento decorrente da aplicação de um sistema de forças já definido.

Segundo Tanner (2000), a reologia correlaciona conhecimentos já obtidos das microestruturas dos materiais aos existentes na mecânica dos corpos contínuos, os principais conceitos teóricos que estão diretamente relacionados à reologia, são:

1. Cinemática: no tocante a geometria de deformação e fluxo.
2. Leis da conservação: referente às forças, deformações e trocas de energia.
3. Relações constitutivas dos materiais: possibilita relacionar as tensões e deformações com o comportamento de escoamento, podendo assim os conhecimentos serem aplicados para a solução de problemas da engenharia.

2.1.1 Principais conceitos teóricos

2.1.1.1 Tensão de Cisalhamento, Deformação e Taxa de Cisalhamento

Malkin & Isayev (2012), definem tensão como sendo a medida de forças relativas a unidade de área que atuam em um ponto, consideram ainda que a tensão depende da direção da

força aplicada e da orientação da superfície a qual as forças atuam. De acordo com a orientação, podem ser perpendiculares ou tangenciais ao plano no qual as forças são aplicadas, respectivamente chamadas tensões normais ou de cisalhamento. O movimento dos materiais fluidos é baseado no deslizamento de camadas vizinhas entre si, desta forma o estudo reológico de líquidos está intimamente relacionado à tensão de cisalhamento.

Fox, Mc Donald & Pritchard (2006), relacionam a origem das tensões em um fluido com a decorrência do escoamento viscoso.

Bretas & D'Ávila (2000, apud Castro 2007), associam a deformação, a partir de uma análise física, à mudança de posições relativas das partes de um corpo.

O movimento de um corpo é determinado pelo vetor velocidade que atua sobre ele, sendo assim quando a velocidade em todos os pontos sobre um mesmo corpo é a mesma, há apenas o movimento deste como um todo e não é identificada ocorrência de deformação. A deformação ocorre mediante o aparecimento de um gradiente de velocidade em um ponto específico, implicando na movimentação de dois corpos infinitesimalmente próximos com velocidades distintas (MALKIN & ISAYEV, 2012).

Van Wazer *et al.* (1966, apud Castro 2007), classifica a deformação em dois tipos: elástica ou deformação espontaneamente reversível e escoamento ou deformação irreversível.

Os corpos sejam estes sólidos, líquidos ou gasosos podem ser divididos em ideais e reais. Líquidos e gases ideais apresentam deformação irreversível, no entanto os sólidos ideais sofrem deformações elásticas as quais o corpo volta ao seu estado inicial no instante em que o carregamento é removido.. Os líquidos reais em sua grande maioria apresentam comportamento viscoso e elástico, disto deriva o termo 'viscoelástico', também podem ser deformados irreversivelmente quando estão sujeitos à ação de um campo de forças com intensidade suficiente. Assim sendo, sólidos são elasticamente deformados e os líquidos fluem (escoam) (SCRAHMM, 2006).

Castro (2007), menciona que a deformação elástica pode ser definida de maneira elementar como uma deformação relativa, já a deformação viscosa é expressa através da mudança na velocidade de escoamento, a taxa de cisalhamento.

Considerando um líquido entre duas placas paralelas entre si, sendo a placa inferior estacionária e a superior movendo-se com velocidade constante é possível fazer duas observações importantes para o entendimento do conceito de taxa de cisalhamento:

- a) A velocidade máxima do fluido encontra-se na camada superior do fluido que está em contato com a placa que se move e diminui gradativamente até o encontro com a placa estacionária. Desta forma, quando altura (dy) da lâmina do fluido é máxima

a velocidade (dv) é máxima, quando a altura (dy) da lâmina do fluido é mínima a velocidade (dv) é igual a zero.

- b) A deformação ($d\alpha$) acontece em determinado tempo (dt), a partir da razão destes dois parâmetros, tem-se a taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$). Como a deformação é considerada muito pequena, é possível igualar $\tan\alpha = \alpha$, obtém-se assim: $\frac{d\alpha}{dt} = \dot{\gamma} = \frac{dv}{dy}$. (FOX; MC DONALD; PRITCHARD, 2006)

É importante salientar que em alguns casos, determinados materiais só iniciam seu escoamento quando a tensão aplicada atinge uma intensidade específica, esta tensão recebe a denominação de tensão de escoamento (OLIVEIRA, 2013).

2.1.1.2 Viscosidade

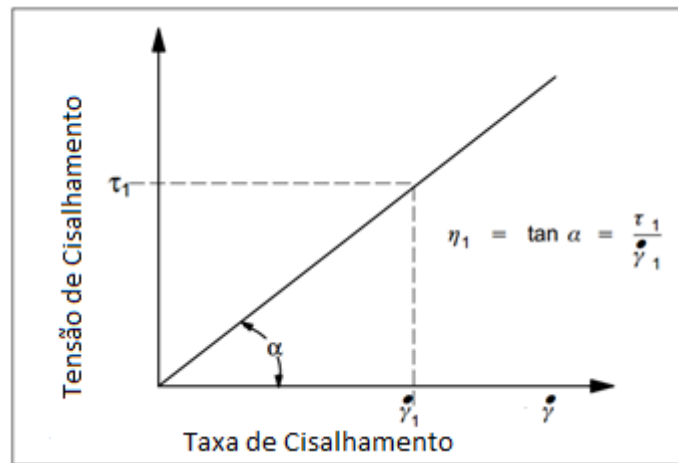
Antes da determinação da viscosidade como uma propriedade mensurável de um material, já existia um reconhecimento comum de que fluidos podem ser viscosos. O termo viscoso, deriva de *viscum*, que significa material gelatinoso (BARNES, 2000).

Schramm (2006), define viscosidade como sendo a capacidade que um fluido possui de resistir a qualquer mudança irreversível de seus elementos e considera ainda que esta propriedade é função de outros seis parâmetros independentes como temperatura, natureza físico-química da substância, pressão, tempo, campo elétrico e taxa de cisalhamento.

Tattersal (1991, apud Castro 2007), afirma que o termo “viscosidade” pode ser utilizado qualitativamente para demonstrar a propriedade que o fluido possui de resistir à deformação com o aumento da taxa de cisalhamento, de modo similar ao termo “consistência”. Desta forma, materiais com elevada viscosidade fluem lentamente e, conseqüentemente os fluidos com menor viscosidade fluem rapidamente.

A partir da lei básica da viscosimetria, formulada por Isaac Newton, é possível denominar a viscosidade dinâmica como sendo a razão entre tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento. A determinação quantitativa da viscosidade dinâmica dá-se a partir da inclinação da curva de fluxo, obtida através do gráfico que relaciona tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento, conforme a figura 01. (SCHRAMM, 2006). Em curvas de fluxo não lineares, a viscosidade varia em função da taxa de cisalhamento ou da tensão de cisalhamento deixando de ser uma constante e passa a ser denominada viscosidade aparente, é obtida a partir de uma reta que liga um ponto particular da respectiva curva com a origem (VAN WAZER et. al 1996, apud, CASTRO 2007).

Figura 1- Curva de Fluxo de um fluido Newtoniano

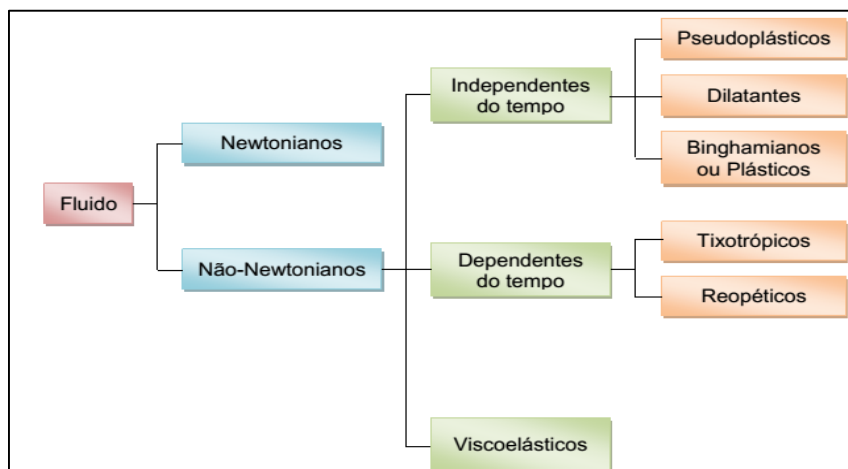


Fonte: SCHRAMM (2006)

2.2 COMPORTAMENTO REOLÓGICO DOS FLUIDOS

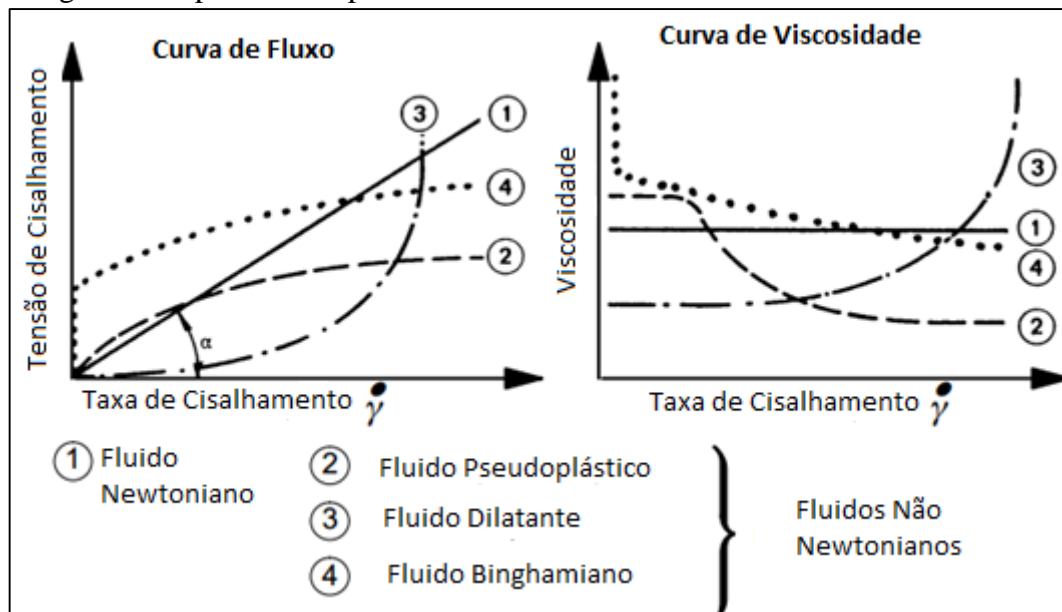
Os fluidos podem ter seu comportamento caracterizado através de sua curva de fluxo, determinada pela relação da tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento. Em função disto, Oliveira (2013), classificou-os de acordo com o organograma representado na figura 02. As curvas de fluxo que caracterizam os fluidos estão representadas na figura 03.

Figura 2 - Classificação dos fluidos segundo seu comportamento reológico



Fonte: OLIVEIRA, 2013

Figura 3 - Tipos de Comportamento de fluxo



Fonte: SCHRAMM (2006)

2.2.1 Fluidos Newtonianos

Os fluidos que obedecem às propriedades de fluxo descritas na hipótese formulada por Newton, são denominados newtonianos. De forma geral, estas propriedades são expressas através da equação que relaciona tensão de cisalhamento (T) com a taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$) e a viscosidade do fluido (μ) que neste caso, atua como uma constante de proporcionalidade, denominada de viscosidade absoluta.

$$\tau = \mu \cdot \dot{\gamma}$$

A equação de Newton, sugere que a viscosidade não varia com a mudança da taxa de cisalhamento, assim a caracterização experimental de fluidos newtonianos pode ser realizada por meio de ensaios que medem apenas um parâmetro reológico. Desta forma, a representação gráfica da curva de fluxo de um fluido newtoniano é uma linha reta inclinada com um ângulo de 45° que toca na origem (FOX, MC DONALD & PRITCHARD, 2006); (MALKIN & ISAYEV, 2012); (SCHRAMM, 2006).

2.2.2 Fluidos não-newtonianos

Fluidos não newtonianos são todos aqueles que não possuem a taxa de cisalhamento proporcional a tensão de cisalhamento, em geral são divididos em dependentes e independentes

do tempo. Os fluidos dependentes do tempo são aqueles que quando submetidos a taxa de cisalhamento e tensão constante apresentam variação da viscosidade, são divididos em tixotrópicos e reopéticos. Os fluidos não newtonianos que possuem um comportamento independente do tempo não apresentam variações temporais de viscosidade sob tensões ou taxas de cisalhamento constantes, são classificados em fluidos pseudoplásticos, fluidos binghamianos e fluidos dilatantes (FOX, MC DONALD & PRITCHARD, 2006); (MALKIN & ISAYEV, 2012); (OLIVEIRA, 2013).

2.2.2.1 Fluidos Pseudoplásticos

Fluidos pseudoplásticos apresentam uma relação inversamente proporcional entre a viscosidade e a tensão de escoamento, à medida que há o aumento da taxa de cisalhamento o fluido sofre uma diminuição de sua viscosidade.

Em geral, no caso de líquidos provenientes de dispersões, quando em repouso mantém suas partículas entrelaçadas de forma irregular, apresentando viscosidade elevada. O aumento da taxa de cisalhamento faz com que as partículas rígidas sejam encaminhadas na direção do fluxo, ou ainda podem ter suas ligações internas rompidas, contribuindo para o escoamento rápido do material [OLIVEIRA (2013); SCHRAMM (2006)].

2.2.2.2 Fluidos Binghamianos ou Plásticos

Os fluidos plásticos se comportam como sólido e quando submetidos a forças externas deformam elasticamente, até que uma tensão de cisalhamento específica seja ultrapassada a partir da qual o material apresenta um comportamento linear entre tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento. Quando isto ocorre os elementos volumétricos antes em repouso e mantidos por forças ligantes, entram em colapso e podem mudar de posição irreversivelmente, o sólido é convertido em líquido. O comportamento dos fluidos binghamianos evidenciado pela presença de uma tensão de escoamento e uma relação linear entre taxa de cisalhamento e tensão de cisalhamento, pode ser descrito através da seguinte equação (CASTRO, 2007); (FOX, MC DONALD & PRITCHARD, 2006):

$$\tau = \tau_0 + \eta \dot{\gamma}$$

2.2.2.3 Fluidos Dilatantes

Os fluidos dilatantes sofrem um aumento da viscosidade mediante o aumento da taxa de cisalhamento, característica inversa ao comportamento dos fluidos pseudoplásticos. Tal comportamento é encontrado principalmente em suspensões que possuem grande concentração de partículas sólidas (CASTRO, 2007); (SCHRAMM, 2006).

2.2.2.4 Fluidos Tixotrópicos

Destaca-se como característica relevante o potencial de um líquido tixotrópico ter uma estrutura de gel reversível, sempre que o fluido for mantido em repouso por um longo período de tempo, ou seja, quando submetidos a uma taxa de cisalhamento constante ocorre a diminuição da viscosidade aparente com o tempo, no entanto se um tempo de relaxamento for oferecido ao fluido a viscosidade aparente inicial é recuperada (OLIVEIRA, 2013); (SCHRAMM, 2006).

2.2.2.5 Fluidos Reopéticos

Possuem características contrárias aos fluidos tixotrópicos, apresentam aumento da viscosidade aparente com o tempo quando submetidos a uma dada taxa de cisalhamento constante (OLIVEIRA, 2013).

2.2.3 Fluidos Viscoelásticos

Alguns materiais conseguem apresentar comportamento de sólido elástico e fluido viscoso, da teoria clássica é possível linearizar a elasticidade considerando a tensão de um corpo cisalhado proporcional à taxa de cisalhamento aplicada, a depender das condições adequadas tanto os efeitos da elasticidade como da viscosidade são perceptíveis (OLIVEIRA, 2013); (TANNER, 2000).

2.3 REOLOGIA DE PASTAS CIMENTÍCIAS

Apesar da ausência de uma relação bem definida entre a reologia do concreto e a reologia das pastas de cimento, existe a ciência de que são diretamente dependentes, isto porque

estão relacionadas com as reações químicas do cimento com a água durante o preparo da pasta (FERRARIS & GAIDS, 1992).

Relação água/cimento, tipo e propriedades do cimento, adições químicas e minerais, assim como a idade da pasta e as condições de ensaio, são fatores que possuem grande impacto nas características reológicas das pastas de cimento. (CLAISSE; LORIMER; ALOMARI, 2001 apud REIS, 2008). Segundo Atzeni et. al. (1985, apud REIS, 2008) a influência das condições de ensaio é relevante a ponto de serem responsáveis por diferenças grosseiras ou até mesmo contraditórias das respostas obtidas.

Tendo em vista que a pasta de cimento é um sistema complexo, pode-se observar comportamento reológico que difere do previsto, em função das condições de ensaio, nível de dispersão e segregação das partículas, composição da pasta e histórico de cisalhamento (CASTRO, 2007).

O escoamento das pastas ocorre apenas mediante forças cisalhantes com intensidade suficiente para quebrar as ligações entre os grãos de cimento, daí deriva o surgimento de um valor de escoamento inicial (tensão de escoamento).

A microestrutura formada devido a força de atração das partículas ao longo do processo de hidratação é responsável por reduzir a fluidez da mistura, no entanto pode ser facilmente destruída por intermédio de agitação da pasta que torna a ser mais fluida. Contudo é importante ressaltar que esse comportamento semelhante ao de fluidos tixotrópicos dá-se apenas para pastas de cimento misturadas recentemente, tendo em vista que com o tempo e a conclusão do processo de hidratação a pasta de cimento endurece irreversivelmente (CAHPPUIS, 1990 apud REIS, 2008).

Os modelos reológicos mais utilizados para representar o comportamento reológico das pastas cimentícias são o de Bingham e de Herschel Bulkley, no entanto há autores que consideram a semelhança com o comportamento newtoniano para as pastas não floculadas que possuem tensão de escoamento próximo a zero (ROUSSEL. LE ROY, 2005 apud OLIVEIRA, 2013); (FERRARIS, OBLA E HILL, 2001 apud OLIVEIRA, 2013).

A obtenção da tensão de escoamento das pastas é realizada através de modelos empíricos e teóricos em função de dados observados nas curvas de fluxo do fluido, o que torna o parâmetro muito dependente da precisão dos dados dos experimentos, especificação do reômetro apesar de geralmente tratar-se de uma estimativa razoável (SAAK; JENNINGS; SHAH, 2001 apud REIS, 2008).

2.3.1 Cimento Portland

Patenteado por Joseph Aspdin em 1824, o cimento Portland trata-se de um aglomerante obtido a partir da queima da mistura de calcário, argila, alumina e óxido de ferro. Apresenta como principais características a capacidade de endurecer quando submetido ao contato com água e a não alteração química de suas partículas após a conclusão do seu processo de hidratação por completo. Pode-se atribuir ao cimento o título de principal fator atuante na transformação dos materiais que compõem concretos e argamassas (ABCP, 2002); (NEVILLE & BROOKS, 2010).

De acordo com a Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM) - C 150, cimento Portland nada mais é que um cimento hidráulico produto da moagem de clínqueres constituídos por silicatos de cálcio hidráulico e uma menor quantidade de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. (METHA & MONTEIRO, 2008)

Segundo ABCP (2000), a nomenclatura dos cimentos varia em função de sua sigla e classe de resistência. As respectivas classes, expressam os valores mínimos de resistência à compressão em unidades de MegaPascal (25, 32 e 40) que o mesmo deverá atingir após vinte e oito dias de cura. São divididos em cinco tipos: comum, composto, alto forno, alta resistência inicial e pozolânico, conforme a figura 4.

Figura 4 - Composição e Classificação dos Tipos de Cimento

SIGLA	CLÍNQUER + GESSO	ESCÓRIA GRANULADA DE ALTO FORNO	MATERIAL POZOLÂNICO	MATÉRIAL CARBONÁTICO	TIPO
CP I	100 %	-	-	-	Comum
CP I - S	99-95 %	-	1-5 %	-	Comum
CP II - E	94-56 %	6-34 %	-	0-10 %	Composto
CP II - Z	94-76 %	-	6-14 %	0-10 %	Composto
CP II - F	94-90 %	-	-	0-10 %	Composto
CP III	65-25 %	35-70 %	-	0-5 %	Alto Forno
CP IV	85-45 %	-	15-50%	0-5 %	Pozolânico
CP V I	100-95 %	-	-	0-5 %	Alta Resistência Inicial

Fonte: ABCP (2000).

O Cimento Portland (CP) I, têm sua utilização indicada quando particularidades não são especificadas. No entanto, ao longo do tempo verificou-se que alguns cimentos compostos possuem desempenho equivalente ao cimento comum, manifestando ainda alguma outra vantagem adicional. Em virtude disto, o cimento portland comum é pouco utilizado no Brasil.

O CP II é recomendado para uso geral e quando a resistência moderada a sulfatos é necessária. Com pequenas adições de material pozolânico e escórias granuladas de alto forno, quando comparados ao CP I apresentam um menor calor de hidratação e atribuem uma maior durabilidade do produto final. É responsável por 75% da produção industrial de cimento no país.

O CP III é caracterizado por possuir baixo calor de hidratação maior impermeabilidade, durabilidade, resistência à expansão e resistência a sulfatos. Pode ser intitulado como “cimento ecológico” tendo em vista que lança uma menor quantidade de CO₂ na atmosfera e reaproveita resíduos de siderúrgicas. São especialmente indicados para grandes seções estruturais.

O CP IV dispõe de propriedades importantes como alta impermeabilidade e consequente durabilidade devido ao elevado teor de pozolana em sua composição. Além disto, denota resistência mecânica à compressão superior ao CPI e melhor trabalhabilidade. O baixo calor de hidratação torna recomendável para a utilização em grandes seções e sob condições de temperaturas elevadas. Apresenta grande resistência em ambientes ácidos.

As principais características do CP V – ARI, deve-se a dosagem diferenciada de seu clínquer e sua moagem mais fina, o que proporciona o aumento da área de contato e uma maior rapidez na aquisição de resistências elevadas, em geral apresentam elevado calor de hidratação. É utilizado principalmente na confecção de peças pré-moldadas ou estruturas especiais que exijam elevada resistência em um menor período de tempo (ABCP, 2000); (METHA & MONTEIRO, 2008); (NEVILLE & BROOKS, 2010).

2.3.2 Superplastificante

Trata-se de aditivo químico moderno também denominado de aditivo redutor de água com alta eficiência, isto porque quando comparados com aditivos comuns conseguem uma diminuição de três a quatro vezes maior da quantidade de água de amassamento.

Definido pela ASTM C – 494/92 como sendo o produto que permite a redução mínima de 12% da água de amassamento na produção de concreto com uma dada consistência ou ainda material capaz de ocasionar o aumento da consistência do concreto para uma quantidade de água de amassamento constante.

São polímeros hidrossolúveis obtidos sinteticamente, aprimoram características importantes das pastas de cimento fresca, como trabalhabilidade e resistência à compressão inicial e não apresentam efeitos desfavoráveis em ao longo dos anos.

A repulsão eletrostática dos ânions adsorvidos na superfície da pasta de cimento resultado da ação do superplastificante induz à diminuição da viscosidade aparente da pasta. Analogamente, a adsorção do superplastificante nas partículas de cimento ocasionará um processo de defloculação e uma conseqüente redução da tensão de escoamento.

O processo de hidratação do cimento que ocorre em um menor intervalo de tempo em sistemas dispersos, resulta em uma resistência inicial à compressão elevada.

Atuam como fatores influentes no efeito do aditivo, a temperatura da mistura fresca, o procedimento de mistura, o tempo de adição do polímero.

Propriedades importantes das pastas de cimento como fluência, módulo de elasticidade, resistência a sulfatos, retração e durabilidade não sofrem alteração em função do superplastificante (METHA & MONTEIRO, 2008); (NEVILLE & BROOKS, 2010); (CASTRO, 2007); (YEN et al., 1999 apud CASTRO 2007); (CHIOCCHIO & PAOLINI, 1985 apud CASTRO, 2007).

2.3.3 Microsílica

Diz respeito ao rejeito de indústrias de silício metálico e ligas de ferro-silício, devido a questões ambientais e econômicas juntamente com o aprimoramento da durabilidade do concreto e trabalhabilidade, está sendo cada vez mais utilizado nas pastas de cimento. A observância de alterações de características como redução da permeabilidade e porosidade capilar também devem ser consideradas.

Pode-se dizer que é um material altamente pozolânico e que atribui à pasta de cimento uma maior compacidade, implicando no aumento da densidade da mistura, aumento da coesão e ligação dos grãos de cimentos e partículas de sílica, necessidade do aumento da quantidade de água de amassamento ou do teor de superplastificante.

Material caracterizado por partículas demasiadamente finas que possuem comportamento semelhante a esferas rolantes, participando da solução de água dos poros e promovendo o aumento da fluidez da mistura. Apesar da aparência “pegajosa”, a pasta torna-se muito mais fluida (METHA & MONTEIRO, 2008); (NEVILLE & BROOKS, 2010); (CASTRO, 2007); (YEN et al., 1999 apud CASTRO 2007); (CHIOCCHIO & PAOLINI, 1985 apud CASTRO, 2007).

2.4 RÊOMETRO ROTACIONAL DE PLACAS PARALELAS E ENSAIO DE FLUXO

Conforme Oliveira (2013), reômetros são equipamentos que possibilitam a análise do comportamento dos principais parâmetros reológicos dos materiais. Em geral são capazes de fornecer dados para a obtenção das curvas de fluxo e de viscosidade, também denominadas de reogramas.

O avanço da tecnologia dos reômetros viabilizou a determinação dos parâmetros reológicos para taxas de cisalhamento distintas e a consequente idealização do perfil reológico do fluido. Dentre os reômetros rotacionais existentes são mais utilizados do tipo cilindros coaxiais, cone e placa e placas paralelas (BETIOLI et al.,2009); (OLIVEIRA, 2013).

O tipo do ensaio de reometria, varia em função dos parâmetros reológicos os quais se pretende obter. A tabela 1, abaixo descreve quais os equipamentos e ensaios devem ser realizadas para cada parâmetro a ser determinado.

Tabela 1 - Descrição dos ensaios reológicos e respectivos condicionantes.

Reometria	Equipamento	Parâmetros determinados
Fluxo	Reômetro	Perfil de fluxo, tensão de escoamento e viscosidade
Oscilação	Reômetro	Módulo de armazenamento (G'), módulo de perda (G'') e tensão de escoamento
<i>Squeeze-flow</i>	Prensa ou reômetro	Perfil da curva carga x deslocamento, carga máxima, tensão de escoamento, viscosidade elongacional

Fonte: BETIOLI et al. (2009)

Reômetros rotacionais de placas paralelas são geralmente utilizados em ensaios voltados para análise de propriedades viscoelásticas de materiais, sua aplicação é recomendada para análise de fluidos com grande quantidade de partículas, não homogêneos. É formado por duas placas paralelas, o ajuste do espaço entre as placas deverá ser no mínimo três vezes maior que o tamanho de sua partícula no fluido. A aplicação do carregamento na amostra, provoca um fluxo semelhante ao de um espiral de moedas que entortam e fazem com que as moedas inferiores sofram pequenos deslocamentos em relação às moedas circunvizinhas.

O ensaio de fluxo simula situações de misturas e aplicações das pastas e proporciona a análise do efeito de aditivos, adições, matérias-primas, entre outros. Permite a medição da tensão de cisalhamento a uma dada taxa de cisalhamento e vice-versa. (BETIOLI et al.,2009); (OLIVEIRA, 2013).

3 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E METODOLOGIA

Neste capítulo serão expostos os materiais e equipamentos utilizados com suas respectivas especificações, posteriormente será descrito todo o processo metodológico adotado para o planejamento e execução dos experimentos.

3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

As tabelas 2 e 3, apresentam os materiais utilizados e suas especificações, nas figuras 05 e 06 estão representados os equipamentos utilizados.

Tabela 2: Descrição e especificação dos materiais utilizados

Material	Tipo	Produzido em:	Fabricante/ Fornecedor
Cimento Portland	CP II -Z	28/04/2016	Cimpor
Cimento Portland	CP V	29/04/2016	Elizabeth
Superplastificante	ADVA 525		Grace Construction Products
Microsílica		23/03/2016	Fornecida pela Polimix
Fita Anti Derrapate			ADERE
Água			CAGEPA

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 3: Descrição e especificação dos equipamentos utilizados

Equipamentos	Tipo
Reômetro	Rheotest RN 4
Balança	APX - 200. Denver Instruments

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 5 - Reômetro Rotacional de Placas Paralelas RN 4



Fonte: Acervo pessoal da autora.

Figura 6 - Balança de Precisão APX-200



Fonte: Acervo pessoal da autora.

3.2 METODOLOGIA

No presente trabalho, foi adotada a metodologia de pesquisa experimental e quantitativa fundamentada por uma prévia pesquisa bibliográfica além de respeitar um planejamento experimental fatorial previamente determinado.

3.2.1 Planejamento Experimental

Com o objetivo de alcançar um melhor aproveitamento das informações obtidas nos ensaios, foi realizado um planejamento experimental, fundamentado em princípios estatísticos. Trata-se de um planejamento fatorial completo que possibilita, com a execução da quantidade mínima de ensaios possível, avaliar quantitativamente o impacto da variação dos fatores em relação ao resultado obtido.

Para a realização do planejamento experimental supracitado, foram consideradas três variáveis (fator água/cimento, teor de microssilica e teor de superplastificante) cada uma com dois níveis mais um ponto central.

Sendo assim, para cada tipo de cimento temos uma matriz que pode ser expressa por $2^3+3PC = 11$ experimentos (tabela 04) (NETO; SCARMINIO & BRUNS, 2001).

Os ensaios foram realizados em 4 estágios, imediatamente após a mistura e após, 20, 40 e 60 minutos desta, viabilizando a avaliação do comportamento reológico das pastas dentro e fora do período de indução do cimento.

A determinação dos valores adotados para o teor das variáveis, foi realizada com o auxílio de testes em dosagens empíricas até a obtenção de uma faixa de variação capaz de fornecer pastas cimentícias, indicados na tabela 05, que apresentassem coesão e ausência de exsudação para as situações mais desfavorável e mais favorável, respectivamente, quanto à fluidez.

Tabela 4 - Matriz de Planejamento

Matriz de Planejamento			
Pasta	MS	SP	A/C
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0

Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 5 - Variação dos fatores experimentais

Variáveis	-	0	+
Microsílica %	10	12,5	15
Superplastificante %	0,5	0,65	0,8
Água/Cimento %	0,4	0,45	0,5

Fonte: Elaboração da própria autora.

A partir das tabelas 4 e 5, as dosagens das pastas foram elaboradas considerando a base de 100gramas de cimento, as composições que foram ensaiadas para CPIX-Z e para CP V-ARI, estão apresentadas na tabela 6:

Tabela 6- Dosagem das Pastas CP V-ARI e CPIX-Z

DOSAGEM				
PASTA	Cimento (g)	MS (g)	SP (g)	Água (g)
1	100	10	0,5	40
2	100	15	0,5	40
3	100	10	0,8	40
4	100	15	0,8	40
5	100	10	0,5	50
6	100	15	0,5	50
7	100	10	0,8	50
8	100	15	0,8	50
9	100	12,5	0,65	45
10	100	12,5	0,65	45
11	100	12,5	0,65	45

Fonte: Elaboração da própria autora.

3.2.2 Execução dos Ensaios

As pastas cimentícias foram submetidas à um ciclo de cisalhamento por meio de um ensaio trapezoidal, com a taxa de cisalhamento crescente durante 1 minuto de 0 a 100 [s^{-1}], em seguida aplicação de taxa de cisalhamento constante de 100 [s^{-1}] durante 1 minuto e posteriormente aplicação decrescente de 100 a 0 [s^{-1}] durante 1 minuto, de acordo com o ilustrado no gráfico 01.

Gráfico 1 - Ciclo de cisalhamento Aplicado



Fonte: Elaboração da própria autora.

3.2.2.1 Procedimento

O procedimento experimental foi executado da seguinte maneira:

- a) Pesagem de Materiais: todos os materiais foram pesados em balança com precisão de duas casas decimais.
- b) Preparação do reômetro rotacional: para evitar o deslizamento da pasta de cimento foi utilizado em suas placas adesivo anti derrapante com largura de 50mm, da marca ADERE (figura 07).
- c) Preparação da Pasta:

Primeiramente misturou-se o cimento com a microssílica, depois parte da água foi adicionada e misturado manualmente cerca de 30 segundos. Em seguida, acrescentou-se o superplastificante e o restante da água, mistura foi realizada por aproximadamente 1 minuto e meio. Posteriormente foi feita a colocação da pasta cimentícia no reômetro, ajuste do equipamento de forma que as placas paralelas distem 1mm. Através do *software* específico para o equipamento, foi acionada a aplicação da taxa de cisalhamento trapezoidal na amostra. Após a mistura e obtenção da homogeneidade aparente da amostra, a pasta permaneceu em repouso até a conclusão dos testes.

Figura 07 – Detalhe da utilização das fitas anti derrapantes



Fonte: Acervo Pessoal da Autora

3.2.3 Análise de Variância

Os principais valores estatísticos utilizados na análise de variância estão elencados, a seguir:

- a) Coeficiente de determinação (R^2); expressa o nível de ajuste do modelo experimental às respostas observadas. Varia entre 0 e 1, quanto mais próximo de 1 melhor o modelo.
- b) Somas Quadráticas (SS): representa a soma dos desvios de previsão realizado pelo modelo experimental.
- c) Soma Quadrática Residual (SS-ERROR); apresenta a variação das respostas em torno da média que o modelo não consegue reproduzir.
- d) Média Quadrática (MS); é obtida através da razão da Soma Quadrática e o grau de liberdade, tem a capacidade qualitativa de descrever uma medida aproximada de erro médio que é possível cometer para utilizar a equação de regressão com o objetivo de prever a resposta.
- e) P-valor: probabilidade que a diferença entre as respostas não possua ligação com os fatores em si, que sejam apenas por acaso;

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão realizadas análises referentes às curvas de fluxo e viscosidade obtidas com a realização dos ensaios e a devida caracterização das pastas, análise da influência de fitas anti derrapantes distintas podem provocar nos resultados, análise de variância no qual será identificado quais variáveis possuem significância nos parâmetros estudados e o comportamento dos parâmetros mediante a variação de microssílica, água e superplastificante.

4.1 ELABORAÇÃO E ANÁLISE DE CURVAS DE FLUXO E DE VISCOSIDADE

Os ensaios que foram realizados com auxílio do reômetro supracitado no item 3.1.2, resultaram em planilhas fornecidas pelo *software* do equipamento. Essas planilhas expressam os valores de torque, velocidade, taxa de cisalhamento, tensão de cisalhamento e viscosidade dinâmica ao longo do tempo de duração do ensaio. Através destes valores foi possível construir a curva de fluxo de cada pasta para cada ensaio, relacionando através de gráficos os valores da taxa de cisalhamento aplicada com a tensão de cisalhamento obtida durante os ensaios.

A ilustração do comportamento das propriedades reológicas para cada etapa do ciclo de cisalhamento aplicado, é exemplificada através dos gráficos 02 e 03.

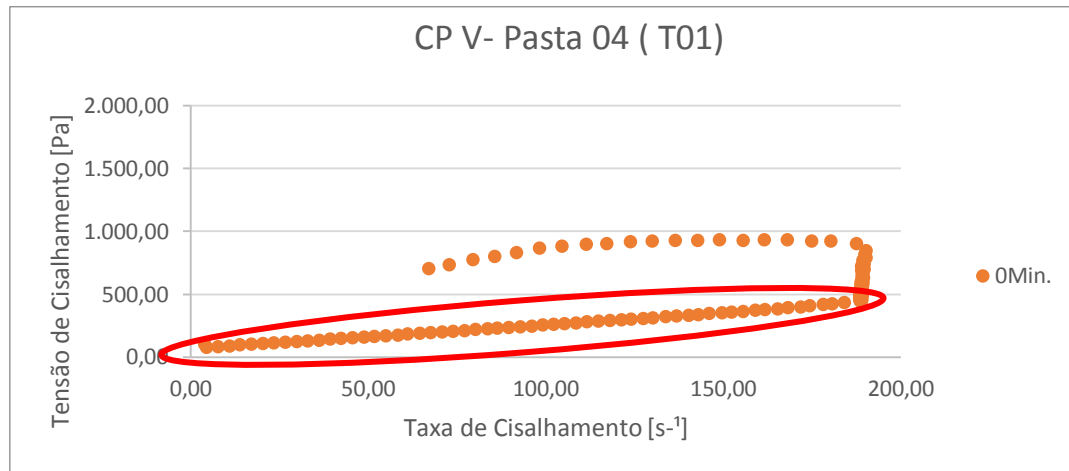
No estágio inicial no qual há o aumento da taxa de cisalhamento de 0 s^{-1} até 100 s^{-1} , é importante mencionar a observância de um comportamento semelhante a uma relação logarítmica entre a taxa de cisalhamento e a tensão de cisalhamento. Isto ocorre devido ao alto impacto que o rompimento de micro cristais, que se formam na pasta durante o processo de hidratação, exerce sobre os valores ensaiados, além disto é possível elencar outros fatores como o processo de homogeneização da pasta na superfície da placa e a “inércia” que o equipamento necessita vencer no instante em que é acionado.

Durante a segunda etapa do ensaio, quando a taxa de cisalhamento permanece constante em 100 s^{-1} , atenta-se para a queda da tensão de cisalhamento. A lei básica da viscosimetria estabelece uma relação diretamente proporcional entre tensão de escoamento e viscosidade, verifica-se assim a diminuição da viscosidade da pasta para uma taxa de cisalhamento constante. Trata-se da primeira condição dos fluidos tixotrópicos, no entanto no caso das pastas cimentícias a segunda condição que faz referência a reversibilidade e recuperação da viscosidade inicial não é atendida.

A última etapa do ensaio de ciclo de cisalhamento trapezoidal, trabalha com uma amostra homogeneizada e com uma quantidade mínima de cristais que possam alterar os

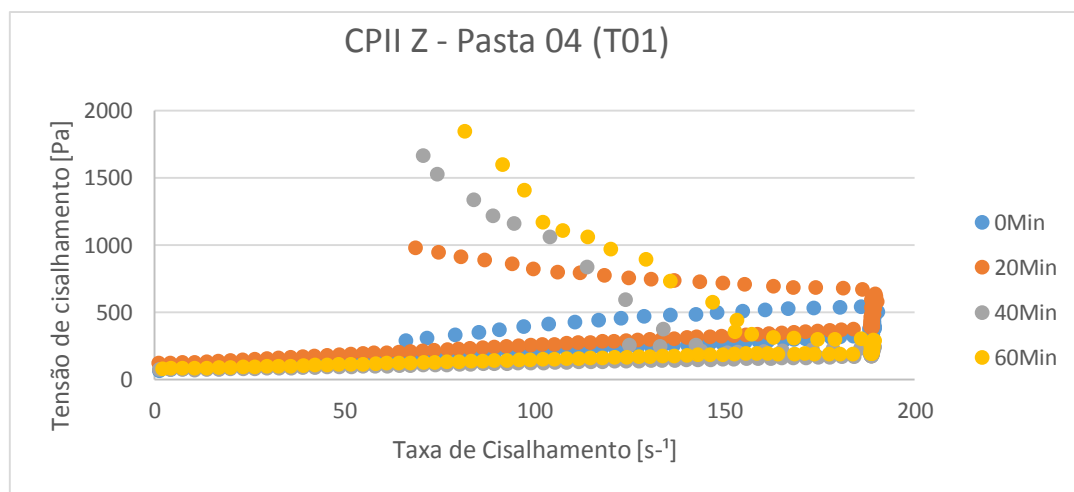
resultados, em virtude disto a análise dos dados desta pesquisa ocorrerá voltada para o respectivo intervalo, indicado em destaque no gráfico 02.

Gráfico 2 - Curva de Fluxo Trapezoidal - CP V Pasta 04



Fonte: Elaboração da própria autora com os dados dos ensaios realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 3 - Curva de Fluxo Trapezoidal - CP II Z Pasta 04



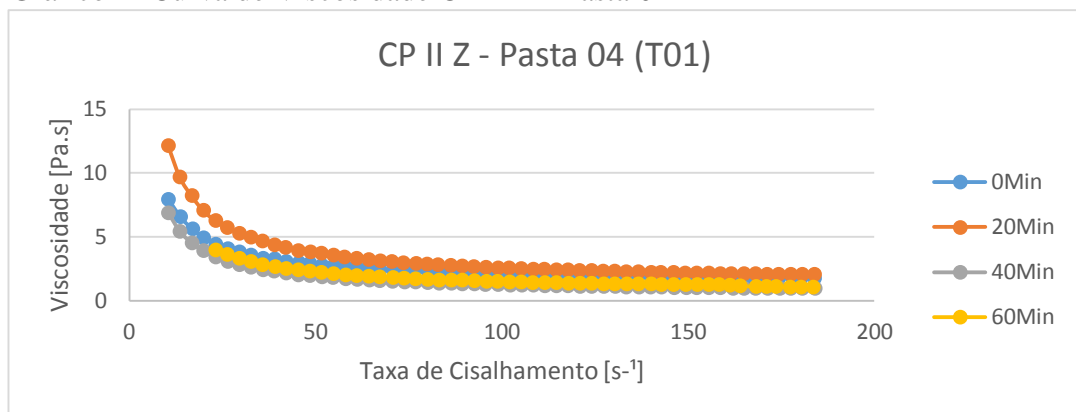
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados dos ensaios realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Deve-se atentar ainda para a discrepância entre a curva de fluxo de pastas com a mesma dosagem para tipos de cimento diferentes. O gráfico 02, representa a curva de fluxo para o cimento CP V- ARI apenas imediatamente após sua mistura, isto porque a taxa aplicada a amostra nos demais intervalos de tempo não foi suficiente para vencer sua tensão de escoamento. É perceptível a grande disparidade de valores de tensão de cisalhamento entre os dois tipos de cimento (gráfico 02 e gráfico 03). Enquanto para o cimento CP II-Z aos 0 minutos

a tensão de cisalhamento inicial do teste gira em torno de 300 Pa, temos para a mesma pasta também aos 0 minutos para uma pasta com CP V – ARI um valor em torno de 650 Pa, um pouco mais que o dobro. Este resultado já era expectável em virtude das propriedades de alta resistência inicial do CP V -ARI. No tocante ao comportamento das pastas de acordo com o tempo no qual é ensaiada, em geral apresentaram uma evolução da tensão de escoamento e de viscosidade, de acordo com o que já era previsto.

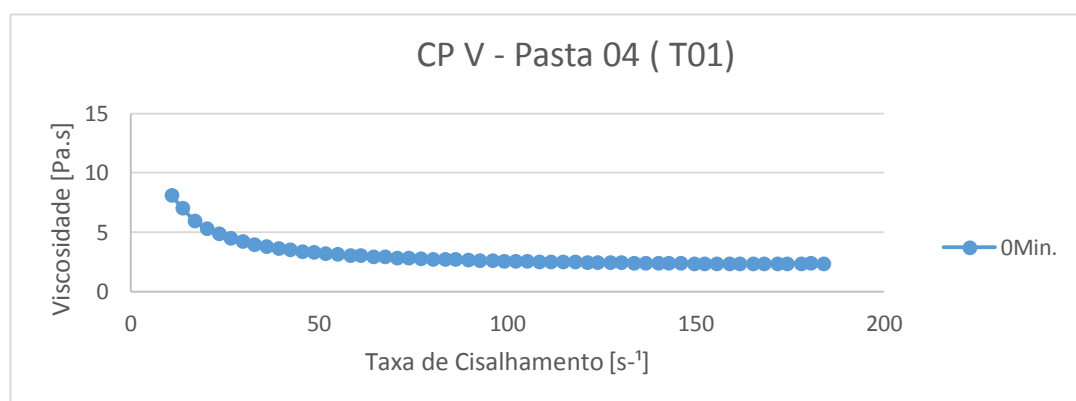
As curvas de viscosidade das pastas estão representados nos gráficos 04 e 05.

Gráfico 4- Curva de Viscosidade CP II - Z Pasta 04



Fonte: Elaboração da própria autora com os dados dos ensaios realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 5 - Curva de Viscosidade CP V Pasta 04



Fonte: Elaboração da própria autora com os dados dos ensaios realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Ao analisar os gráficos 02 e 03, verifica-se a existência de uma tensão de escoamento e uma posterior relação linear entre a taxa de cisalhamento e a tensão de cisalhamento, em contrapartida é possível observar nas curvas de viscosidade apresentadas nos gráficos 04 e 05 a queda da viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento.

Comportamento similar foi apresentado (apêndice A e B) em grande maioria das pastas, caracterizando-as como fluidos binghamianos, com exceção da pasta 07 para os ensaios realizados imediatamente após a mistura. Isto porque trata-se da pasta com menor teor de sílica, maior quantidade de água de amassamento e superplastificante, sendo caracterizada como dentre todas as pastas àquela com maior proximidade à exsudação e segregação das partículas.

A queda da viscosidade aparente com o aumento da taxa de cisalhamento atribui certo grau de pseudoplasticidade às pastas.

Algumas pastas, apresentaram dados contraditórios como resultado dos seus ensaios. Como mencionado anteriormente na revisão bibliográfica (item 2.3), imprecisões desta natureza ocorrem em virtude da grande gama de fatores que podem impactar nas respostas fornecidas pelo equipamento. No intuito de amenizar os efeitos adversos dessas incertezas na análise estatística, foi realizado um terceiro ensaio para as pastas que exibiram resultados incoerentes.

4.2 ESTUDO DE COMPORTAMENTO UTILIZANDO FITAS DISTINTAS

Devido ao grande número de amostras executadas, foram utilizados quatro rolos distintos de fita antiderrapante de mesma marca e especificação, que conforme mencionado anteriormente, possui a importante função de evitar que haja deslizamento entre as placas e a pasta de cimento. No entanto, não se sabe da existência de controle de rugosidade das fitas por parte do fabricante. Visando uma melhor validação dos dados, inicialmente foi analisado o comportamento de pastas idênticas para fitas de rolos diferentes. As tabelas 07 e 08, identificam qual fita foi utilizada para cada pasta. Para isto, foram analisadas as pastas 06 e 02 dos cimentos CP II-Z e CP V- ARI, respectivamente.

Tabela 7- Fitas utilizadas para ensaios com CP II-Z

CP II - Z			
PASTA	FITA		
	Ensaio	Réplica	Reteste
1	01	03	04
2	01	03	04
3	01	03	04
4	01	03	04
5	01	03	
6	01	03	
7	01	03	
8	01	03	
9	02		
10	02		
11	02		

Fonte: Elaboração da própria autora.

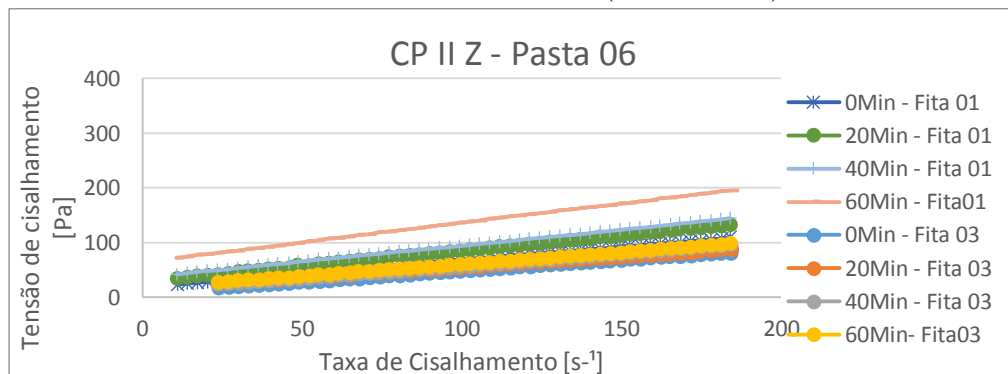
Tabela 8- Fitas utilizadas para ensaios com CPV-ARI

CP V - ARI			
PASTA	FITA		
	Ensaio	Réplica	Reteste
1	02	03	03
2	02	03	
3	02	03	03
4	02	03	
5	02	03	
6	02	03	04
7	02	03	04
8	02	03	
9	02		04
10	02		04
11	02		

Fonte: Elaboração da própria autora.

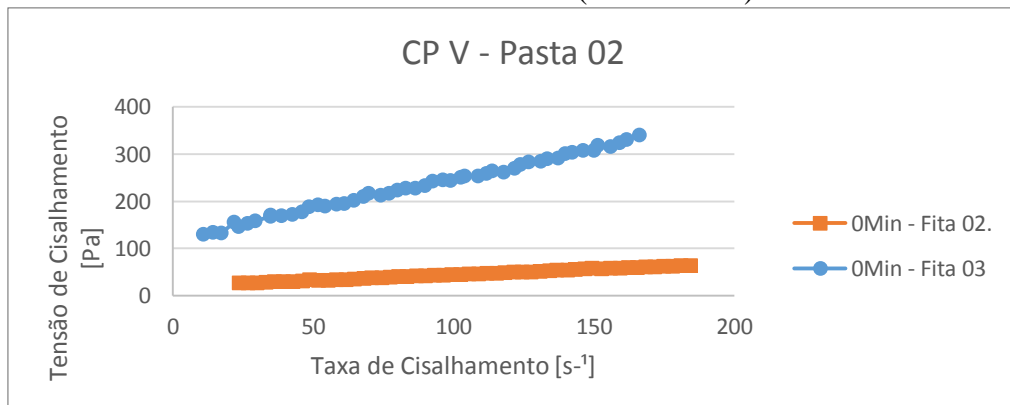
As curvas de fluxo de ambas as pastas para as fitas elencadas nas tabelas supracitadas, seguem nos gráficos 06 e 07.

Gráfico 6 - Curva de Fluxo CP II Z - Pasta 06 (fitas 01 e 03)



Fonte: Elaboração da própria autora.

Gráfico 7 - Curva de Fluxo CP V - Pasta 02 (fitas 02 e 03)



Fonte: Elaboração da própria autora.

De acordo com as informações expressas nos gráficos 06 e 07, pastas iguais utilizando fitas antiderrapante de rolos diferentes, possuem no geral comportamento semelhante entre si, exceto pela divergência dos valores em intensidade, de viscosidade e tensão de escoamento. As demais pastas apresentaram comportamento similar. Desta forma, para evitar que haja maiores distorções nas análises estatísticas dos resultados é necessário que seja realizado um estudo de rugosidade destas fitas de forma mais detalhada.

4.3 ANÁLISE DE VARIÂNCIA - ANOVA

A utilização da metodologia estatística de análise de variância associada à um planejamento experimental fatorial, possibilitou o estudo da significância da variação dos fatores em análise, para cada tipo de cimento e para cada resposta obtida, individualmente.

Inicialmente foram traçadas as curvas de fluxo e viscosidade de todas as pastas e suas respectivas réplicas (Apêndice A e B), para a obtenção dos valores de viscosidade aparente e tensão de escoamento, foram considerados apenas os trechos descendentes das curvas de fluxo de cada amostra. Os resultados obtidos estão representados nas tabelas 9 e 10.

Tensões de escoamento extraídas das curvas de fluxo das amostras que apresentaram valor negativo, foram substituídas por zero. Isto porque, ao desconsiderar esses valores houve uma diminuição significativa do coeficiente de determinação (R^2) o que impactaria negativamente da análise estatística dos dados. Os valores negativos foram constatados nas pastas com uma maior fluidez, aquelas que possuem quantidade maior de água de amassamento e maior teor de superplastificante. Desta forma, representa que para estas pastas a tensão de escoamento é nula ou quase nula.

Tabela 9- Respostas de Viscosidade e Tensão de Escoamento obtidas para CPII-Z

CPII - Z											
PASTA	MS	SP	A/C	0 Minutos		20 Minutos		40 Minutos		60 Minutos	
				Viscosidade	Tensão de Escoamento	Viscosidade	Tensão de Escoamento	Viscosidade	Tensão de Escoamento	Viscosidade	Tensão de Escoamento
1	-	-	-	1	19,41	1,0449	43,499	1,007	58,784	1,1723	79,741
2	+	-	-	1,2268	101,28	0,884	122,66	0,8364	81,966		
3	-	+	-	0,7049	0	0,9697	0,3755	1,054	12,039	0,8348	7,1065
4	+	+	-	1,0655	15,688	1,1795	48,338	1,3812	77,732	0,9359	83,951
5	-	-	+	0,0613	1,0026	0,2634	9,7597	0,2755	10,651	0,2487	9,1158
6	+	-	+	0,4862	19,466	0,559	29,891	0,5837	36,265	0,7126	65,117
7	-	+	+	0,0217	0	0,1572	0,4024	0,1473	1,2992	0,2668	2,2471
8	+	+	+	0,1102	1,4102	0,2619	3,3457	0,4371	6,8704	0,3915	7,0851
9	0	0	0	0,6189	7,3758	0,6834	24,628			0,8967	157,49
10	0	0	0	0,404	37,743	0,6492	117,84	0,9337	116,36		
11	0	0	0	0,2244	10,09	0,4	27,796	0,6543	50,005	0,8619	89,735
1	-	-	-	1,0031	17,6115	0,858	25,816	0,9135	50,287	1,0164	57,583
2	+	-	-	1,1795	48,773	1,46	134,53	1,3083	234,56		
3	-	+	-	0,5254	0	0,6437	0	0,6553	2,0151	0,6927	1,7156
4	+	+	-	1,2177	0	1,5506	29,253	1,3831	47,366	1,7601	77,91
5	-	-	+	0,0398	0,6627	0,2344	5,289	0,2419	6,2771	0,2322	6,6397
6	+	-	+	0,4014	6,8395	0,3923	14,147	0,4497	11,475	0,4374	16,408
7	-	+	+	0,0049	0	0,1496	0	0,1403	0	0,192	0,1312
8	+	+	+	0,0519	1,2731	0,3148	0,3786	0,3138	0,2479	0,3115	2,2929

Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Tabela 10 - Respostas de Viscosidade e Tensão de Escoamento obtidas para CPV -ARI

CPV - ARI											
PASTA	MS	SP	A/C	0 Minutos		20 Minutos		40 Minutos		60 Minutos	
				Viscosidade	Tensão de Escoamento	Viscosidade	Tensão de Escoamento	Viscosidade	Tensão de Escoamento	Viscosidade	Tensão de Escoamento
1	-	-	-	1,4629	50,726	1,3145	129,55				
2	+	-	-	0,2391	21,268						
3	-	+	-	1,6873	0	1,8664	11,642				
4	+	+	-	1,9376	64,935						
5	-	-	+	0,6053	9,3981	0,8684	19,776	0,8532	25,923	0,9012	28,698
6	+	-	+	0,9081	14,522	1,1178	38,783	1,1621	53,894	1,4986	74,233
7	-	+	+	0,3867	0	0,6749	0	0,7189	0		
8	+	+	+	0,6786	2,1789	0,9158	4,5531	0,9662	11,656	1,048	15,065
9	0	0	0	1,1277	0	1,3164	17,485	1,1445	23,686	1,6645	46,285
10	0	0	0	1,1555	0	1,3071	4,2327	1,5361	20,91	1,5926	54,528
11	0	0	0	1,2077	8,716	1,482	40,349	1,5268	46,318	1,7256	67,453
1	-	-	-	1,6359	33,116	1,1624	51,298				
2	+	-	-	1,2803	119,82						
3	-	+	-	1,3086	0	1,5506	10,34	1,0748	38,923		
4	+	+	-	2,5128	67,447						
5	-	-	+	0,4727	9,5502	0,7729	18,602	0,7759	21,322	0,8105	25,981
6	+	-	+	0,9722	12,494	0,7208	31,524	0,9929	41,79	1,4066	57,814
7	-	+	+	0,1967	0,0512	0,6698	0	0,6924	0	0,7605	0
8	+	+	+	0,7651	0	0,8809	0	1,0309	4,6219	1,1089	6,6495

Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Para construir as tabelas de análise de variância (ANOVA), foi utilizado o *software* de análise estatística “Statistica”, o programa foi alimentado com os valores expressos nas tabelas supracitadas, considerando margem de segurança de 5% de erro admitindo o valor crítico de p menor ou igual a 0,05.

4.3.1 Análise de Variância para Pastas CP II-Z

As tabelas de análise de variância geradas pelo *software* para as pastas com CP II -Z, estão representadas nas tabelas 11 a 18.

Tabela 11 - Tabela ANOVA, CPIX Z - Viscosidade (0Min)

CP II - Z (0Min)					
Var. Viscosidade			R-sqr=0,9244		
Fator	SS	df	MS	F	p
(1)Microsílica	0,353460	1	0,353460	15,2911	0,002071
(2)SuperPlastificante	0,179755	1	0,179755	7,7764	0,016386
(3)Fator a/c	2,843861	1	2,843861	123,0288	0,000000
1 by 2	0,000000	1	0,000000	0,0000	0,998330
1 by 3	0,017829	1	0,017829	0,7713	0,397059
2 by 3	0,000575	1	0,000575	0,0249	0,877322
Error	0,277385	12	0,023115		
Total SS	3,672864	18			

Fonte: Gerado pelo *software* ‘Statistic’, com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Tabela 12- Tabela ANOVA, CPIX Z - Tensão de Esc. (0Min)

CP II - Z (0Min)					
Var. Tensão de Escoamento			R-sqr= 0,77661		
Fator	SS	df	MS	F	p
(1)Microsílica	1607,36	1	1607,362	7,47678	0,018119
(2)SuperPlastificante	2685,30	1	2685,305	12,49091	0,004114
(3)Fator a/c	1653,27	1	1653,266	7,69030	0,016863
1 by 2	826,21	1	826,213	3,84320	0,073580
1 by 3	683,59	1	683,586	3,17975	0,099847
2 by 3	1512,55	1	1512,547	7,03573	0,021082
Error	2579,77	12	214,981		
Total SS	11548,05	18			

Fonte: Gerado pelo *software* ‘Statistic’, com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Tabela 13 - Tabela ANOVA, CPIX Z - Viscosidade (20Min)

CP II - Z (20Min)					
Var. Viscosidade			R-sqr=0,86638		
Fator	SS	df	MS	F	p
(1)Microsílica	0,325242	1	0,325242	8,80961	0,011743
(2)SuperPlastificante	0,013748	1	0,013748	0,37237	0,553096
(3)Fator a/c	2,447504	1	2,447504	66,29390	0,000003
1 by 2	0,015129	1	0,015129	0,40979	0,534109
1 by 3	0,043514	1	0,043514	1,17863	0,298963
2 by 3	0,027407	1	0,027407	0,74235	0,405797
Error	0,443028	12	0,036919		
Total SS	3,315571	18			

Fonte: Gerado pelo *software* ‘Statistic’, com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Tabela 14- Tabela ANOVA, CPIX Z - Tensão de Esc. (20Min)

CP II - Z (20Min)					
Var. Tensão de Escoamento			R-sqr= 0,74933		
Fator	SS	df	MS	F	p
(1)Microsílica	5527,99	1	5527,986	7,79053	0,016310
(2)SuperPlastificante	5756,96	1	5756,959	8,11322	0,014667
(3)Fator a/c	7278,57	1	7278,568	10,25761	0,007594
1 by 2	1161,56	1	1161,564	1,63698	0,224926
1 by 3	3386,64	1	3386,638	4,77275	0,049479
2 by 3	2342,04	1	2342,040	3,30061	0,094299
Error	8514,93	12	709,578		
Total SS	33968,69	18			

Fonte: Gerado pelo *software* ‘Statistic’, com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da

Tabela 15 - Tabela ANOVA, CPIX Z - Viscosidade (40Min)

CP II - Z (40Min)					
Var. Viscosidade			R-sqr=0,8922		
Fator	SS	df	MS	F	p
(1)Microsílica	0,318801	1	0,318801	11,04748	0,006786
(2)SuperPlastificante	0,000675	1	0,000675	0,02338	0,881240
(3)Fator a/c	2,212284	1	2,212284	76,66268	0,000003
1 by 2	0,037840	1	0,037840	1,31128	0,276468
1 by 3	0,005621	1	0,005621	0,19479	0,667506
2 by 3	0,052981	1	0,052981	1,83594	0,202600
Error	0,317431	11	0,028857		
Total SS	2,945633	17			

Fonte: Gerado pelo *software* ‘Statistic’, com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Tabela 16 - Tabela ANOVA, CPIX Z - Tensão de Esc. (40Min)

CP II - Z (40Min)					
Var. Tensão de Escoamento			R-sqr= 0,68294		
Fator	SS	df	MS	F	p
(1)Microsílica	7882,33	1	7882,33	4,715946	0,052628
(2)SuperPlastificante	7340,01	1	7340,01	4,391483	0,060057
(3)Fator a/c	15108,31	1	15108,31	9,039206	0,011940
1 by 2	921,18	1	921,18	0,551137	0,473409
1 by 3	4965,59	1	4965,59	2,970883	0,112729
2 by 3	3311,84	1	3311,84	1,981452	0,186863
Error	18385,62	11	1671,42		
Total SS	57914,89	17			

Fonte: Gerado pelo *software* ‘Statistic’, com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da

Tabela 17 - Tabela ANOVA, CII Z - Viscosidade (60Min)

CP II - Z (60Min)					
Var. Viscosidade			R-sqr=0,8013		
Fator	SS	df	MS	F	p
(1)Microsílica	0,376637	1	0,376637	8,22692	0,014135
(2)SuperPlastificante	0,082154	1	0,082154	1,79449	0,205198
(3)Fator a/c	2,100231	1	2,100231	45,87551	0,000020
Error	0,549373	12	0,045781		
Total SS	2,765725	15			

Fonte: Gerado pelo *software* 'Statistic', com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Tabela 18 - Tabela ANOVA, CII Z - Tensão de Esc. (60Min)

CP II - Z (60Min)					
Var. Tensão de Escoamento			R-sqr=0,40282		
Fator	SS	df	MS	F	p
(1)Microsílica	4979,35	1	4979,348	3,048684	0,106326
(2)SuperPlastificante	3896,42	1	3896,416	2,385642	0,148407
(3)Fator a/c	9089,14	1	9089,144	5,564972	0,036116
Error	19599,33	12	1633,278		
Total SS	32819,91	15			

Fonte: Gerado pelo *software* 'Statistic', com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Através das tabelas 11, 13, 15 e 17, é possível observar que diante de uma análise estatística a variação do superplastificante no cimento CP II-Z, não é significativa para os resultados de viscosidade obtidos, exceto quando a análise é realizada imediatamente após a mistura. Além disto, foi constatado que os demais fatores, microsílica e fator água/cimento, apresentaram diferença média significativa para o mesmo parâmetro.

Ao analisar as tabelas 12, 14, 16, 18, verifica-se que até a pasta ensaiada aos 20 minutos, todos os fatores são estatisticamente relevantes na alteração da tensão de escoamento, nas pastas ensaiadas aos 40 e 60 minutos o modelo ressaltou apenas a significância do fator água/cimento. No entanto, o baixo valor do coeficiente de determinação (R^2) para estes dois últimos pode indicar o não adequamento do modelo para o estudo estatístico da propriedade, ou a reduzida consistência dos dados obtidos pelos ensaios, fazendo-se necessário a execução de testes para aqueles que apresentaram valores contraditórios.

4.3.1 Análise de Variância para Pastas CP V- ARI

As tabelas de análise de variância geradas pelo *software* para as pastas com CP II -Z, estão representadas nas tabelas 19 a 26.

Tabela 19- Tabela ANOVA, CPV ARI - Viscosidade (0Min)

CP V- ARI (0Min)					
Var. Viscosidade			R-sqr=0,78647		
Fator	SS	df	MS	F	p
(1)Microsílica	0,147783	1	0,147783	1,25964	0,283674
(2)SuperPlastificante	0,224889	1	0,224889	1,91687	0,191406
(3)Fator a/c	3,132104	1	3,132104	26,69686	0,000234
1 by 2	0,597490	1	0,597490	5,09278	0,043467
1 by 3	0,199697	1	0,199697	1,70214	0,216474
2 by 3	0,883271	1	0,883271	7,52867	0,017804
Error	1,407852	12	0,117321		
Total SS	6,593087	18			

Fonte: Gerado pelo *software* ‘Statistic’, com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Tabela 20 - Tabela ANOVA, CPV ARI – Tensão de Esc. (0Min)

CP V- ARI (0Min)					
Var. Tensão de Escoamento			R-sqr=0,64162		
Fator	SS	df	MS	F	p
(1)Microsílica	2495,59	1	2495,587	4,43503	0,056940
(2)SuperPlastificante	1160,80	1	1160,802	2,06292	0,176475
(3)Fator a/c	5972,11	1	5972,106	10,61333	0,006856
1 by 2	299,26	1	299,255	0,53182	0,479835
1 by 3	2012,25	1	2012,254	3,57608	0,082999
2 by 3	148,92	1	148,924	0,26466	0,616279
Error	6752,38	12	562,698		
Total SS	18841,31	18			

Fonte: Gerado pelo *software* ‘Statistic’, com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Tabela 21 - Tabela ANOVA, CPV ARI - Viscosidade (20Min)

CP V- ARI (20Min)					
Var. Viscosidade			R-sqr=0,7556		
Fator	SS	df	MS	F	p
(1)Microsílica	0,095280	1	0,095280	2,34664	0,153793
(2)SuperPlastificante	0,030160	1	0,030160	0,74281	0,407157
(3)Fator a/c	1,290288	1	1,290288	31,77846	0,000152
Error	0,446629	11	0,040603		
Total SS	1,827444	14			

Fonte: Gerado pelo *software* ‘Statistic’, com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Tabela 22 - Tabela ANOVA, CPV ARI – Tensão de Esc. (20Min)

CP V- ARI (20Min)					
Var. Tensão de Escoamento			R-sqr=0,59619		
Fator	SS	df	MS	F	p
(1)Microsílica	60,21	1	60,205	0,10697	0,749763
(2)SuperPlastificante	5763,99	1	5763,991	10,24088	0,008453
(3)Fator a/c	2984,38	1	2984,377	5,30234	0,041834
Error	6191,25	11	562,841		
Total SS	15332,17	14			

Fonte: Gerado pelo *software* ‘Statistic’, com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Tabela 23 - Tabela ANOVA, CPV ARI - Viscosidade (40Min)

CP V- ARI (40Min)					
Var. Viscosidade			R-sqr=0,67661		
Fator	SS	df	MS	F	p
(1)Microsílica	0,238803	1	0,238803	6,97906	0,029631
(2)SuperPlastificante	0,049390	1	0,049390	1,44343	0,263944
(3)Fator a/c	0,436772	1	0,436772	12,76472	0,007264
Error	0,273737	8	0,034217		
Total SS	0,846448	11			

Fonte: Gerado pelo *software* ‘Statistic’, com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Tabela 24 - Tabela ANOVA, CPV ARI – Tensão de Esc. (40Min)

CP V- ARI (40Min)					
Var. Tensão de Escoamento			R-sqr=0,77768		
Fator	SS	df	MS	F	p
(1)Microsílica	418,99	1	418,99	4,152100	0,075948
(2)SuperPlastificante	1839,53	1	1839,53	18,229440	0,002726
(3)Fator a/c	1254,78	1	1254,78	12,434650	0,007774
Error	807,28	8	100,91		
Total SS	3631,24	11			

Fonte: Gerado pelo *software* ‘Statistic’, com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Tabela 25- Tabela ANOVA, CPV ARI - Viscosidade (60Min)

CP V- ARI (60Min)					
Var. Viscosidade			R-sqr=0,95978		
Fator	SS	df	MS	F	p
(1)Microsílica	0,392414	1	0,392414	46,9438	0,000476
(2)SuperPlastificante	0,114958	1	0,114958	13,7522	0,009989
(3)Fator a/c	0,842134	1	0,842134	100,7430	0,000057
Error	0,050155	6	0,008359		
Total SS	1,216822	9			

Fonte: Gerado pelo *software* ‘Statistic’, com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Tabela 26 - Tabela ANOVA, CPV ARI – Tensão de Esc. (60Min)

CP V- ARI (60Min)					
Var. Tensão de Escoamento			R-sqr=0,88334		
Fator	SS	df	MS	F	p
(1)Microsílica	1265,307	1	1265,307	10,67289	0,017100
(2)SuperPlastificante	3231,883	1	3231,883	27,26100	0,001974
(3)Fator a/c	2043,159	1	2043,159	17,23409	0,006002
Error	711,320	6	118,553		
Total SS	6097,487	9			

Fonte: Gerado pelo *software* ‘Statistic’, com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Ao se executar análise das tabelas acima, verifica-se que para amostras com CP V- ARI, em todos os intervalos de tempo a variação do fator água/cimento permanece significativa tanto para viscosidade assim como para a tensão de escoamento das pastas.

O teor de superplastificante apresentou-se significativo apenas para a viscosidade quando a amostra ensaiada em 60 minutos e para a tensão de escoamento em todos os intervalos de tempo, exceto nos ensaios realizados imediatamente após a mistura.

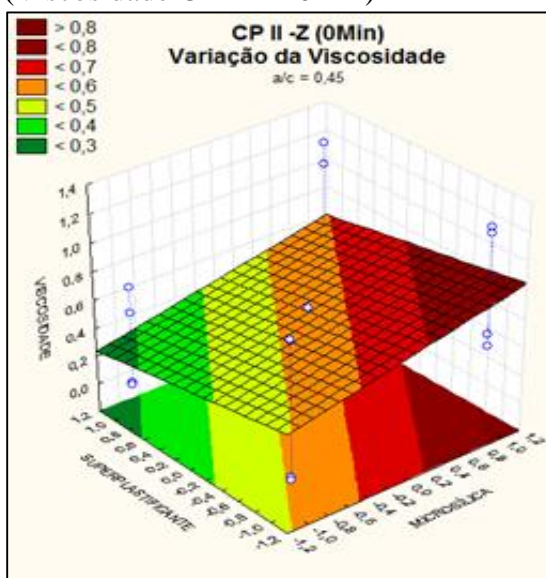
4.4 ESTUDO DO COMPORTAMENTO DAS PASTAS DE CIMENTO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DE SEUS FATORES

Para averiguar o comportamento da viscosidade e da tensão de escoamento nas pastas em função da variação das quantidades de microssilica, superplastificante e água/cimento, foram construídos superfícies de respostas com o auxílio do *software* “Statistica”.

4.4.1 Variação da Viscosidade

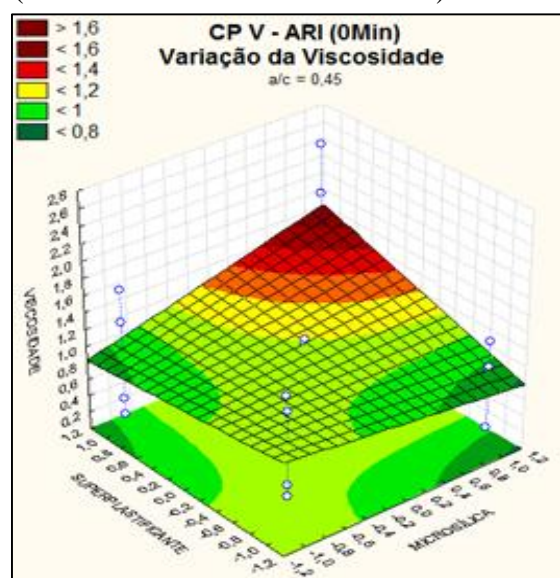
As figuras 08 e 09 apresentam as superfícies de resposta para um fator água-cimento mantido constante em 0,45 (ponto central), obtidas para a viscosidade de pastas com CP II-Z e CP V -ARI, respectivamente.

Figura 8 - Superfície de Resposta (Viscosidade CPII-Z - 0Min)



Fonte: Gerado pelo *software* “Statistic”, com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Figura 9 - Superfície de Resposta (Viscosidade CP V - ARI - 0Min)



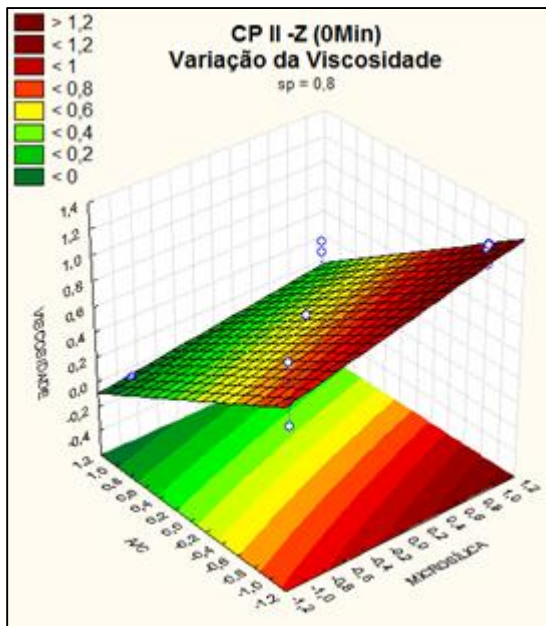
Fonte: Gerado pelo *software* “Statistic”, com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Para um dado fator água/cimento constante nas pastas com CP II-Z (figura 08), verifica-se que o aumento da concentração de microssílica associado à diminuição do teor de superplastificante acarreta no aumento máximo da viscosidade aparente e uma consequente queda na fluidez da pasta, de acordo com o previsto. Ao considerar a pasta ainda com o máximo de teor de microssílica e caminhando para uma menor concentração de superplastificante há uma queda progressiva dessa viscosidade, que atinge seu ponto mínimo quando se têm o mínimo de microssílica e o mínimo de plastificante.

No entanto, o comportamento da viscosidade para um dado valor constante de água/cimento não é similar quando se estuda pastas que utilizam o CP V- ARI (figura 9), que apresenta viscosidade máxima para o máximo de superplastificante e o máximo de microssílica, é possível constatar também que a maior fluidez nas pastas de cimento com CP V- ARI, dá-se na presença do menor índice de plastificante associado com o maior teor de sílica, assim como para menor teor de sílica e máximo de plastificante. É importante lembrar que na análise estatística de variância os fatores de superplastificante e microssílica não apresentaram significância em função da viscosidade, para pastas com CP V- ARI aos 0 minutos. Outro fato a ser mencionado é que o CP V – ARI possui granulometria muito mais fina que o CP II-Z, logo há uma tendência de comportamento em diferentes escalas com a inserção da microssílica que impacta diretamente no processo de empacotamento das partículas influenciando diretamente nos parâmetros reológicos obtidos.

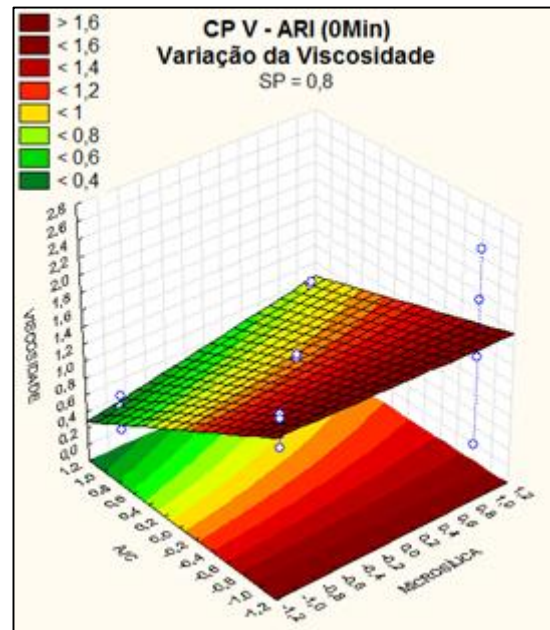
As figuras 10 e 11 apresentam as superfícies de resposta, para um teor de superplastificante de 0,8, obtidas para a viscosidade de pastas com CP II-Z e CP V -ARI, nesta ordem.

Figura 10 - Superfície de Resposta (Viscosidade CP II Z - 0Min)



Fonte: Gerado pelo *software* 'Statistic', com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Figura 11 - Superfície de Resposta (Viscosidade CP V- ARI - 0Min)

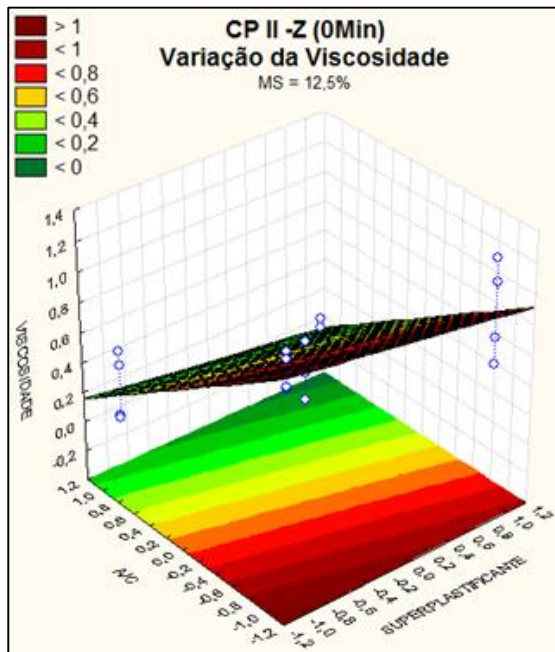


Fonte: Gerado pelo *software* 'Statistic', com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Através da análise das figuras 10 e 11, observou-se que o aumento do fator água/cimento associado a menor quantidade de microssílica ocasionaram em uma maior fluidez das pastas e que a viscosidade atingiu seu máximo para pastas com o máximo teor de ambas as variantes simultaneamente.

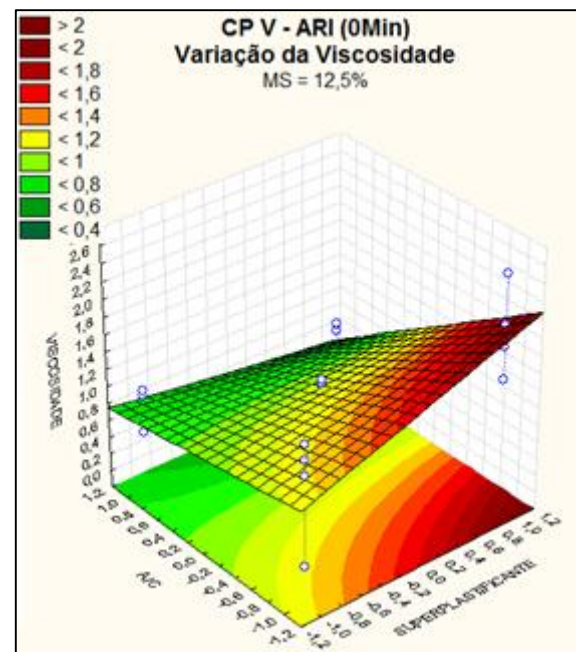
As figuras 12 e 13 apresentam as superfícies de resposta, para uma quantidade constante de microssílica de 12,5%, obtidas para a viscosidade de pastas com CP II-Z e CP V -ARI, nesta ordem.

Figura 12 - Superfície de Resposta (Viscosidade CP II -Z - 0Min)



Fonte: Gerado pelo *software* 'Statistic', com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Figura 13 - Superfície de Resposta (Viscosidade CP V - ARI - 0Min)



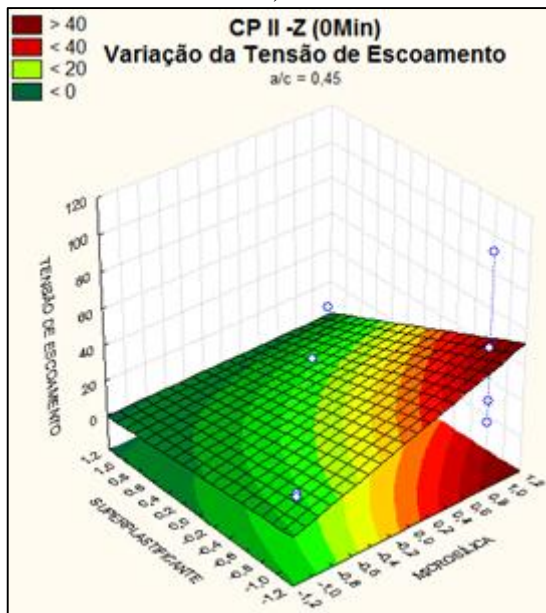
Fonte: Gerado pelo *software* 'Statistic', com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Para as pastas com CP II-Z, a viscosidade tem seu ápice quando há um menor teor de superplastificante juntamente com reduzido fator água/cimento, a viscosidade mínima é obtida quando a pasta apresenta maior quantidade de água e superplastificante. No cimento CP V – ARI a viscosidade máxima ocorre para uma maior quantidade de superplastificante juntamente com o menor fator de água/cimento, comportamento contrário ao expectável tendo em vista que uma das principais propriedades do superplastificante é a redução da viscosidade, no entanto análise estatística de variância para a viscosidade de pastas com CP V- ARI, retrata a não significância do superplastificante neste parâmetro. Outro reflexo disso é visivelmente observado quando comparado as inclinações das superfícies das figuras 12 e 13, que retrata que a viscosidade da pasta de CP II – Z é muito mais sensível a alterações destas variáveis que a pasta com CP V – ARI.

4.4.2 Variação da Tensão de Escoamento

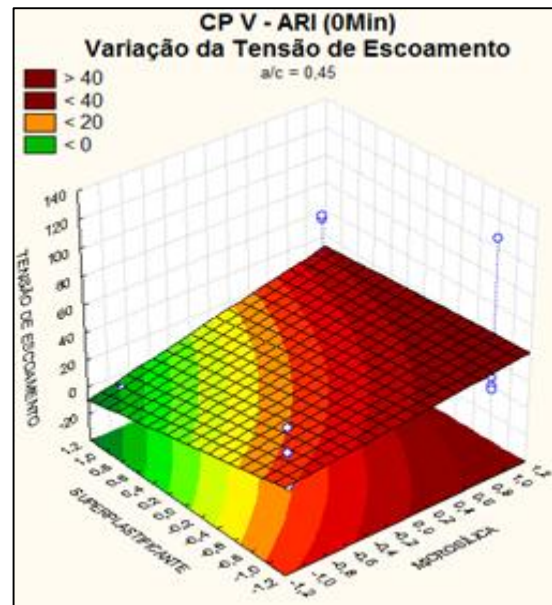
As figuras 14 e 15 apresentam as superfícies de resposta, para o fator a/c constante de 0,45, figuras 16 e 17 para teor de superplastificante de 0,8 e as figuras 18 e 19 para microsílica em 12,5%, obtidas para a tensão de escoamento de pastas com CP II-Z e CP V -ARI.

Figura 14 - Superfície de Resposta (Tens. Esc. CP II -Z - 0Min)



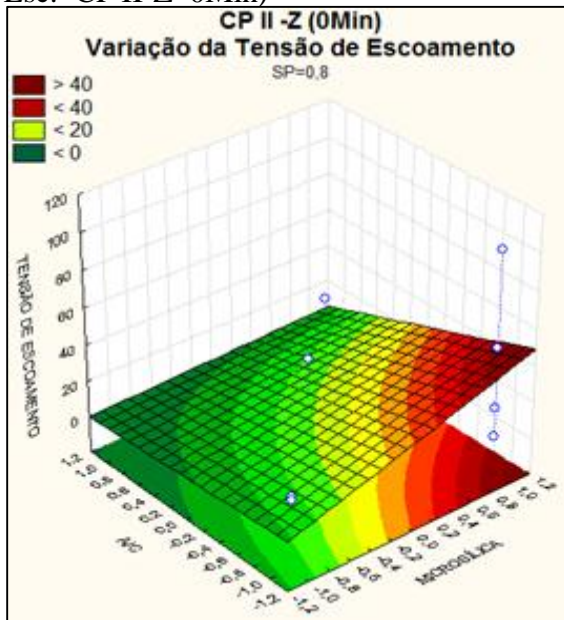
Fonte: Gerado pelo *software* 'Statistic', com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Figura 15 - Superfície de Resposta (Tens. Esc. CP V- ARI - 0Min)



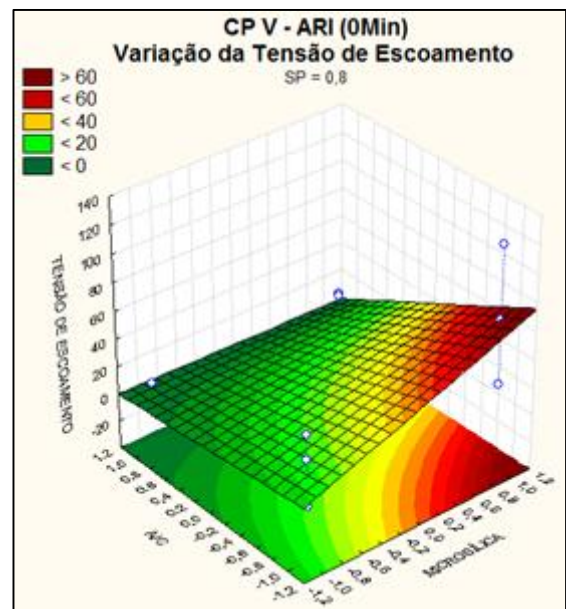
Fonte: Gerado pelo *software* 'Statistic', com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Figura 16 - Superfície de Resposta (Tens. Esc. CP II-Z 0Min)



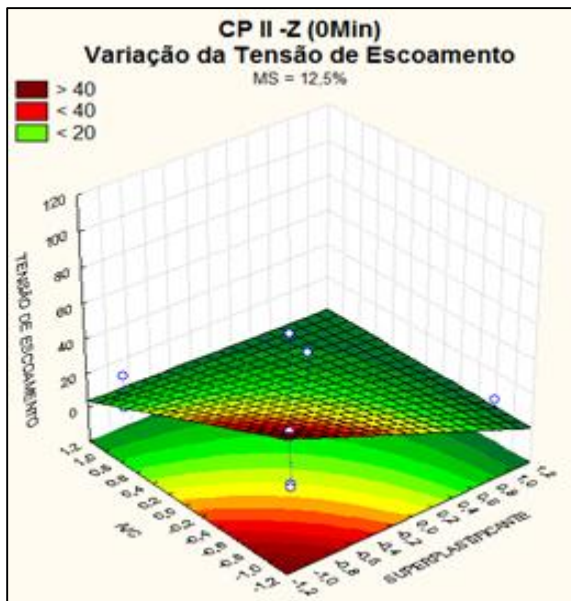
Fonte: Gerado pelo *software* 'Statistic', com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Figura 17 - Superfície de Resposta (Tens. Esc. CP V-ARI - 0Min)



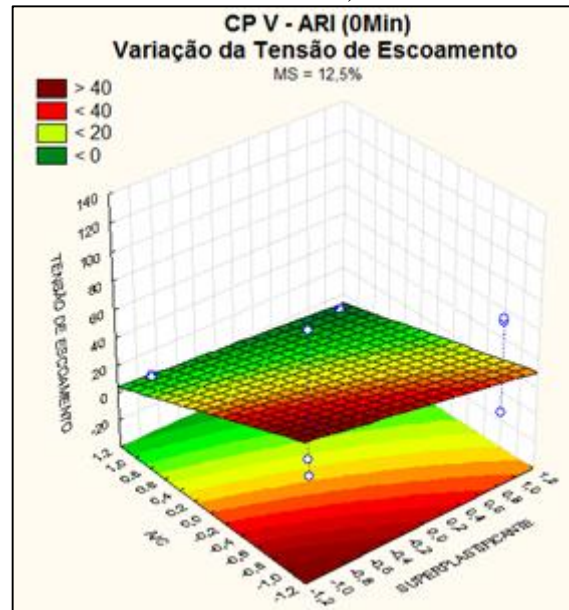
Fonte: Gerado pelo *software* 'Statistic', com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Figura 18- Superfície de Resposta (Tens. Esc. CP II - Z - 0Min)



Fonte: Gerado pelo *software* 'Statistic', com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Figura 19 - Superfície de Resposta (Tens. Esc. CP V - ARI - 0Min)



Fonte: Gerado pelo *software* 'Statistic', com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

A priori baseado na lei básica da viscosimetria, formulada por Newton, considera-se uma relação diretamente proporcional entre a tensão de escoamento e a viscosidade.

Ao analisar as figuras 14 e 15 é perceptível que o comportamento das pastas em função das variáveis entre elas é similar, assim como que as tensões de escoamento para as pastas com CP V-ARI são relativamente maiores que as verificadas para pastas com CP II-Z. Em geral conforme o esperado, a tensão de escoamento é maior quando há uma maior concentração de microssílica para o teor mínimo de superplastificante. Constatou-se comportamento semelhante através das figuras 16 e 17, quando para um dado valor fixo de superplastificante variou-se os demais fatores, e nas figuras 18 e 19 quando os fatores relacionados foram superplastificante e fator água/cimento.

5.0 CONCLUSÕES

O comportamento reológico verificado nas pastas estudadas, apontam para características de fluidos binghamianos, confirmando assim a condição de que para que haja o escoamento do material é necessário que se atinja um valor mínimo de tensão de cisalhamento, depois da qual a tensão de cisalhamento permanece diretamente proporcional a taxa de cisalhamento. A semelhança com comportamento newtoniano para os ensaios realizados imediatamente após a mistura e aos 20 minutos, averiguada na pasta 07, é um alerta para a necessidade de estudos detalhados em relação a utilização de superplastificantes, mesmo quando utilizados em conjunto com adições naturais que tendem a aumentar a resistência de cisalhamento e compacidade da pasta, com o objetivo de assegurar a não segregação das partículas.

Os resultados obtidos através da análise de variância expressam que as variáveis que compõem a dosagem das pastas de cimento não influenciam em uma dada taxa de proporcionalidade fixa, ressaltando a necessidade de análise de suas propriedades reológicas para garantir a eficiência das propriedades mecânicas das misturas.

A diferença entre os valores obtidos para a viscosidade de pastas iguais mas com cimentos diferentes, em especial no ensaio realizado imediatamente após o processo de mistura, induz ao conceito de que a granulometria fina do CP V - ARI exerce uma maior influência repercutindo no aumento da viscosidade do que a ação do elevado calor de hidratação que deveria ocasionar a redução do respectivo parâmetro reológico.

As tensões de escoamento obtidas para as pastas que utilizam C PV- ARI, apresentaram comportamento reológico similar às obtidas para as pastas com CP II -Z, mas em se tratando de intensidade as primeiras foram preponderantemente superiores.

Sugestões para trabalhos futuros

- a) Realizar análise de rugosidade das fitas anti-derrapantes utilizadas para evitar o deslizamento da amostra.
- b) Realizar ensaios de granulometria a laser para uma melhor análise das propriedades reológicas, considerando a teoria do empacotamento de partículas.
- c) Acompanhamento da formação dos cristais durante o processo de hidratação do concreto, através de monitoramento por microscópio eletrônico de varredura.
- d) Monitoramento da temperatura da pasta de cimento ao longo dos ensaios.
- e) Monitoramento da corrente elétrica que alimenta o reômetro durante os ensaios.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia Básico de utilização de cimento Portland. 7ed. São Paulo, 2002.

BARNES, Howard A. A handbook of elementary rheology. University of Wales. Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Aberystwyth, Reino Unido. 2000. Disponível em: < [http://bestbooksfilestwo.com/0000005206/download/?id=5206 &name=Handbook%20of%20Elementary%20Rheology](http://bestbooksfilestwo.com/0000005206/download/?id=5206&name=Handbook%20of%20Elementary%20Rheology)>. Acesso em: 19 de abril de 2016.

BETIOLI, Andrea Murillo; JOHN, Vanderley Moacyr; GLEIZE, Philippe Jean Paul; PILEGGI, Rafael Giuliano. Caracterização reológica de pasta cimentícia: associação de técnicas complementares. Scielo Brasil. Porto Alegre, v.9, n.4, p. 37- 48, out. /dez. 2009. Disponível em: < <http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/9447/7080> >. Acesso em: 17 de abril de 2016.

CASTRO, Alessandra Lorenzetti de. Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-04032008-082549/>>. Acesso em: 14 de abril de 2016.

FERRARIS, C. F.; GAIDIS, J. M. Connection between the rheology of concrete and rheology of cement paste. ACI Materials Journal, Detroit, v. 89, n. 4, p. 388-393, July.-Aug. 1992. 17 de abril de 2016.

FOX, R.W.; McDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. Introdução a Mecânica dos Fluidos, 6ed., editora LTC, Rio de Janeiro, 2006.

MALKIN, A. Y.; ISAYEV, A. Rheology: concepts, methods and applications. 2ed., editora Chemtec Publishing, Toronto, 2012.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto - Microestrutura, Propriedades e Materiais. 3ed. Editora IBRACON, São Paulo, 2008.

NETO, B. de B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. 2ed., editora UNICAMP, Campinas, SP, 2001.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Concrete Technology. 2nd ed. Pearson Education Limited, Endinburgh, Reino Unido, 2010.

OLIVEIRA, Caroline Oliveira e. Análise das propriedades reológicas de materiais cimentícios associando o conceito de empacotamento de partículas. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2013. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/11449/88851>>. Acesso em: 22 de abril de 2016.

REIS, João Felipe Araújo. Determinação de parâmetros reológicos de concretos através do ensaio de abatimento de tronco de cone modificado: Estudo de Caso. 2008. Tese - (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Disponível em: < >. Acesso em: 19 de maio de 2016.

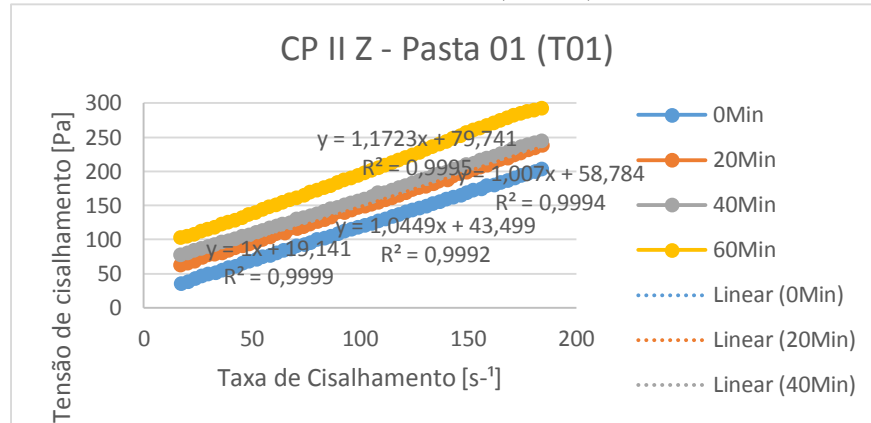
SCHRAMM, Gebhard. Reologia e Reometria: fundamentos teóricos e práticos. 2ed., Artliber Editora Ltda., São Paulo, 2006.

TANNER, Roger. Engineering Rheology. 2ed. Oxford University Press, New York, 2002.

APÊNDICE A – CURVAS DE FLUXO

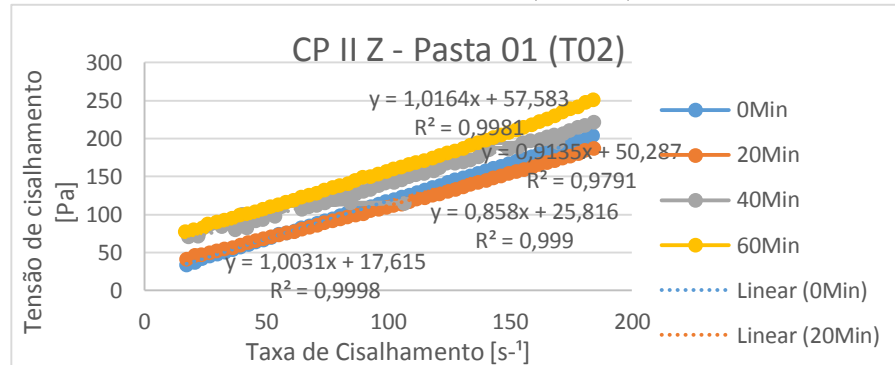
A.1 Pastas com Cimento CP II - Z

Gráfico 8- Curva de Fluxo - Pasta 01 (fita 01)



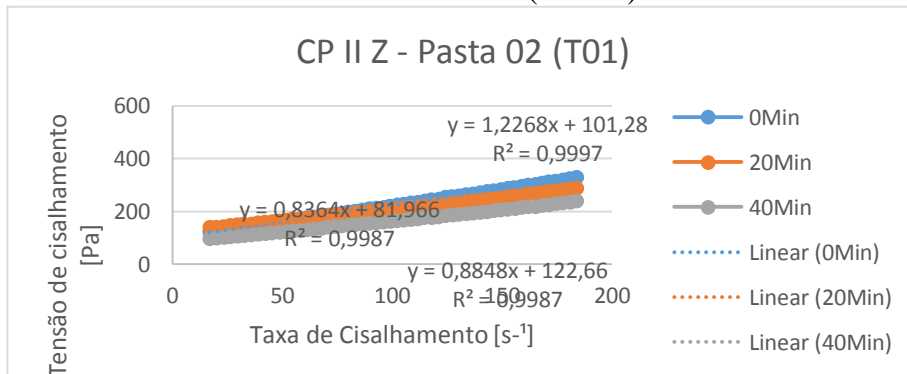
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB

Gráfico 9 - Curva de Fluxo - Pasta 01 (Fita 02)



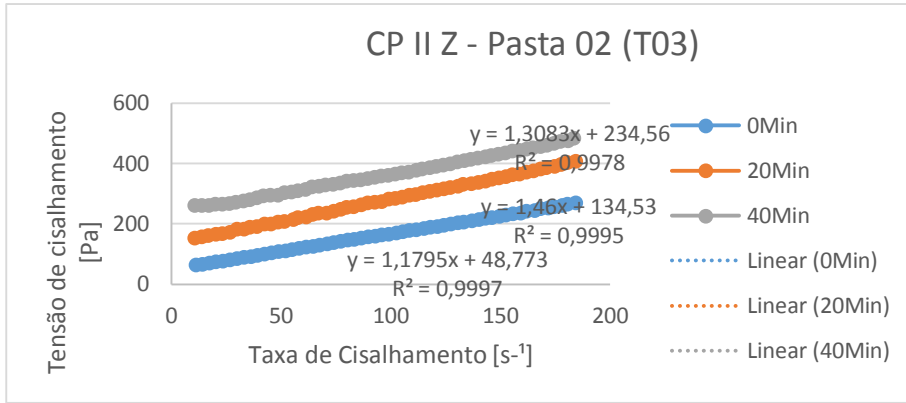
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB

Gráfico 10- Curva de Fluxo - Pasta 02 (Fita 01)



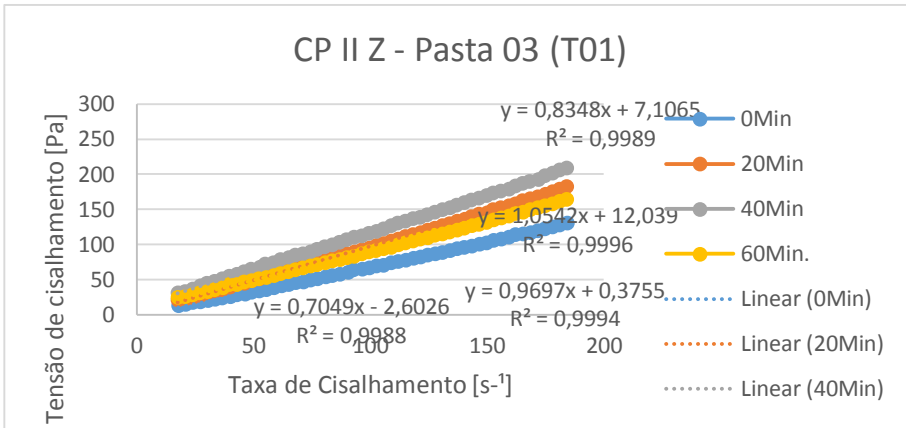
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB

Gráfico 11- Curva de Fluxo - Pasta 02 (Fita 02)



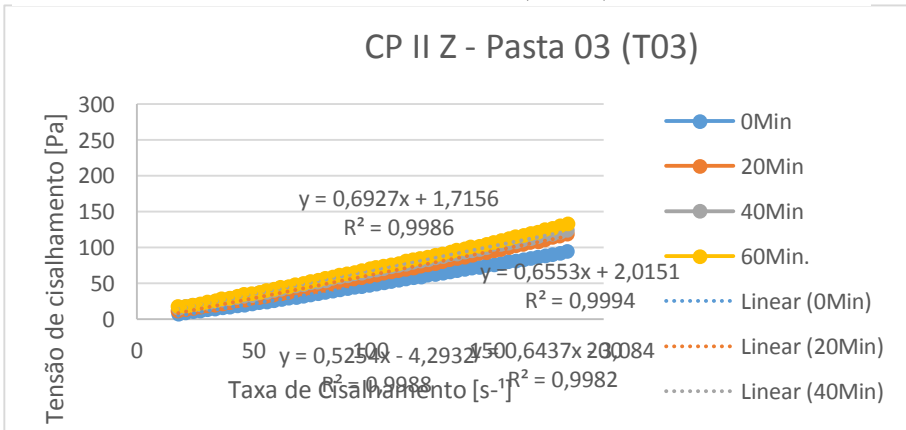
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB

Gráfico 12- Curva de Fluxo - Pasta 03 (fita01)



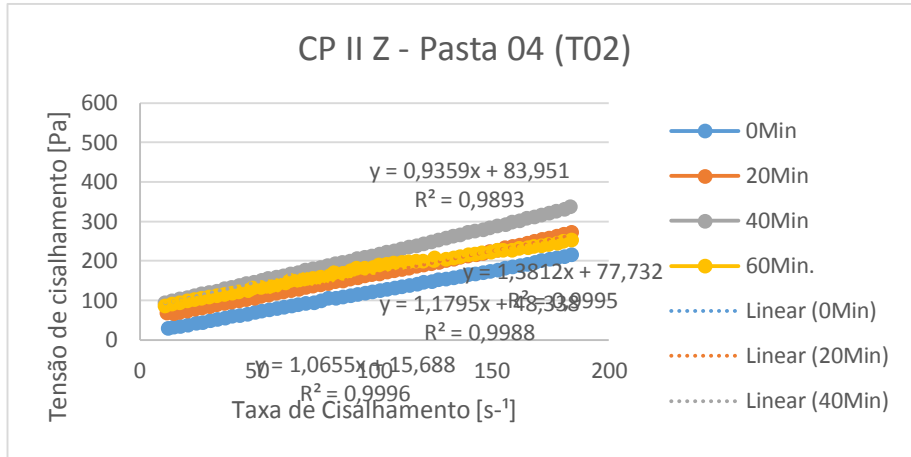
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB

Gráfico 13 - Curva de Fluxo - Pasta 03 (fita02)



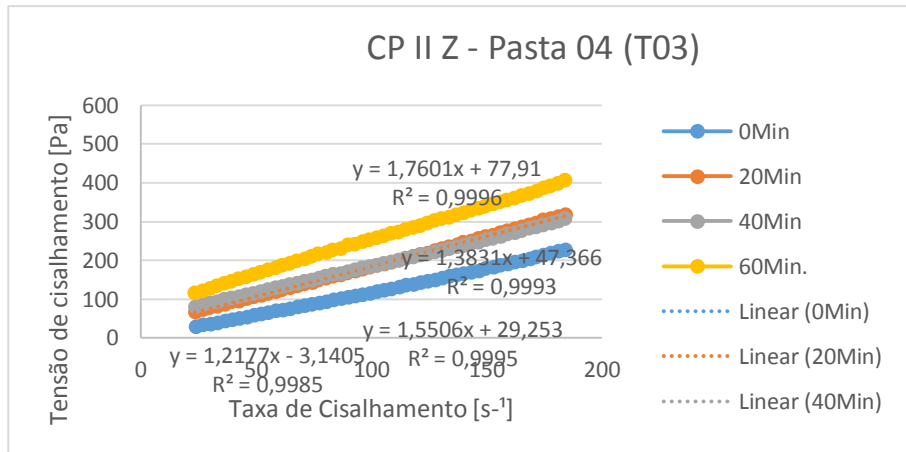
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB

Gráfico 14- Curva de Fluxo - Pasta 04 (fita01)



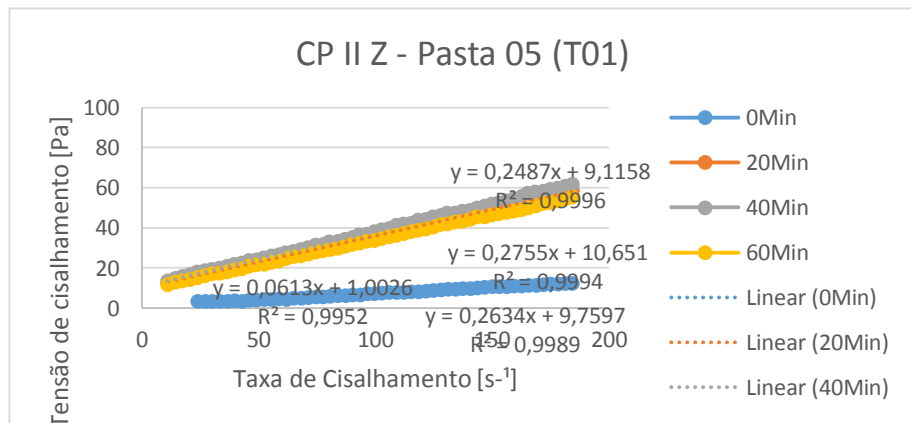
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB

Gráfico 15- Curva de Fluxo - Pasta 04 (fita02)



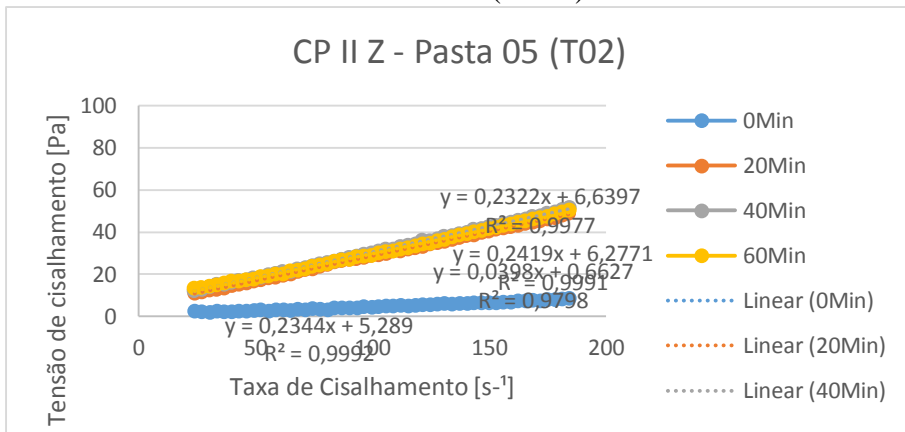
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB

Gráfico 16 - Curva de Fluxo - Pasta 05 (fita01)



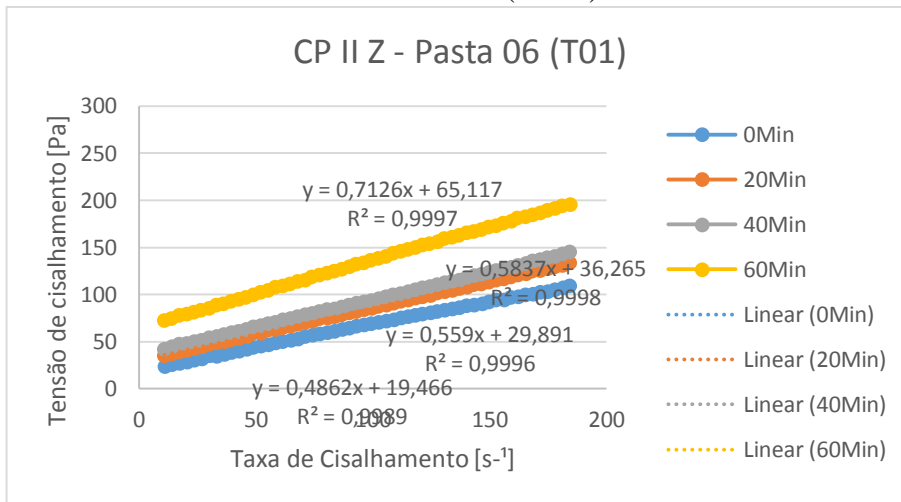
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB

Gráfico 17- Curva de Fluxo - Pasta 05 (fita02)



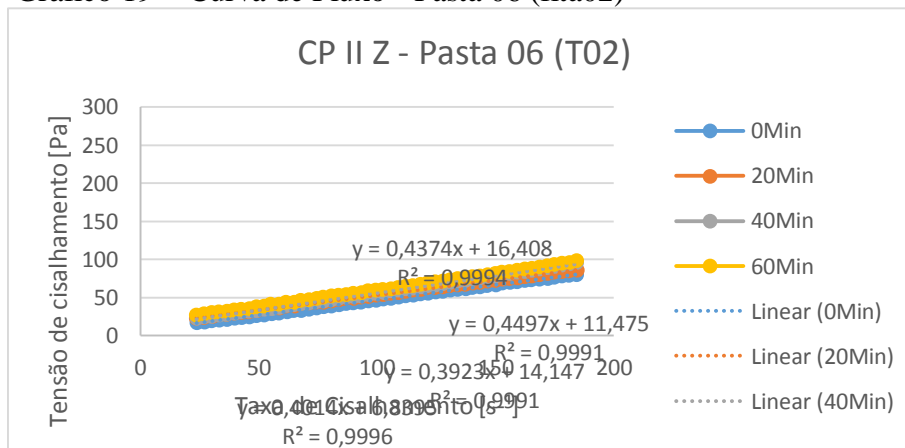
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 18- Curva de Fluxo - Pasta 06 (fita01)



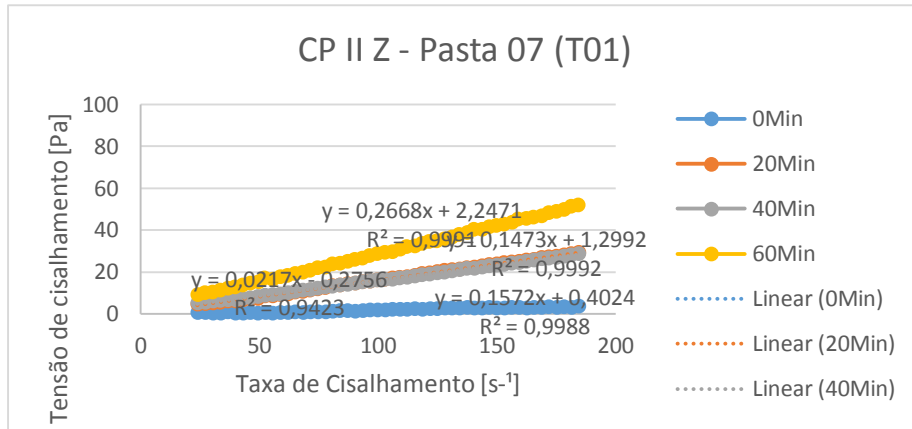
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 19 - Curva de Fluxo - Pasta 06 (fita02)



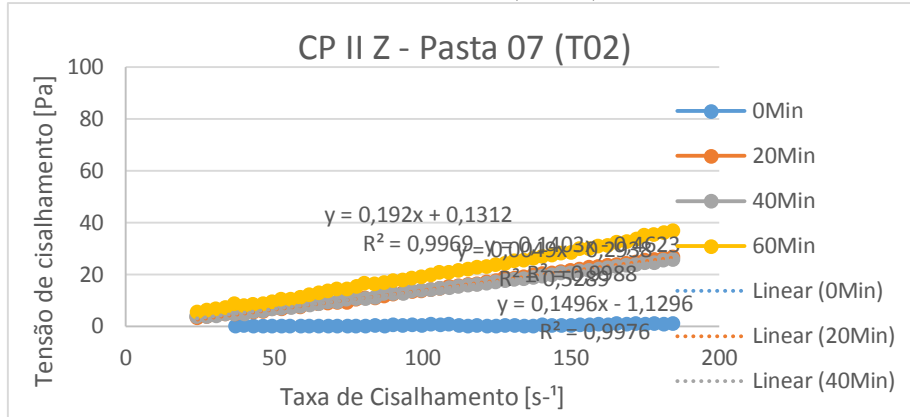
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 20 - Curva de Fluxo - Pasta 07 (fita01)



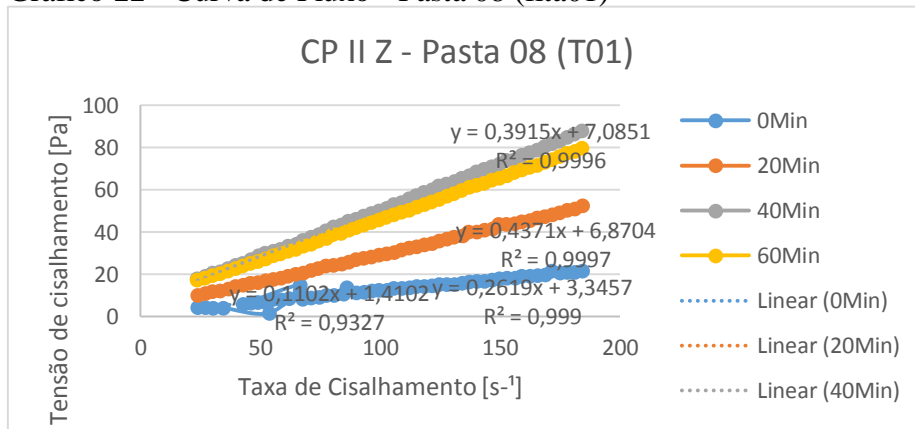
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 21 - Curva de Fluxo - Pasta 07 (fita02)



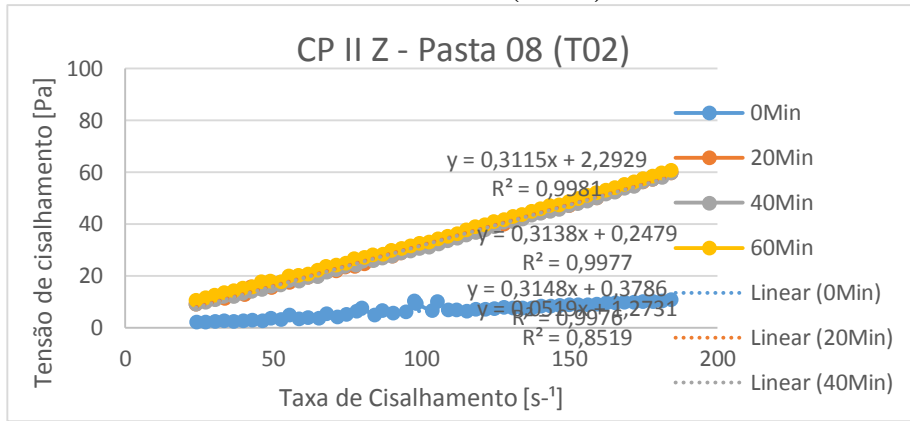
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 22 - Curva de Fluxo - Pasta 08 (fita01)



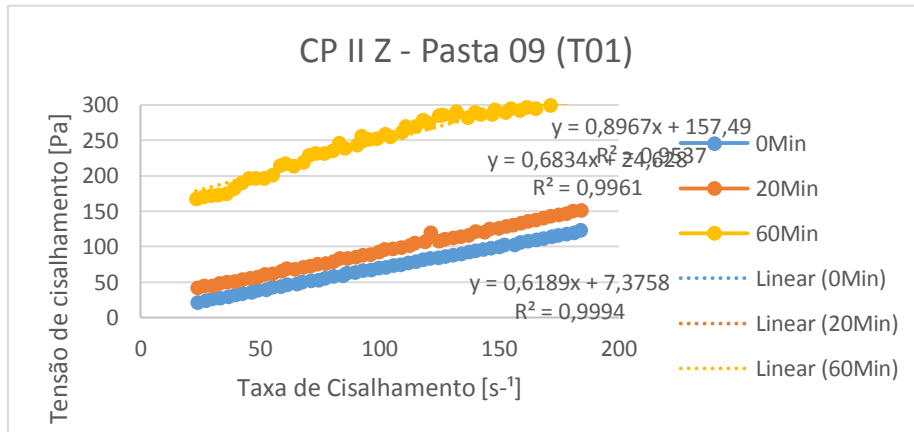
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 23 - Curva de Fluxo - Pasta 08 (fita02)



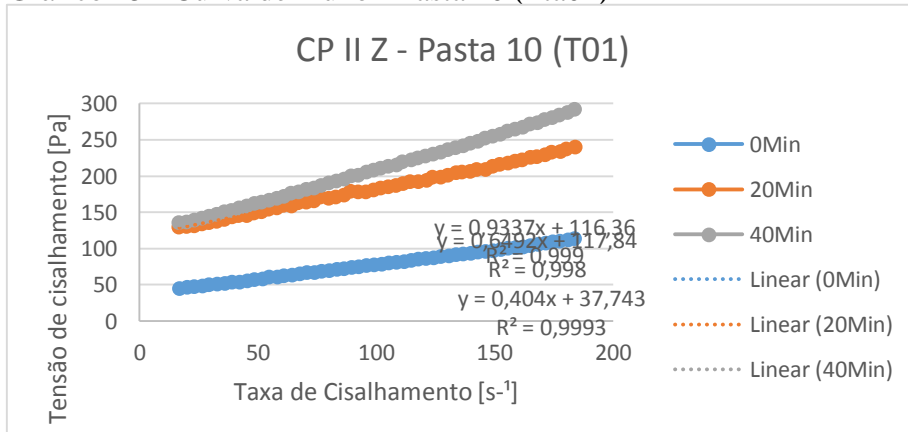
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 24 - Curva de Fluxo - Pasta 09 (fita01)



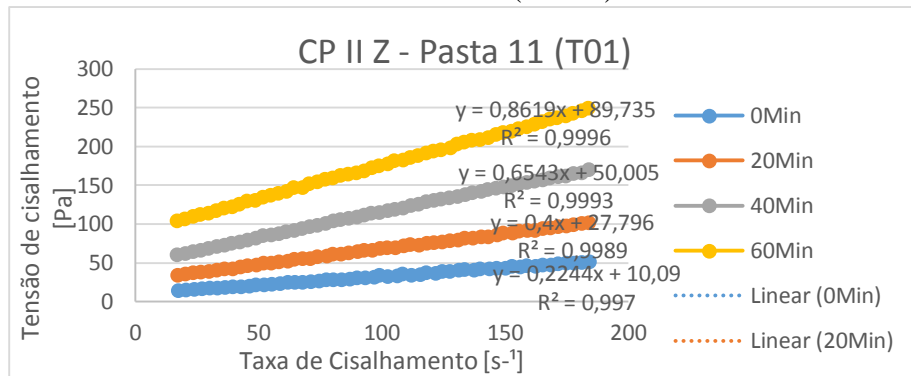
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 25 - Curva de Fluxo - Pasta 10 (fita01)



Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

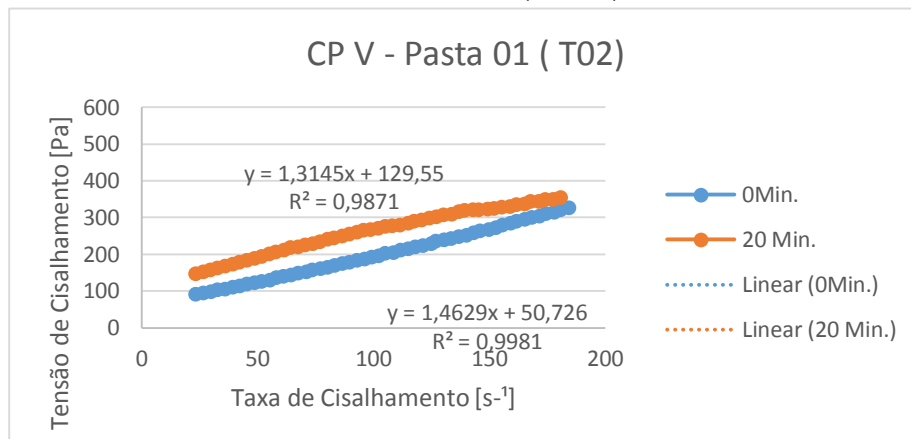
Gráfico 26 - Curva de Fluxo - Pasta 11 (fita 01)



Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

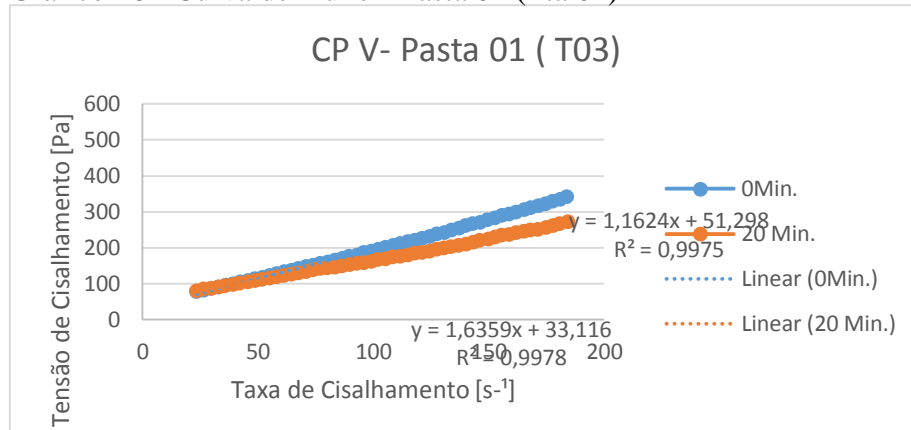
A.2 Pastas com CP V – ARI

Gráfico 27 - Curva de Fluxo - Pasta 01 (fita 01)



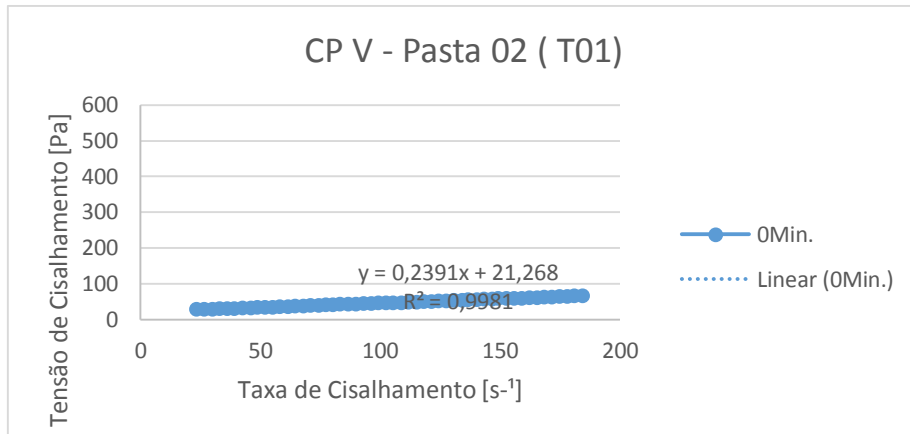
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 28 - Curva de Fluxo - Pasta 01 (fita 02)



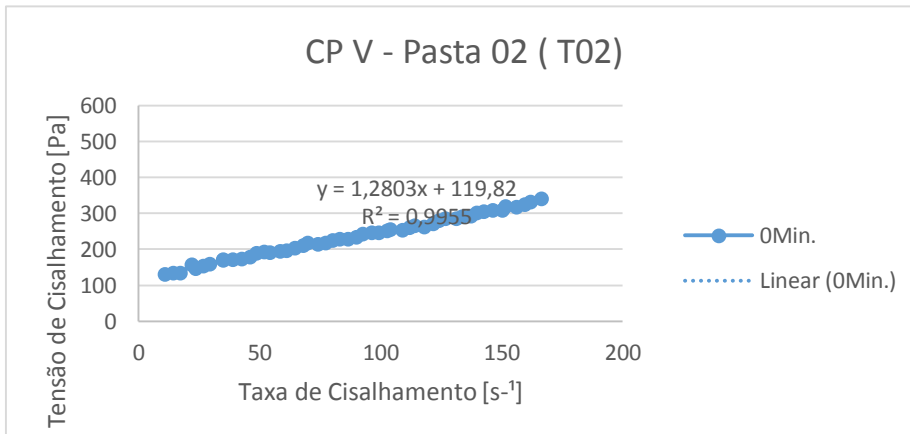
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 29- Gráfico 21 - Curva de Fluxo - Pasta 02 (fita 01)



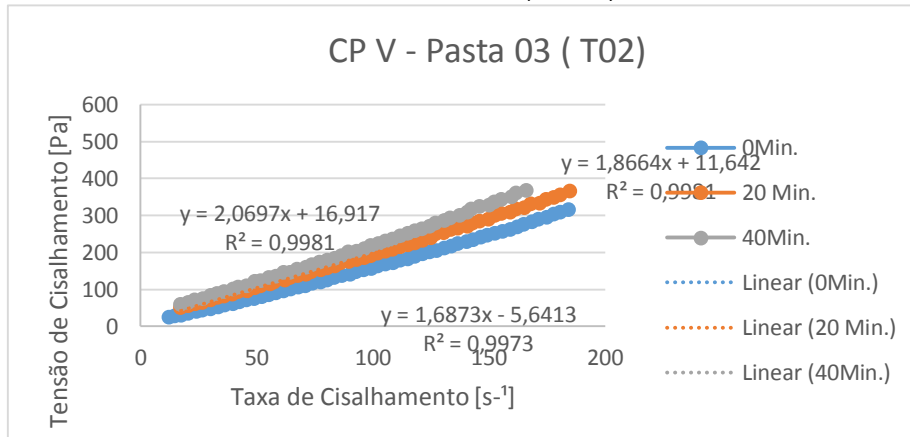
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 30- Curva de Fluxo - Pasta 02 (fita02)



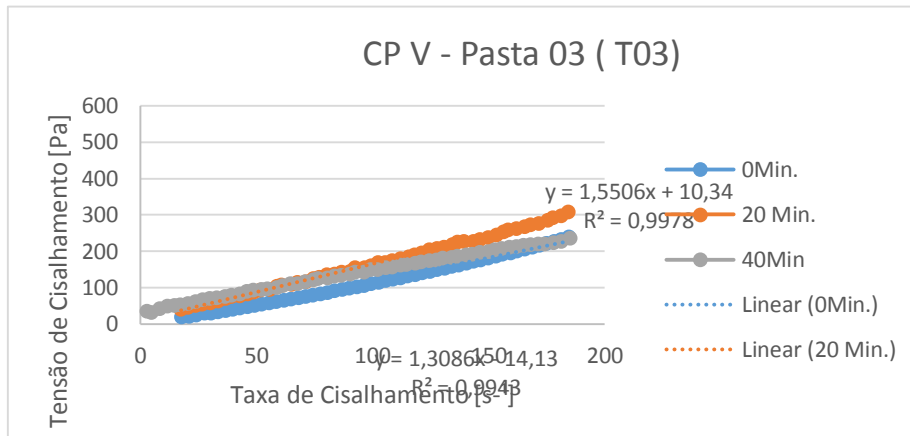
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 31 - Curva de Fluxo - Pasta 03 (fita02)



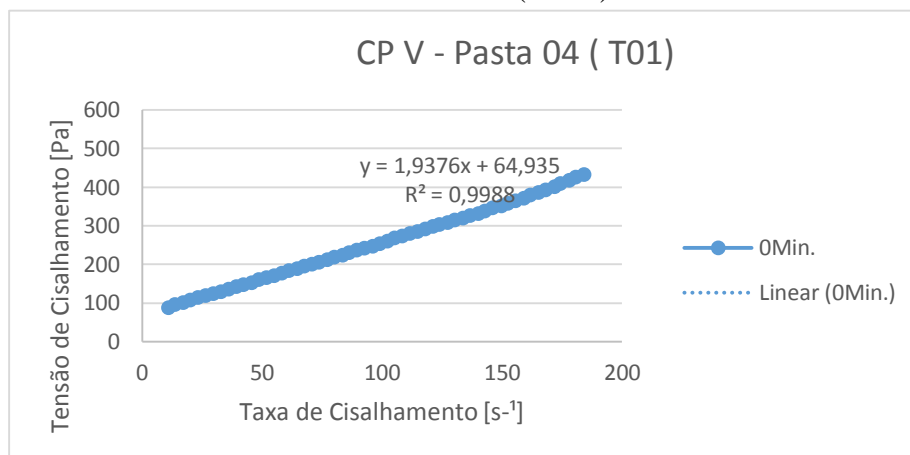
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 32 - Curva de Fluxo - Pasta 03 (fita03)



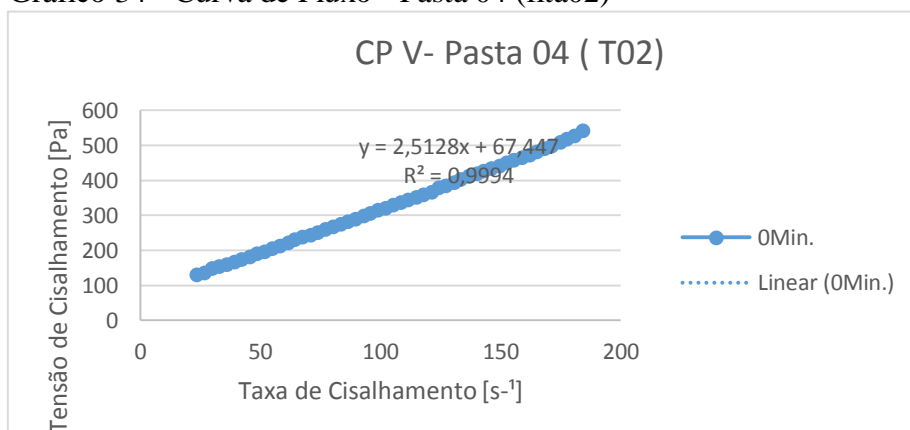
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 33 - Curva de Fluxo - Pasta 04 (fita01)



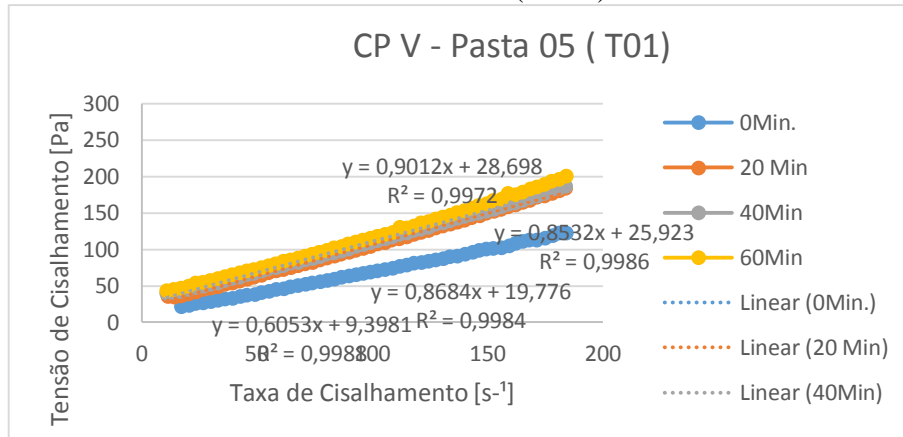
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 34 - Curva de Fluxo - Pasta 04 (fita02)



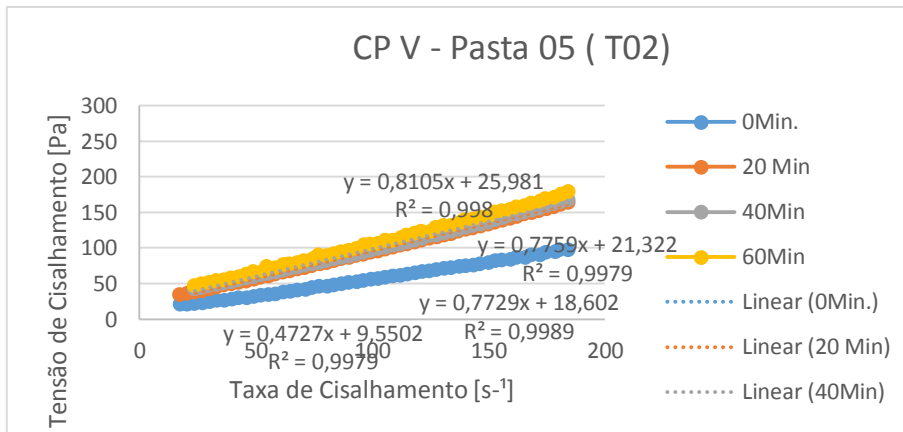
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 35 - Curva de Fluxo - Pasta 05 (fita01)



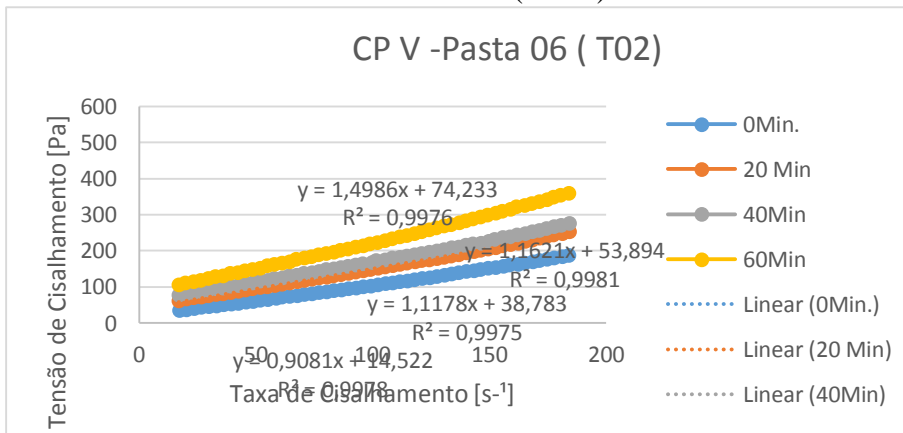
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 36 - Curva de Fluxo - Pasta 05 (fita02)



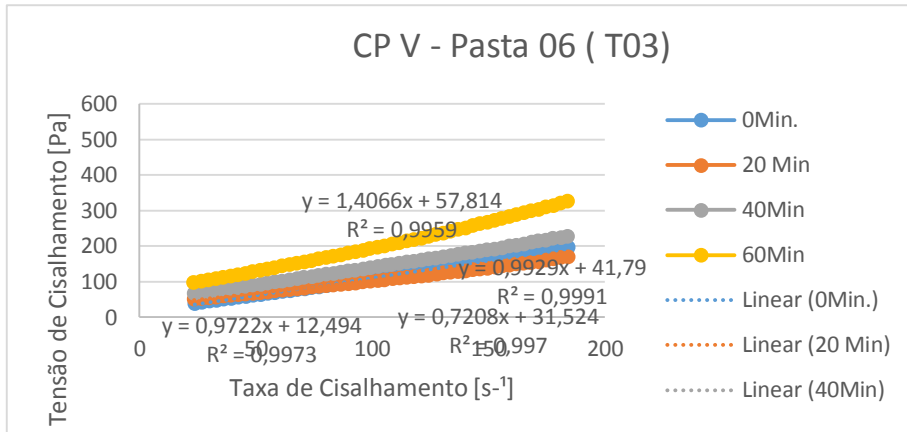
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 37 - Curva de Fluxo - Pasta 06 (fita02)



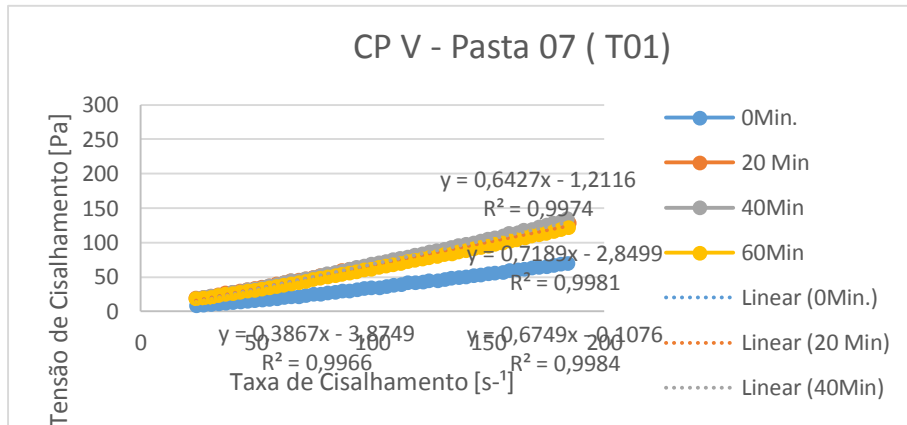
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 38- Curva de Fluxo - Pasta 06 (fita03)



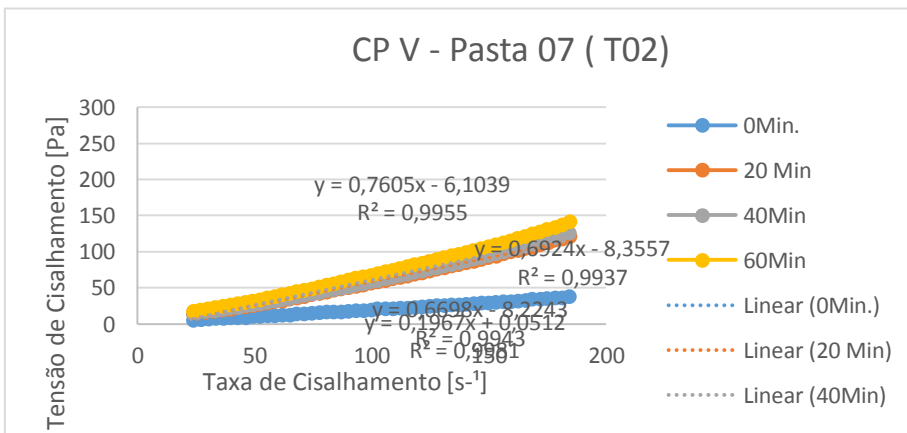
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 39 - Curva de Fluxo - Pasta 07 (fita01)



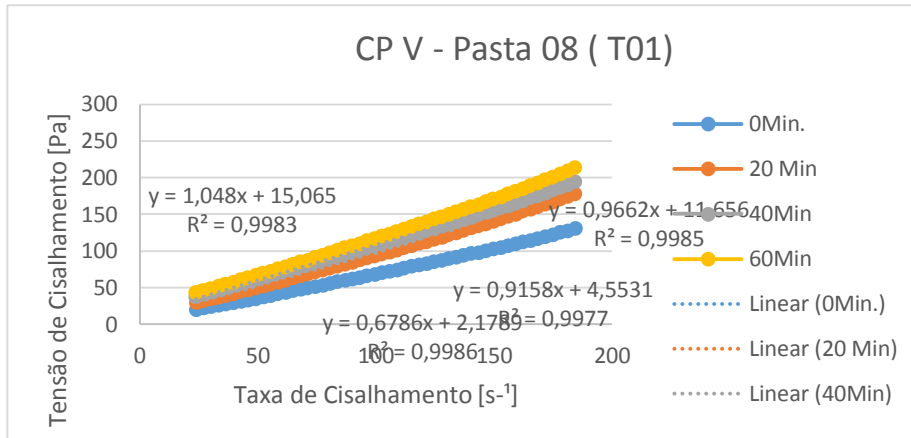
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 40- Curva de Fluxo - Pasta 07 (fita02)



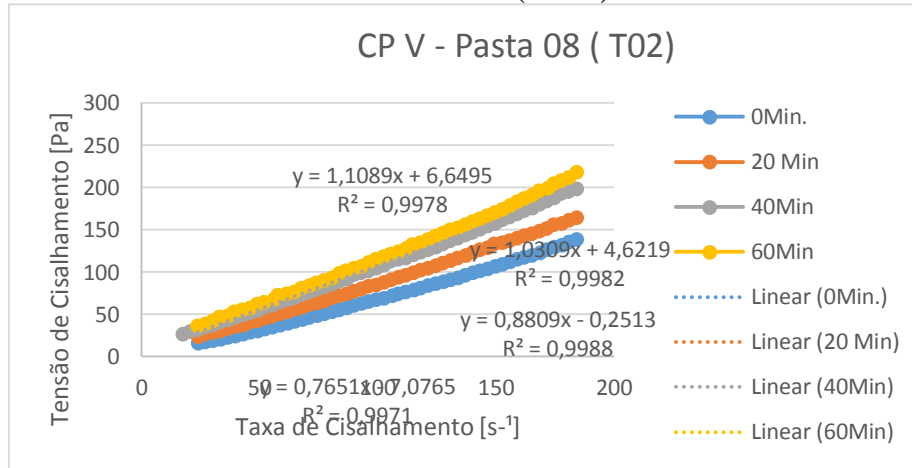
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 41 - Curva de Fluxo - Pasta 08 (fita01)



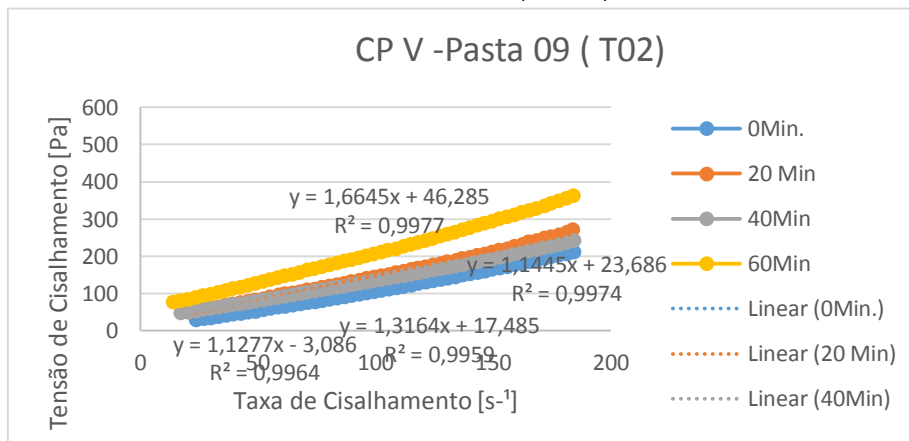
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 42 - Curva de Fluxo - Pasta 08 (fita02)



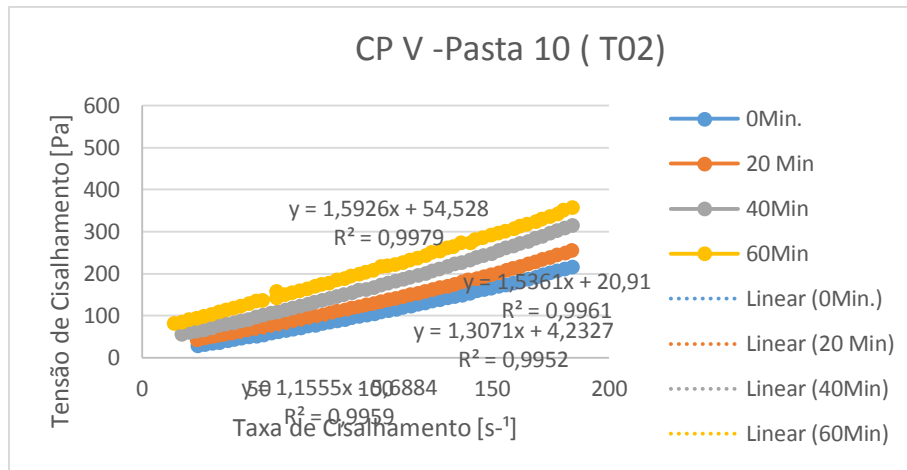
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 43 - Curva de Fluxo - Pasta 09 (fita02)



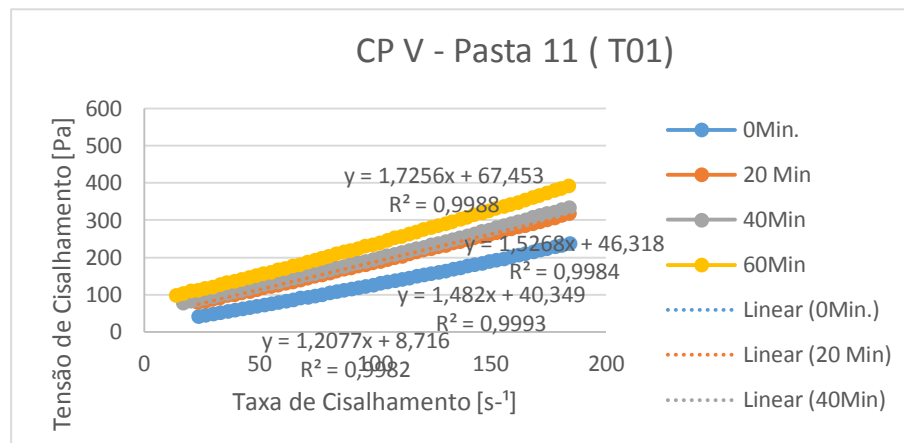
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 44- Curva de Fluxo - Pasta 10 (fita02)



Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 45- Curva de Fluxo - Pasta 11 (fita01)

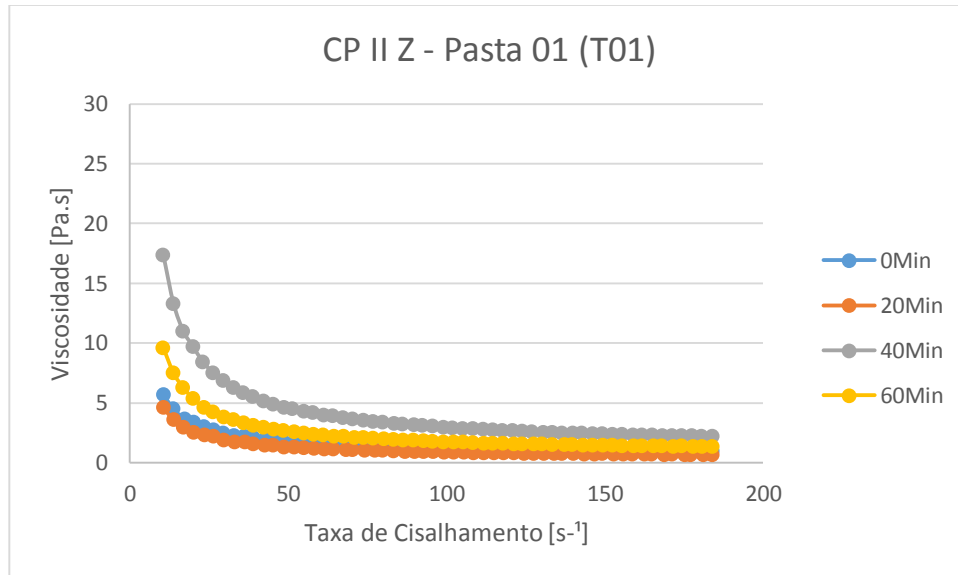


Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

APÊNDICE B – CURVAS DE VISCOSIDADE

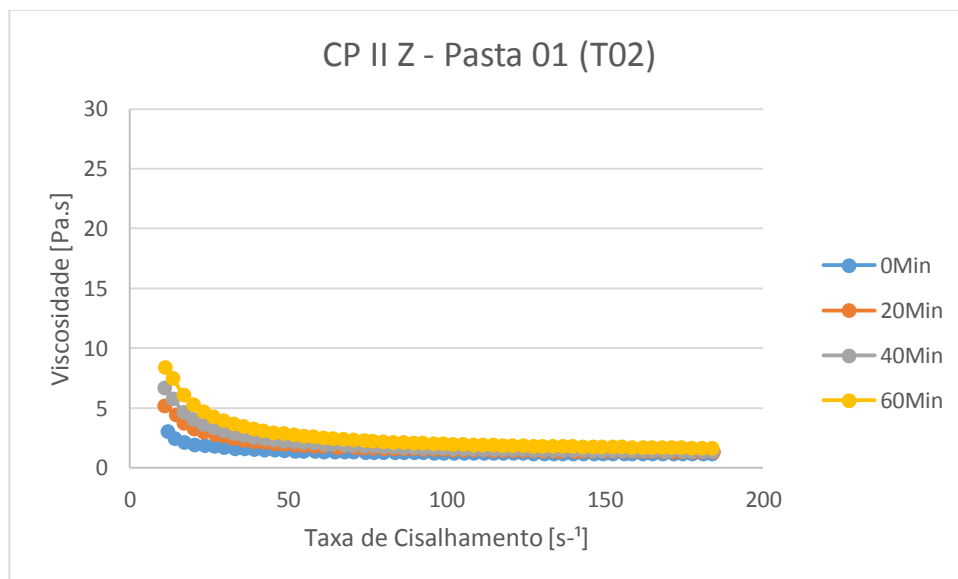
B.1 CURVAS DE VISCOSIDADE DE PASTAS COM CPII-Z

Gráfico 46 - Curva de Viscosidade - Pasta 01 (fita01)



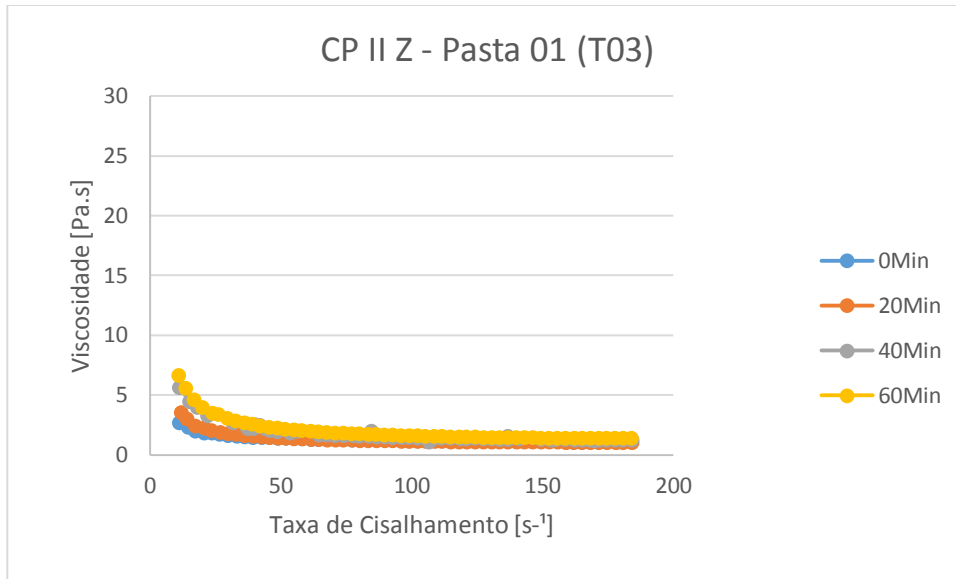
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 47- Curva de Viscosidade - Pasta 01 (fita02)



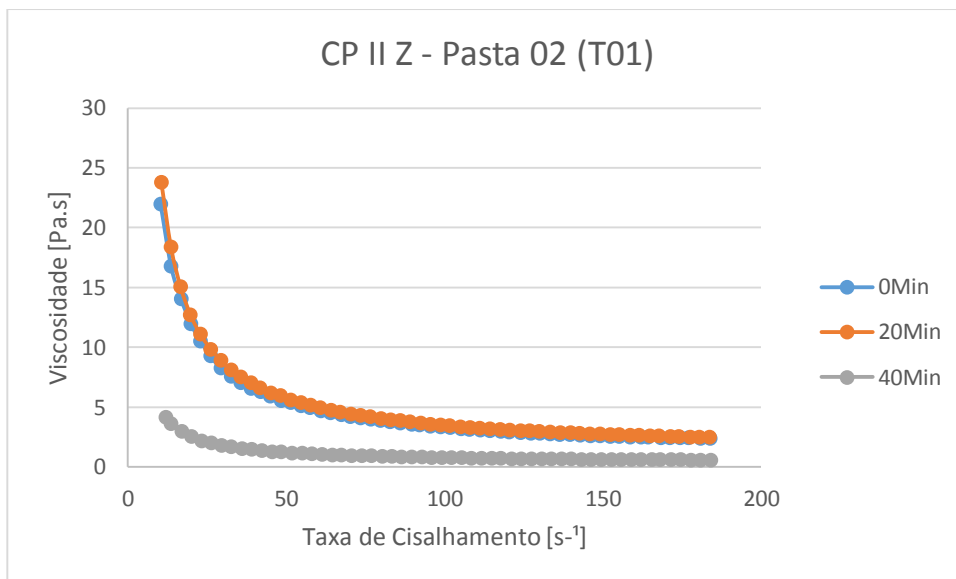
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 48 - Curva de Viscosidade - Pasta 01 (fita03)



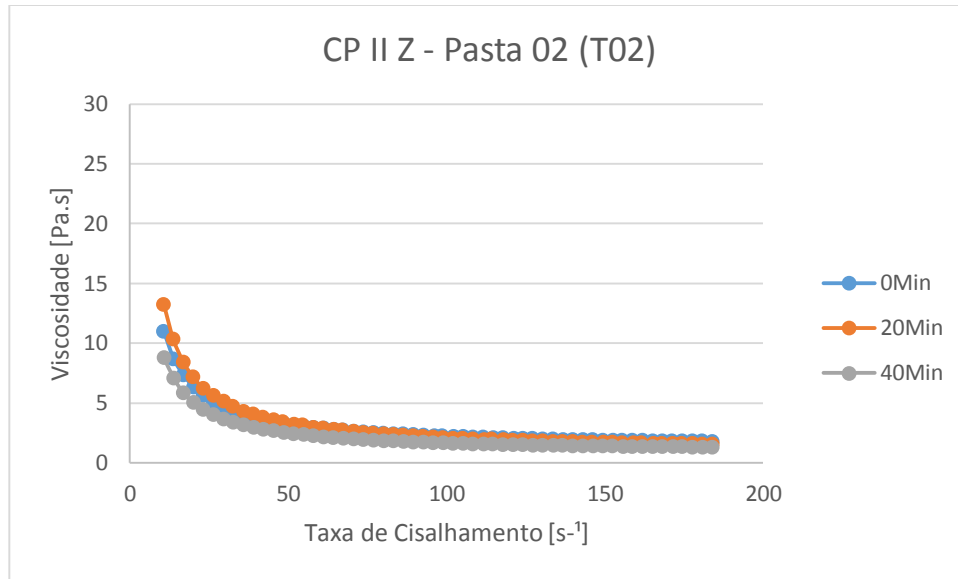
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 49 - Curva de Viscosidade - Pasta 02 (fita01)



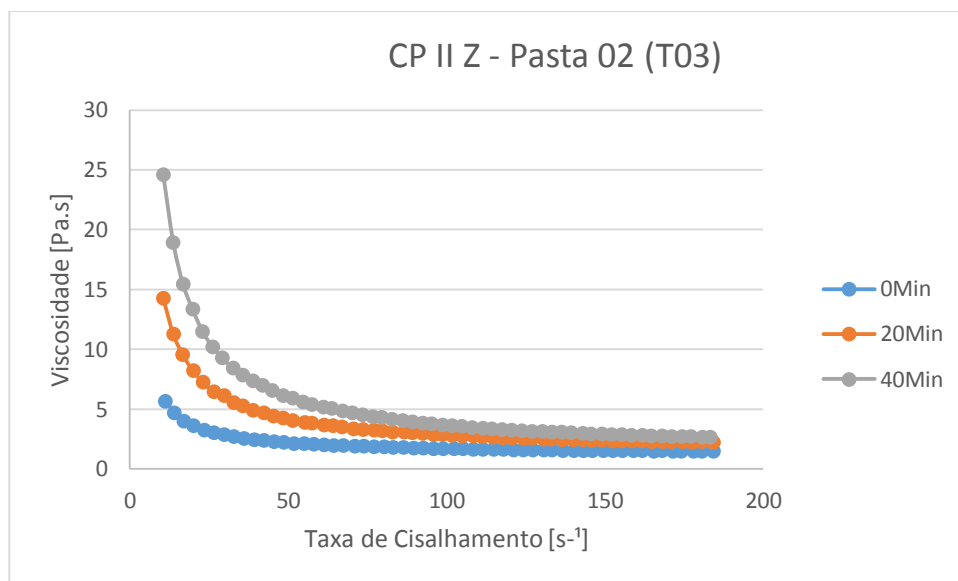
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 50 - Curva de Viscosidade - Pasta 02 (fita02)



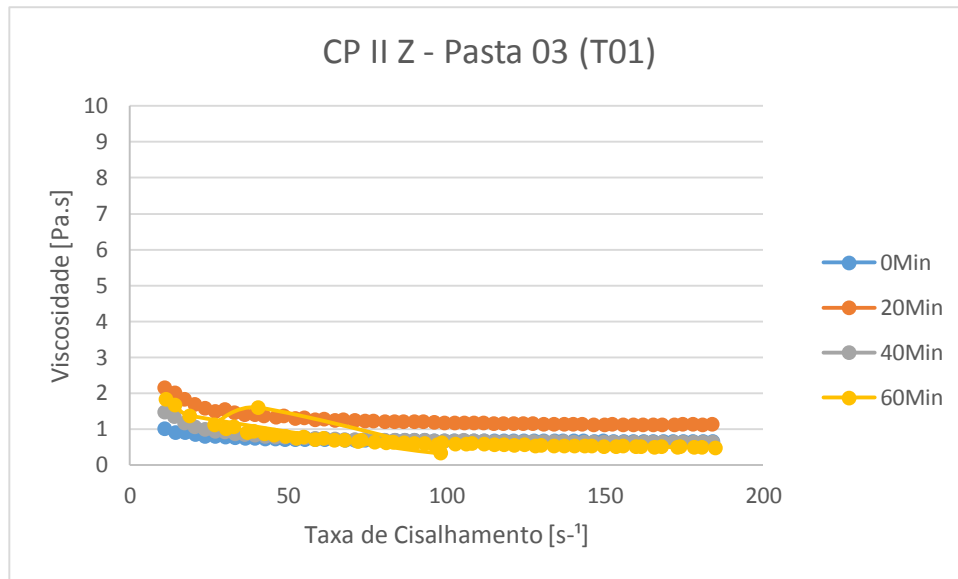
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 51 - Curva de Viscosidade - Pasta 02 (fita03)



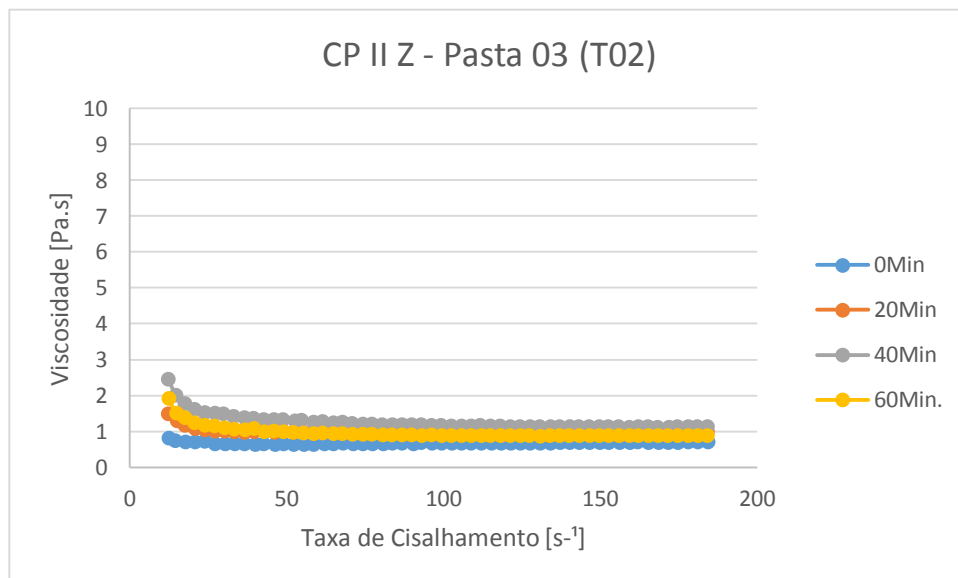
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 52 - Curva de Viscosidade - Pasta 03 (fita01)



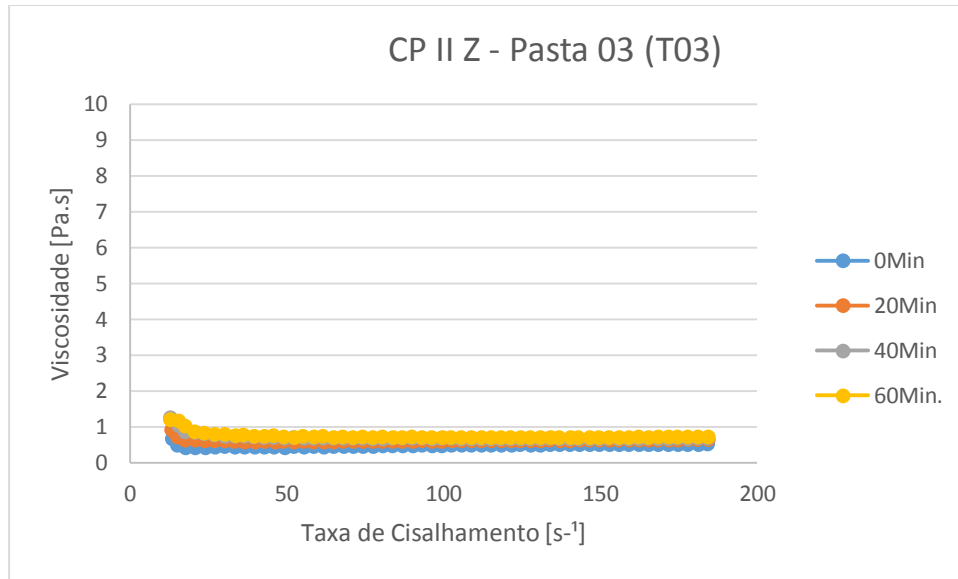
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 53 - Curva de Viscosidade - Pasta 03 (fita02)



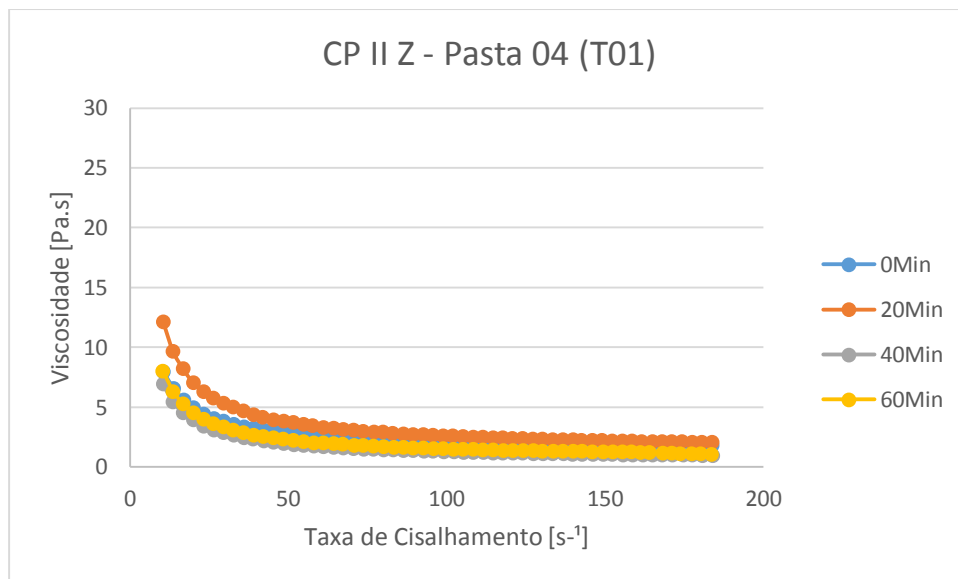
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 54 - Curva de Viscosidade - Pasta 03 (fita03)



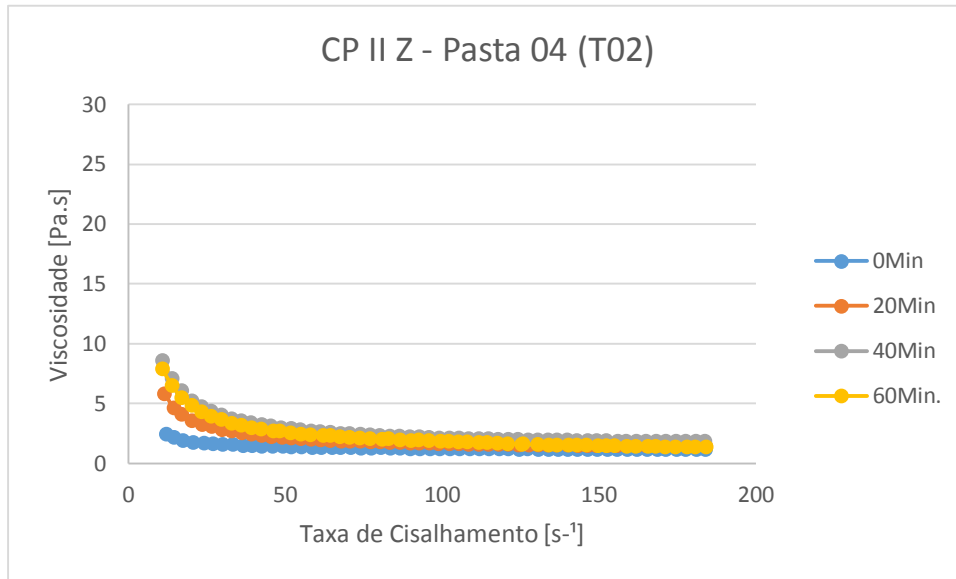
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 55 - Curva de Viscosidade - Pasta 04 (fita03)



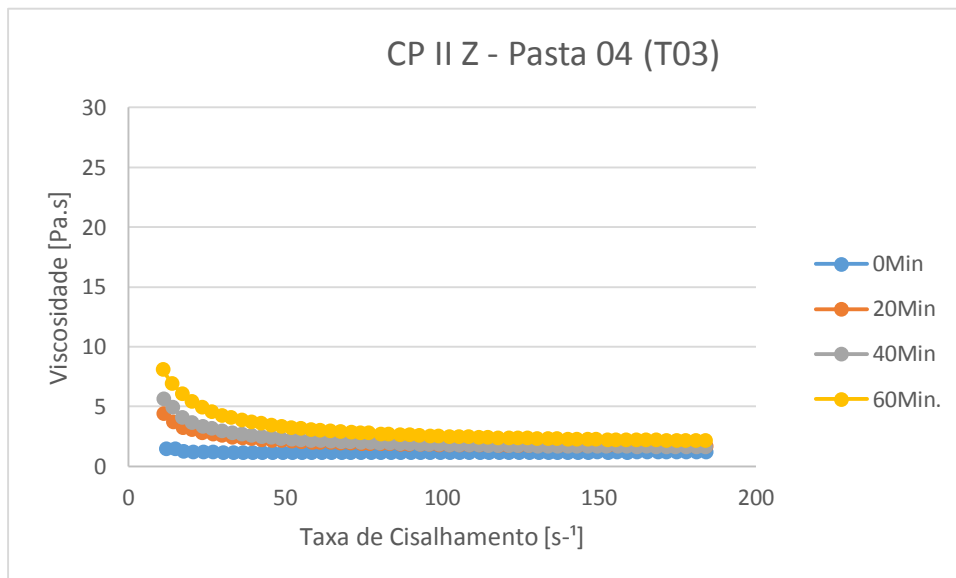
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 56 - Curva de Viscosidade - Pasta 04 (fita02)



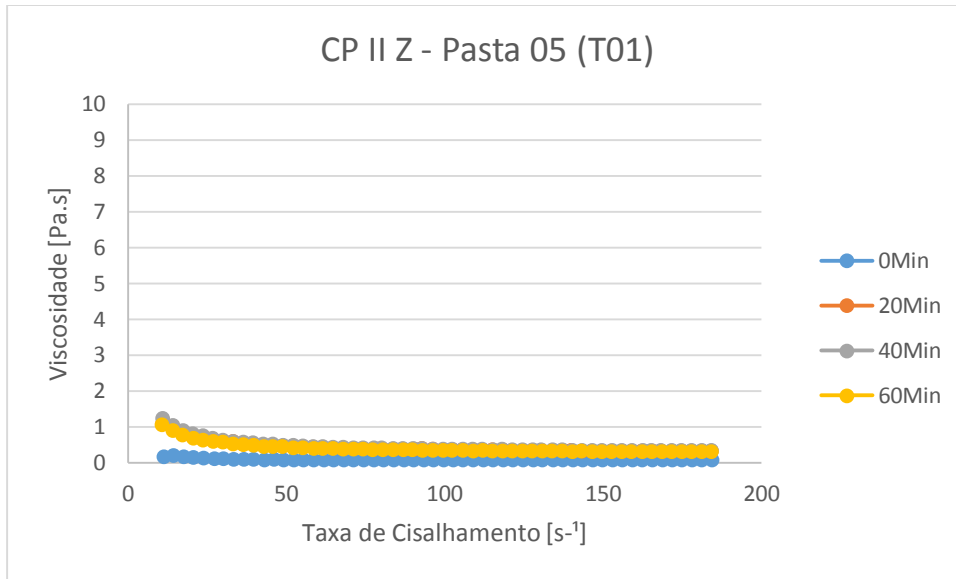
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 57 - Curva de Viscosidade - Pasta 04 (fita03)



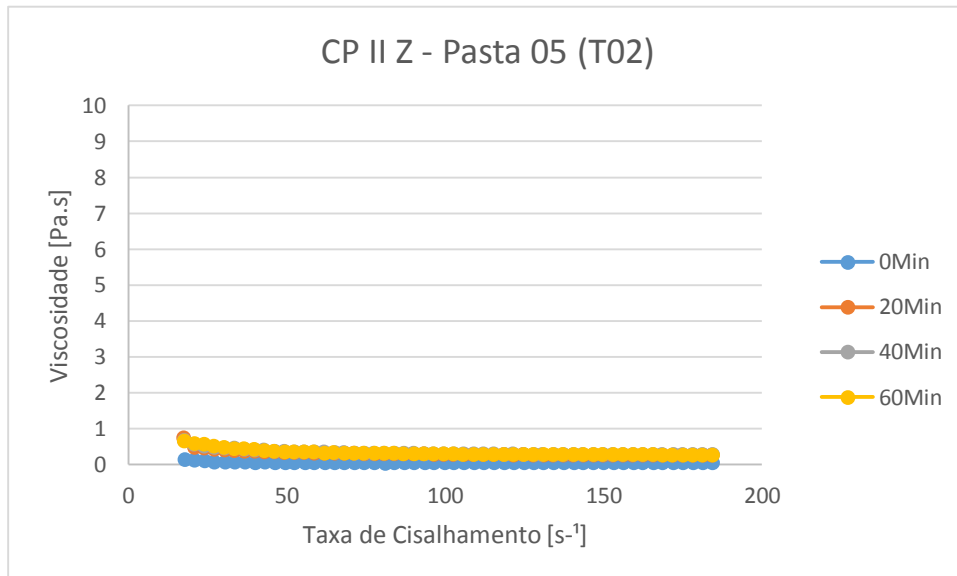
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 58 - Curva de Viscosidade - Pasta 05 (fita01)



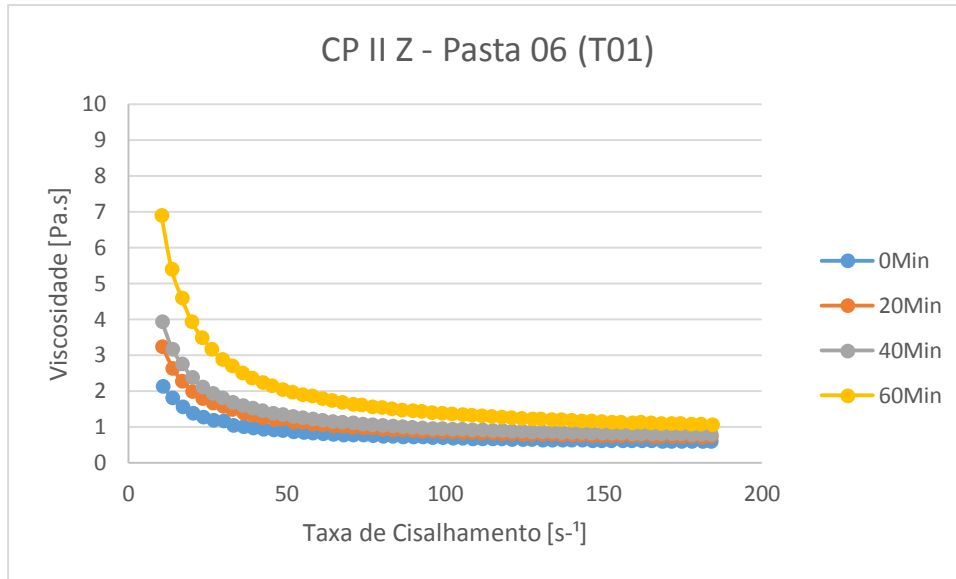
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 59 - Curva de Viscosidade - Pasta 05 (fita02)



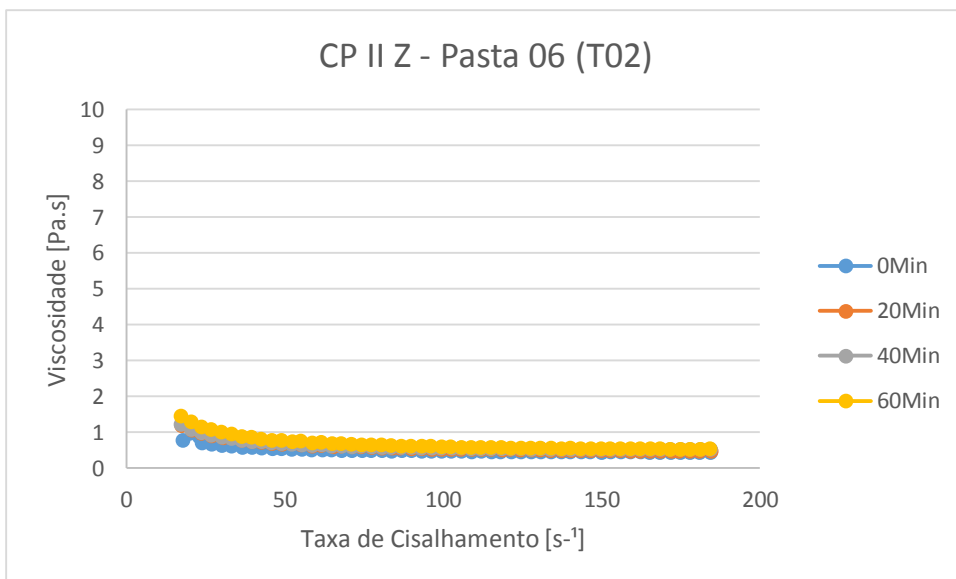
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 60 - Curva de Viscosidade - Pasta 06 (fita01)



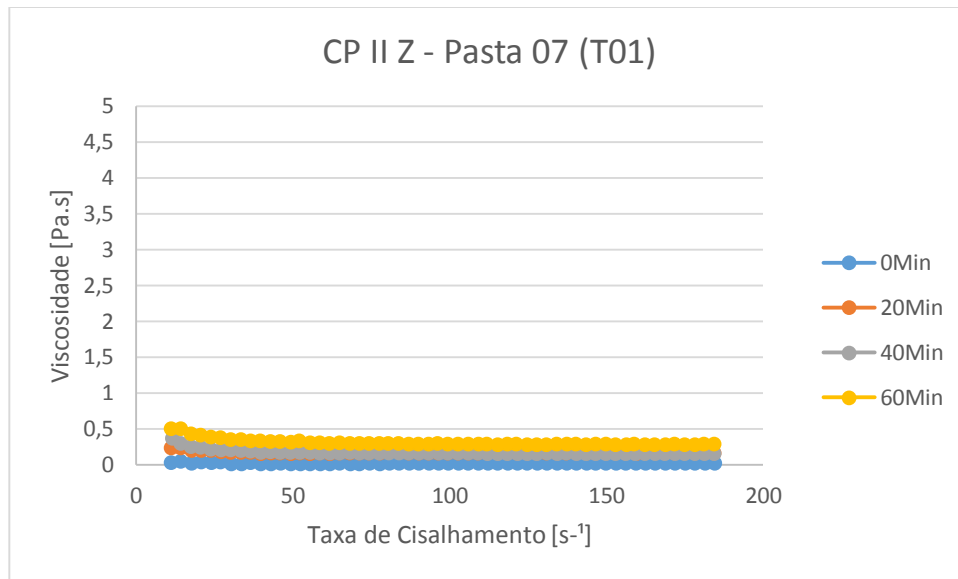
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 61- Curva de Viscosidade - Pasta 06 (fita02)



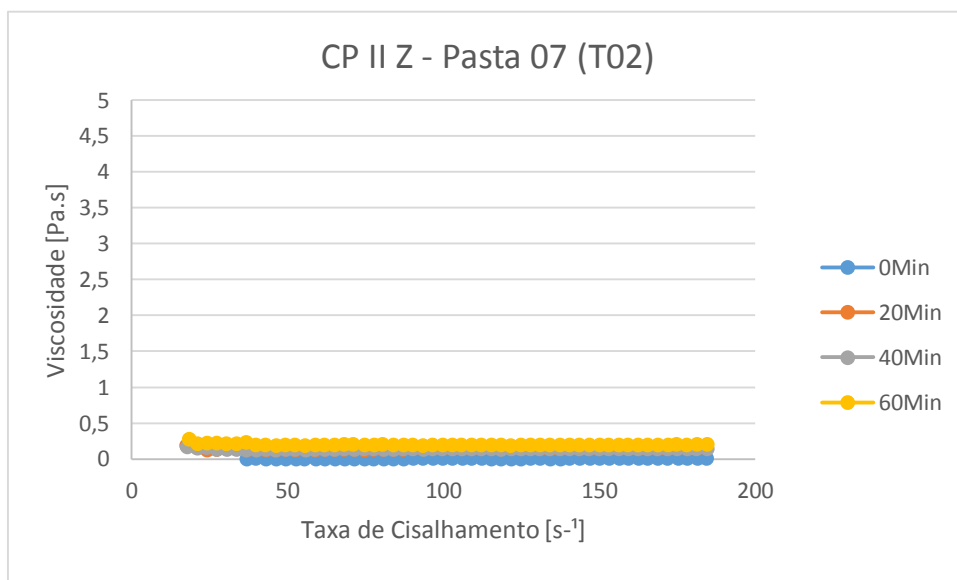
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 62 - Curva de Viscosidade - Pasta 07 (fita01)



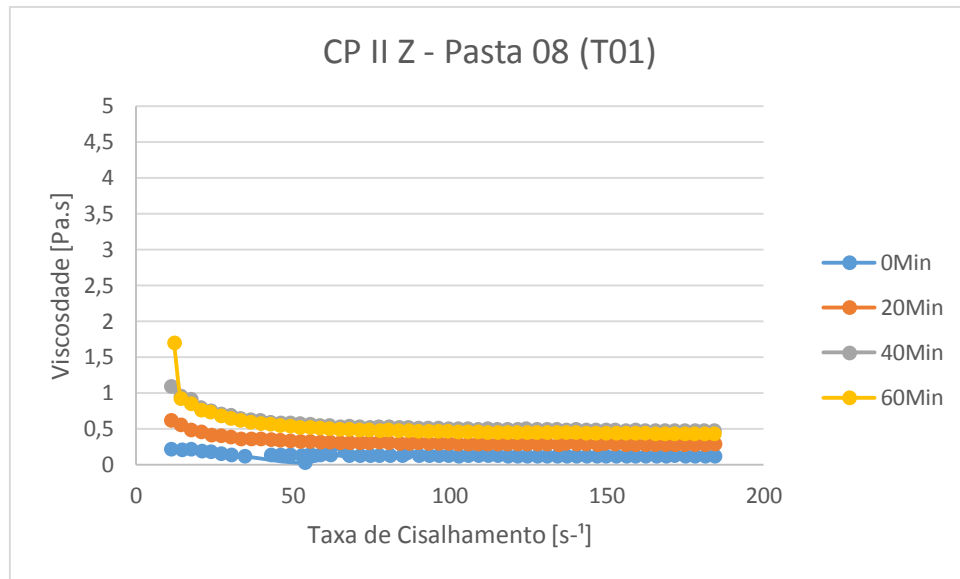
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 63 - Curva de Viscosidade - Pasta 07 (fita02)



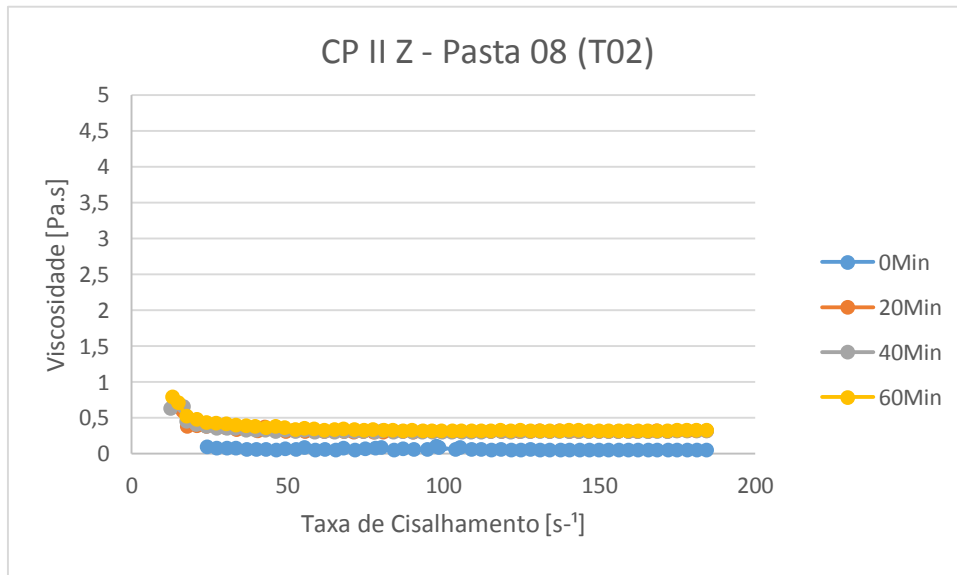
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 64 - Curva de Viscosidade - Pasta 08 (fita01)



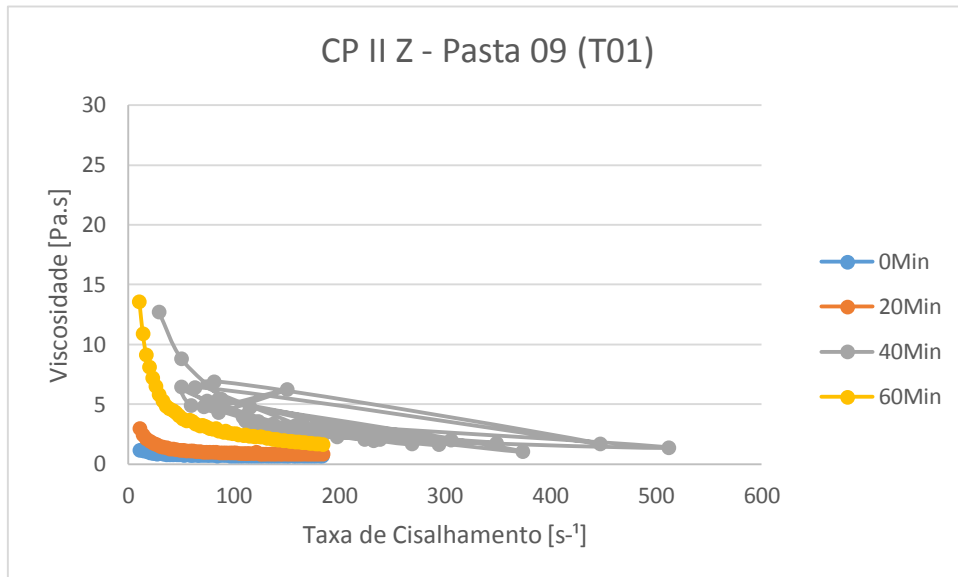
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 65 - Curva de Viscosidade - Pasta 08 (fita02)



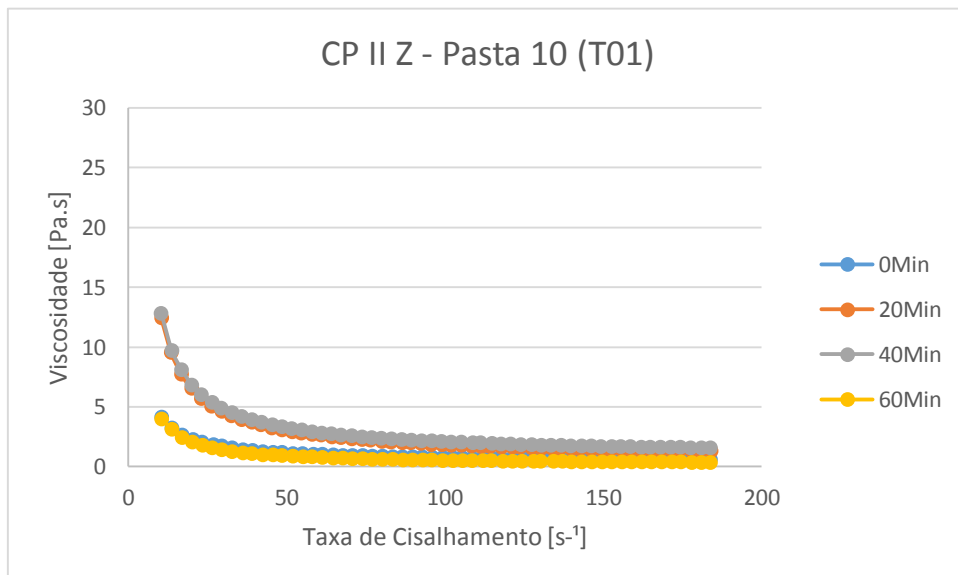
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 66 - Curva de Viscosidade - Pasta 09 (fita01)



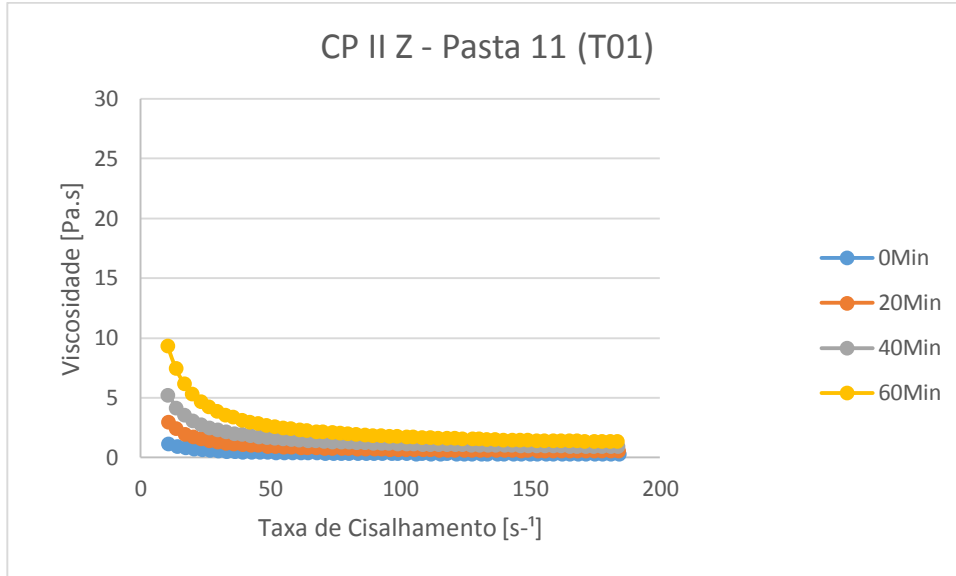
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 67 - Curva de Viscosidade - Pasta 10 (fita01)



Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

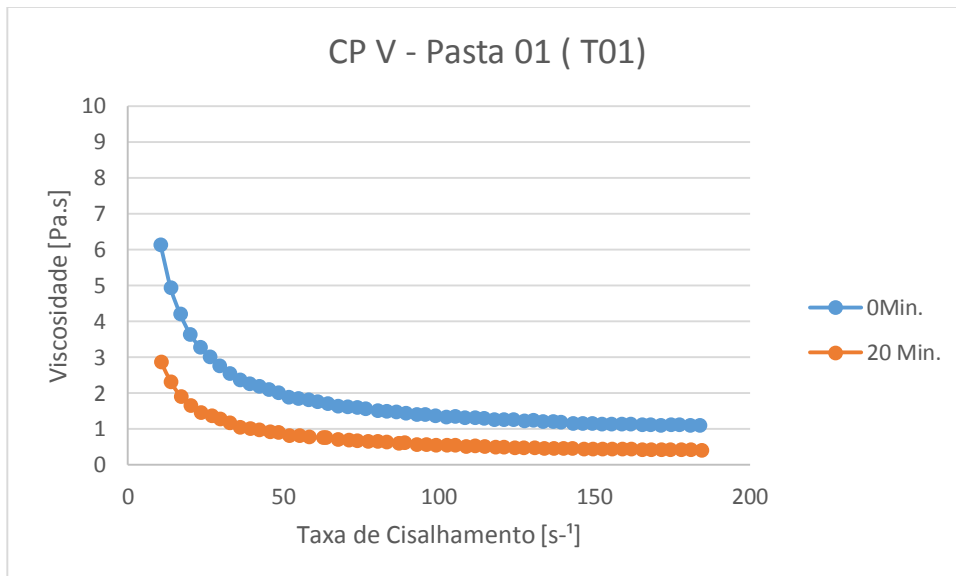
Gráfico 68 - Curva de Viscosidade - Pasta 11 (fita01)



Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

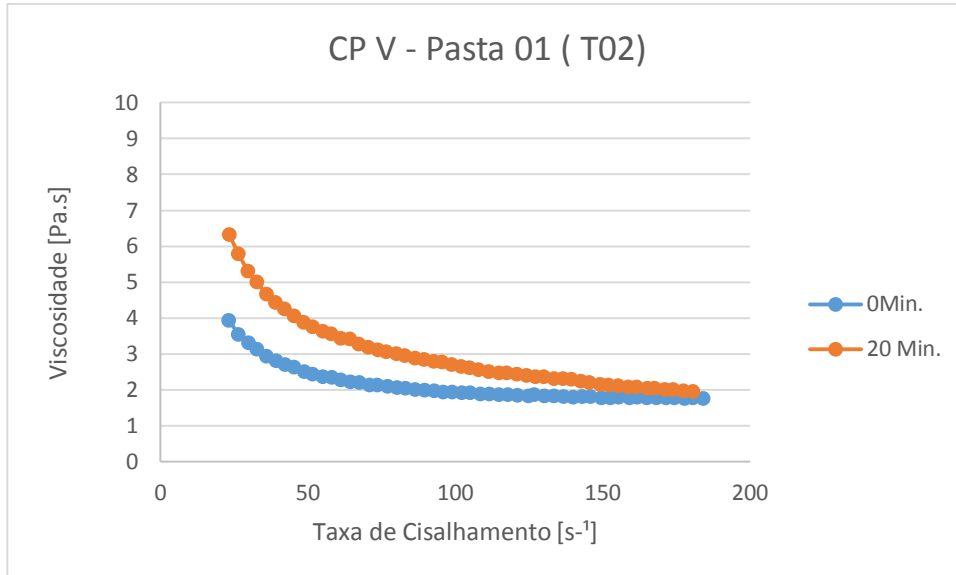
B.2 CURVAS DE VISCOSIDADE PARA PASTAS COM CP V- ARI

Gráfico 69 - Curva de Viscosidade - Pasta 01 (fita01)



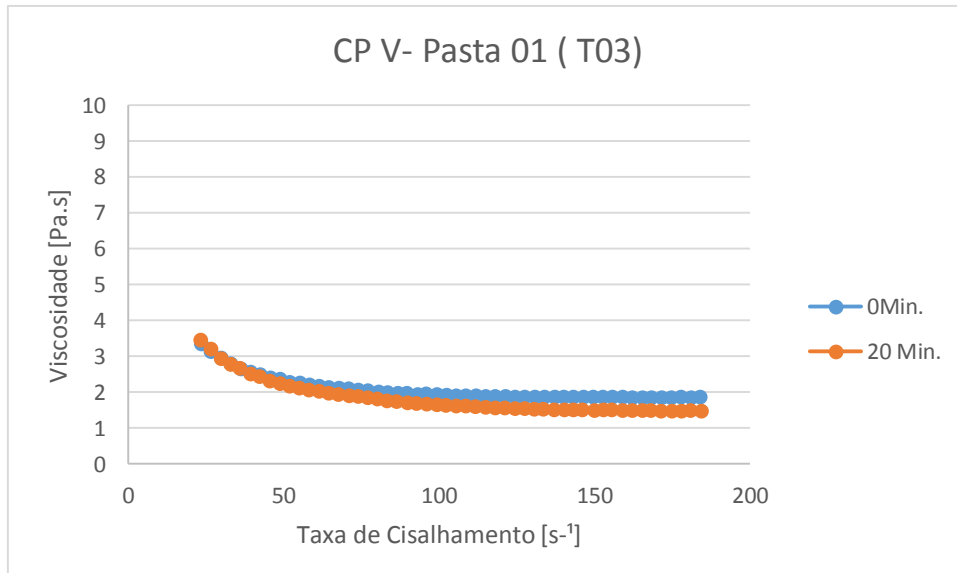
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 70 - Curva de Viscosidade - Pasta 01 (fita02)



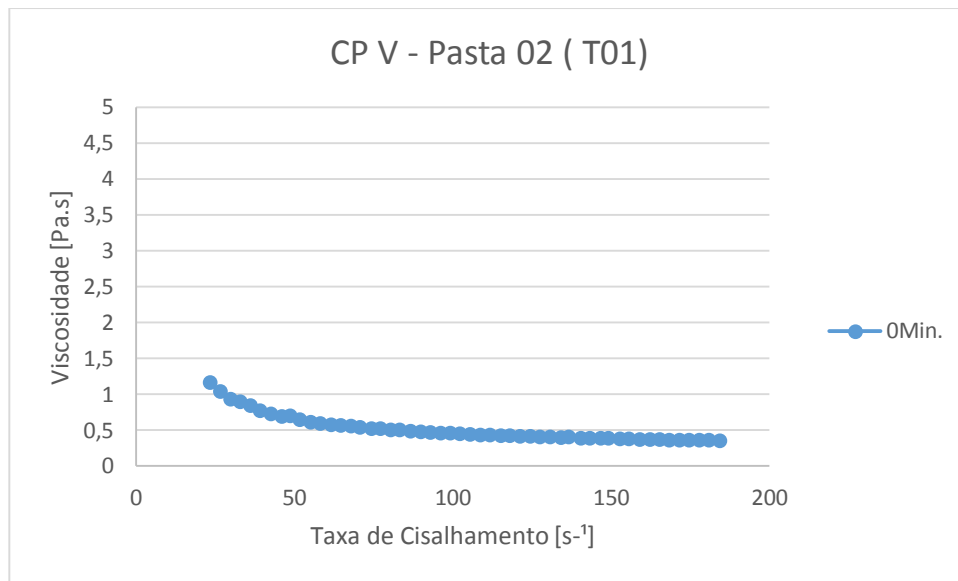
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 71 - Curva de Viscosidade - Pasta 01 (fita03)



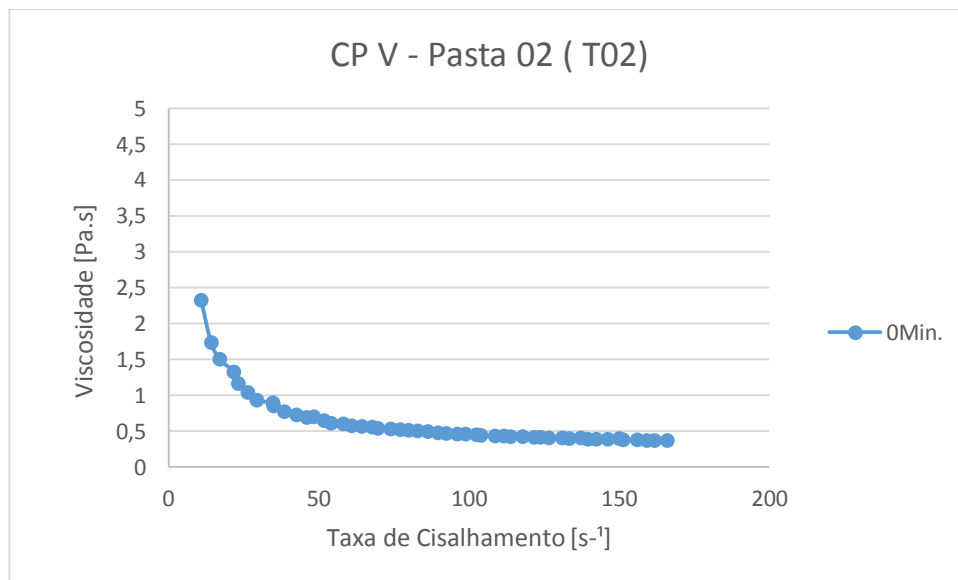
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 72 - Curva de Viscosidade - Pasta 02 (fita01)



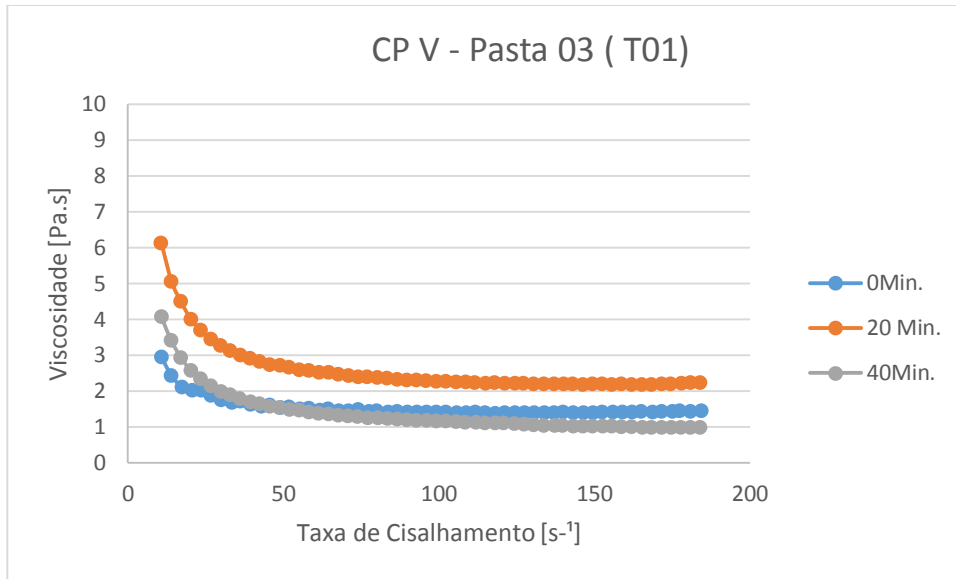
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 73 - Curva de Viscosidade - Pasta 02 (fita02)



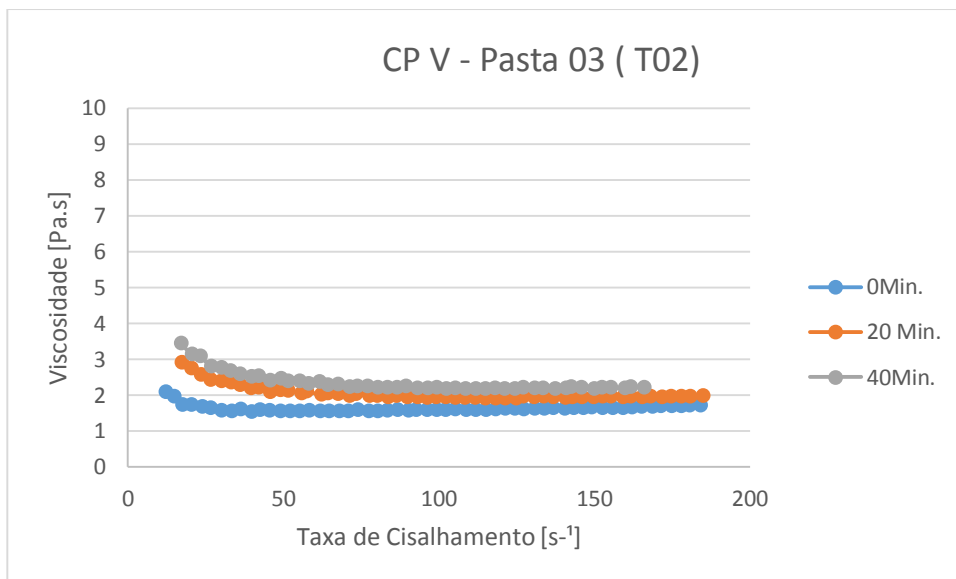
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 74 - Curva de Viscosidade - Pasta 03 (fita01)



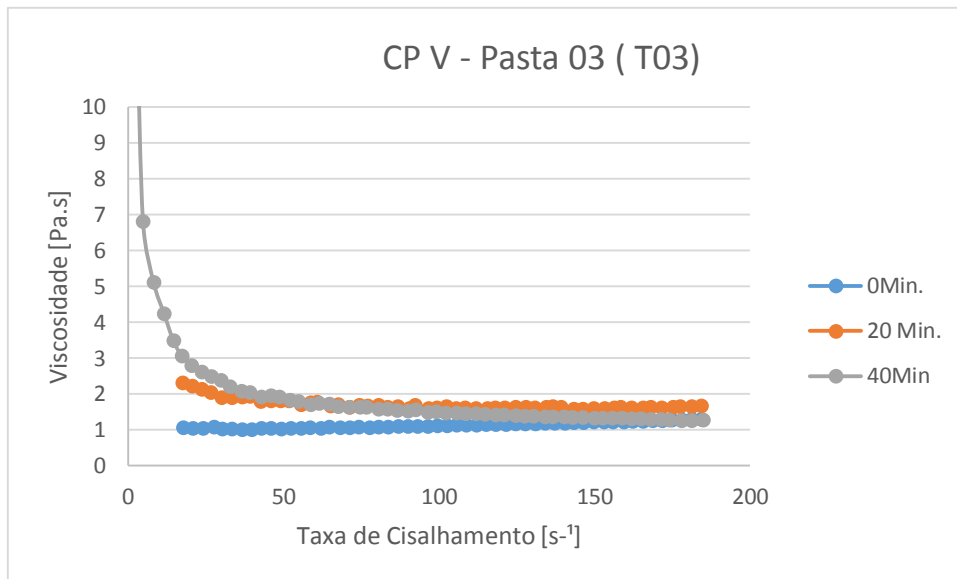
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 75 - Curva de Viscosidade - Pasta 03 (fita02)



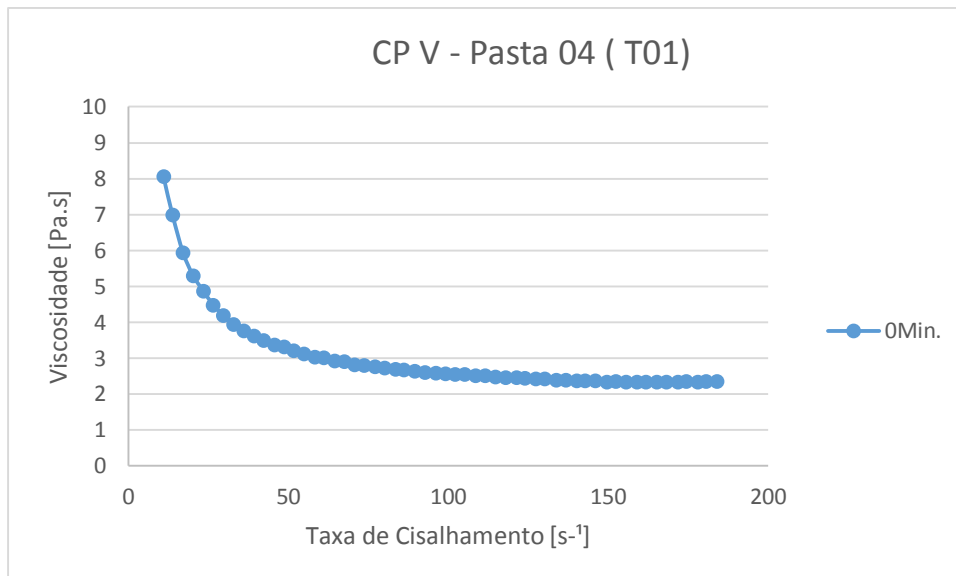
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 76- Curva de Viscosidade - Pasta 03 (fita03)



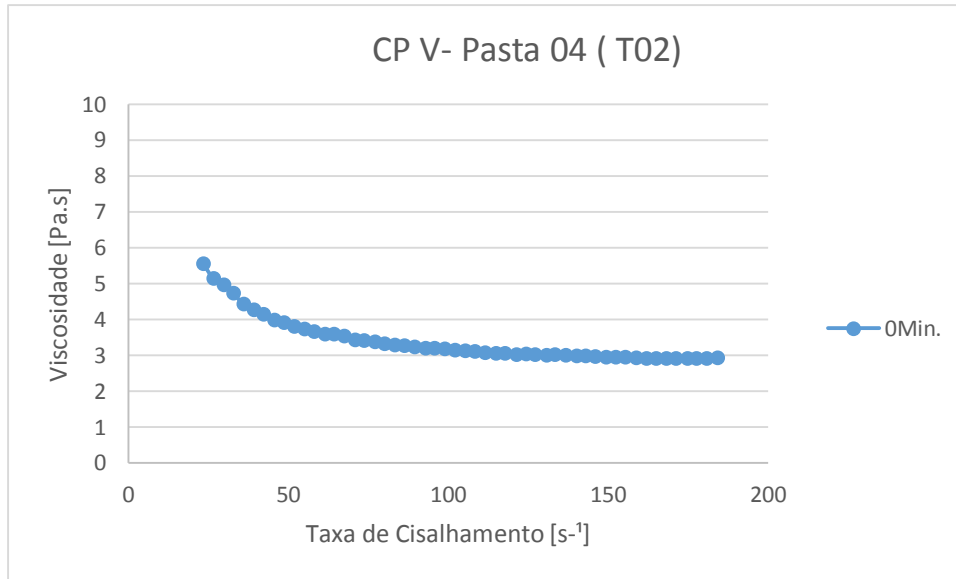
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 77 - Curva de Viscosidade - Pasta 04 (fita01)



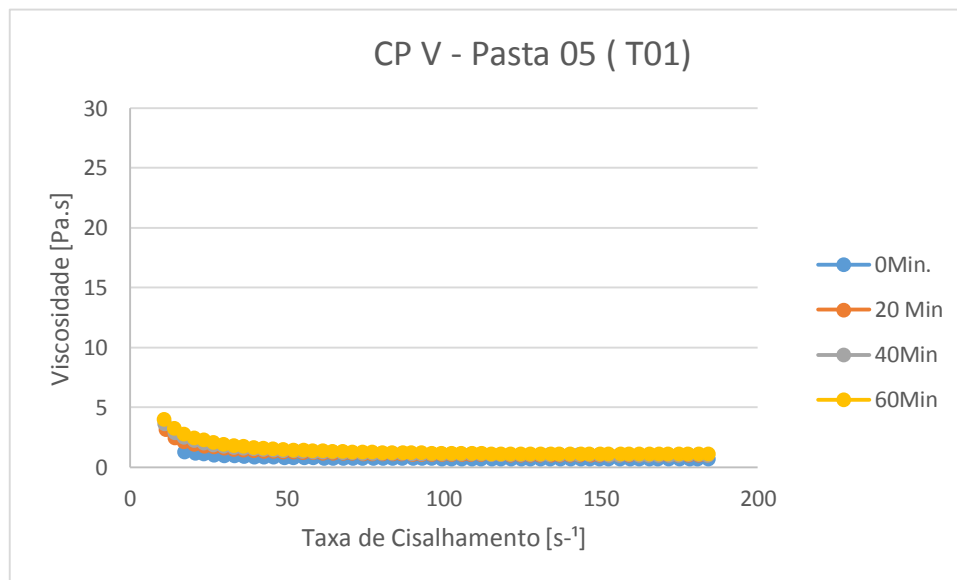
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 78 - Curva de Viscosidade - Pasta 04 (fita02)



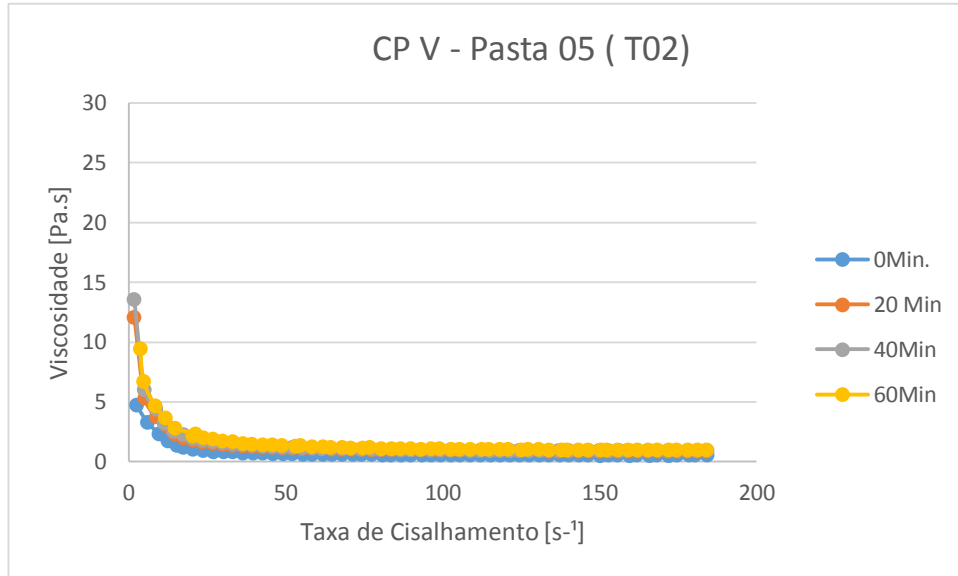
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 79 - Curva de Viscosidade - Pasta 05 (fita01)



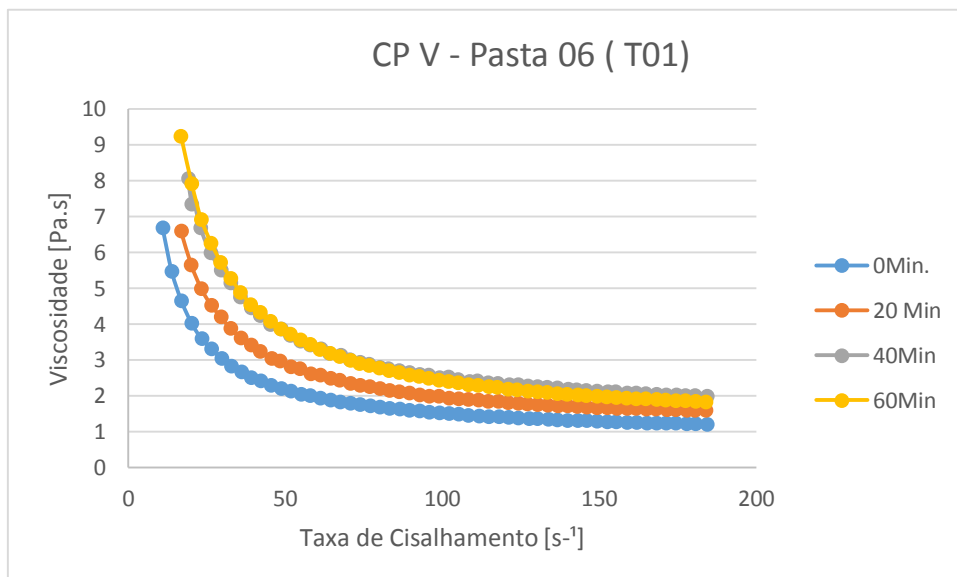
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 80 - Curva de Viscosidade - Pasta 05 (fita02)



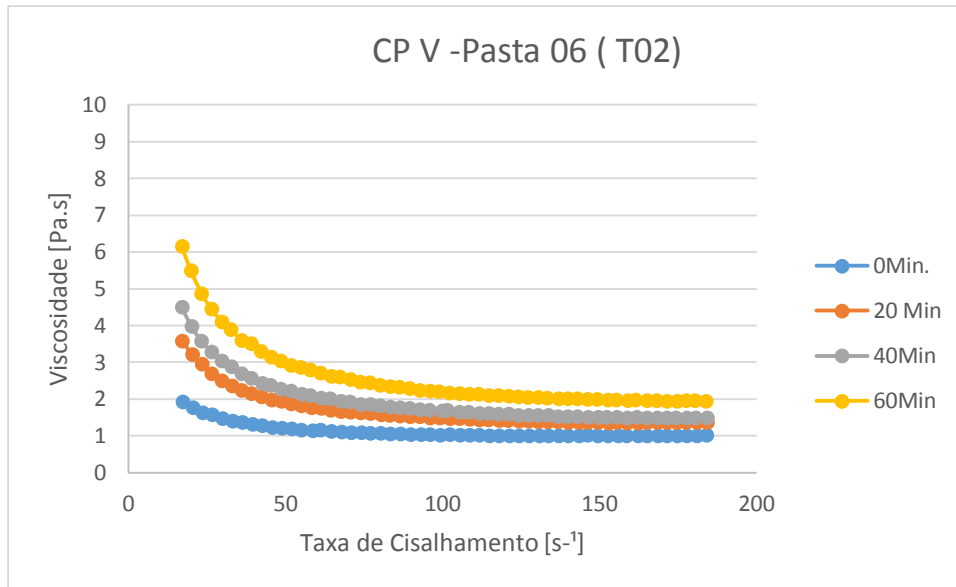
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 81 - Curva de Viscosidade - Pasta 06 (fita01)



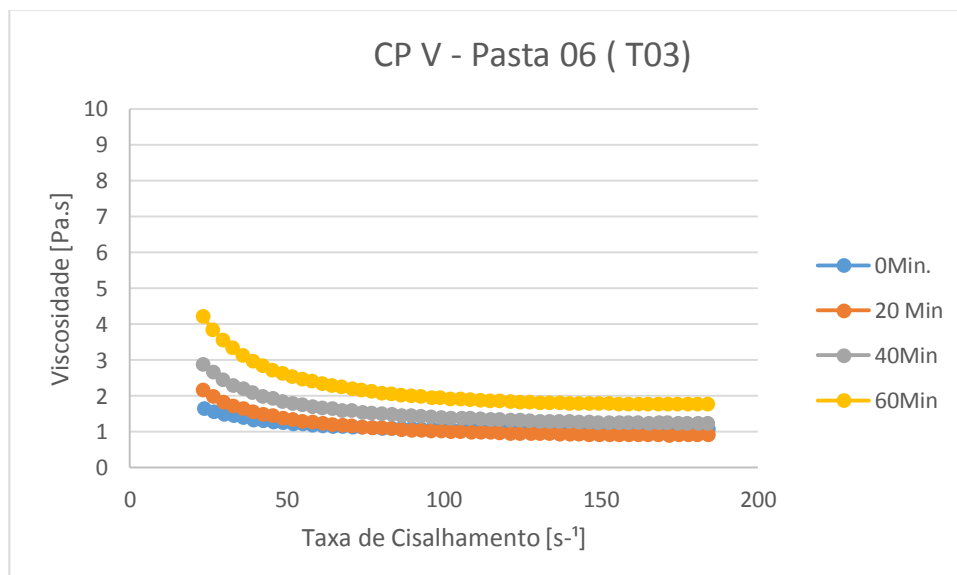
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 82 - Curva de Viscosidade - Pasta 06 (fita02)



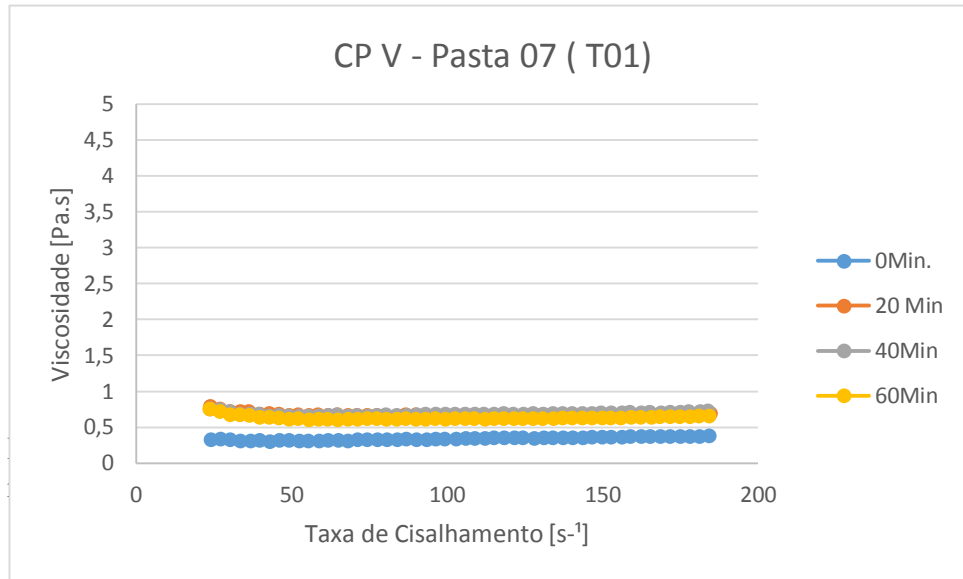
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 83 - Curva de Viscosidade - Pasta 06 (fita03)



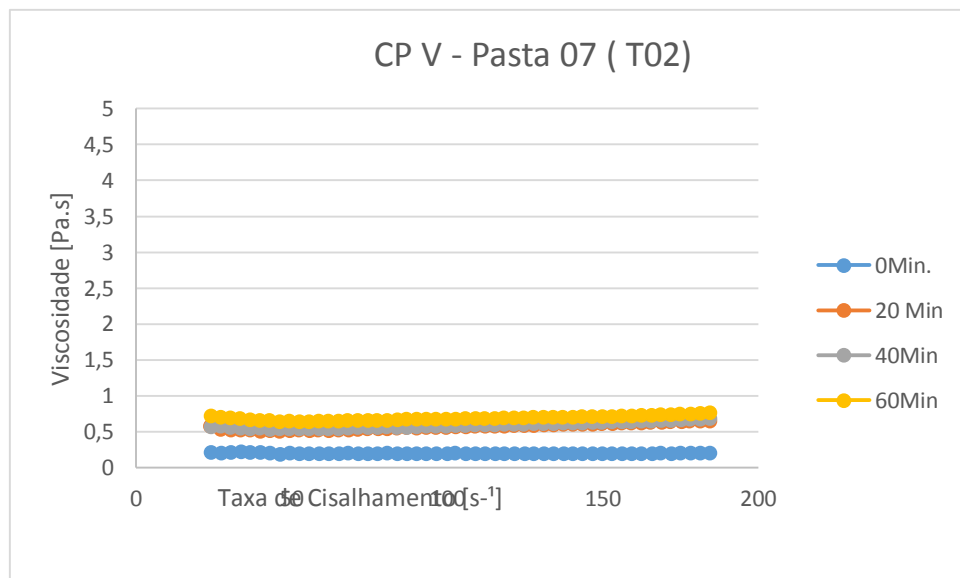
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 84- Curva de Viscosidade - Pasta 07 (fita01)



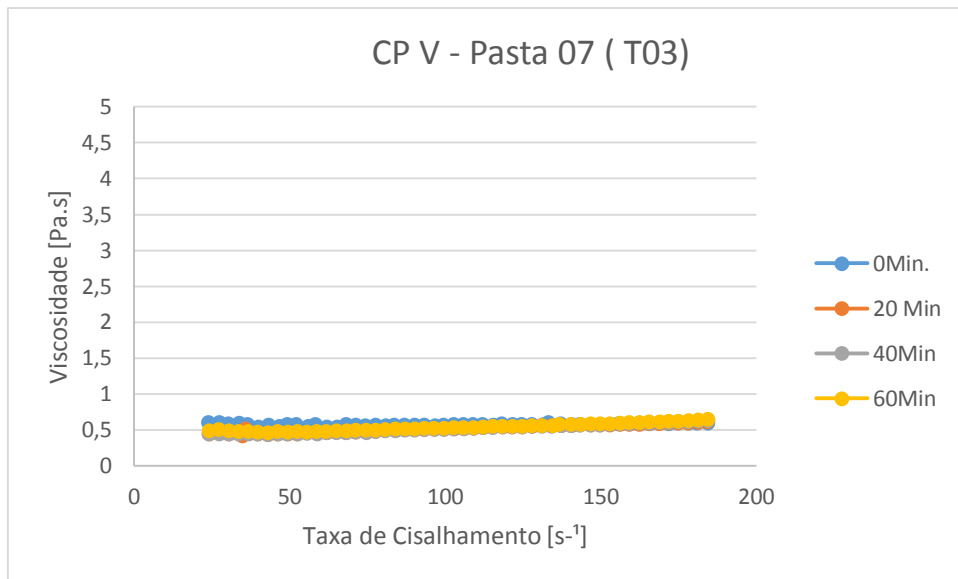
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 85 - Curva de Viscosidade - Pasta 07 (fita02)



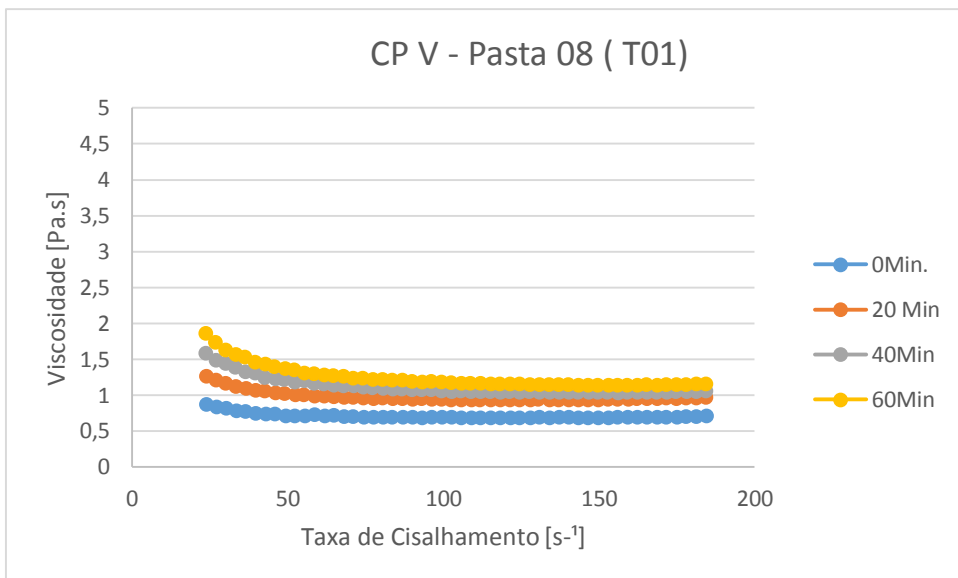
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 86 - Curva de Viscosidade - Pasta 07 (fita03)



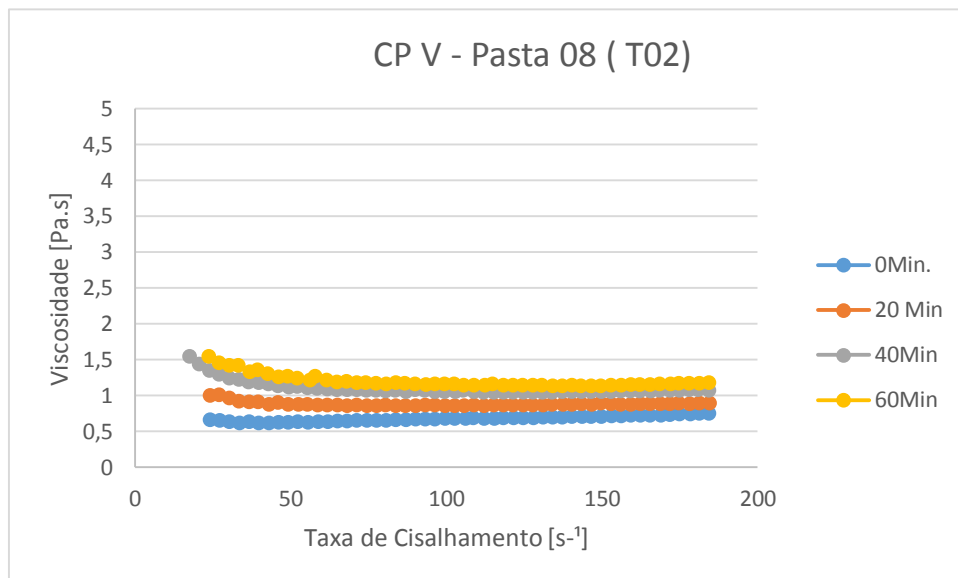
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 87 - Curva de Viscosidade - Pasta 08 (fita01)



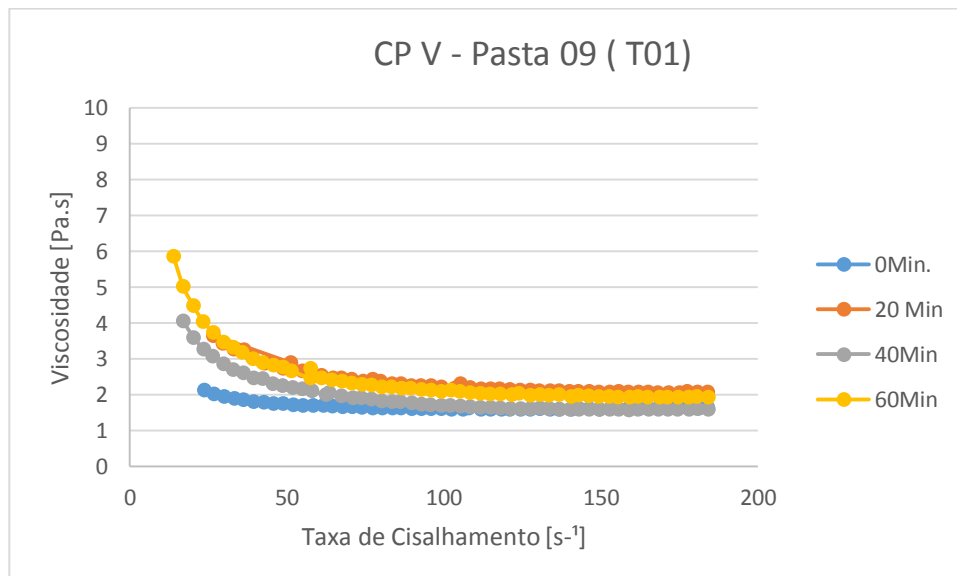
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 88 - Curva de Viscosidade - Pasta 08 (fita02)



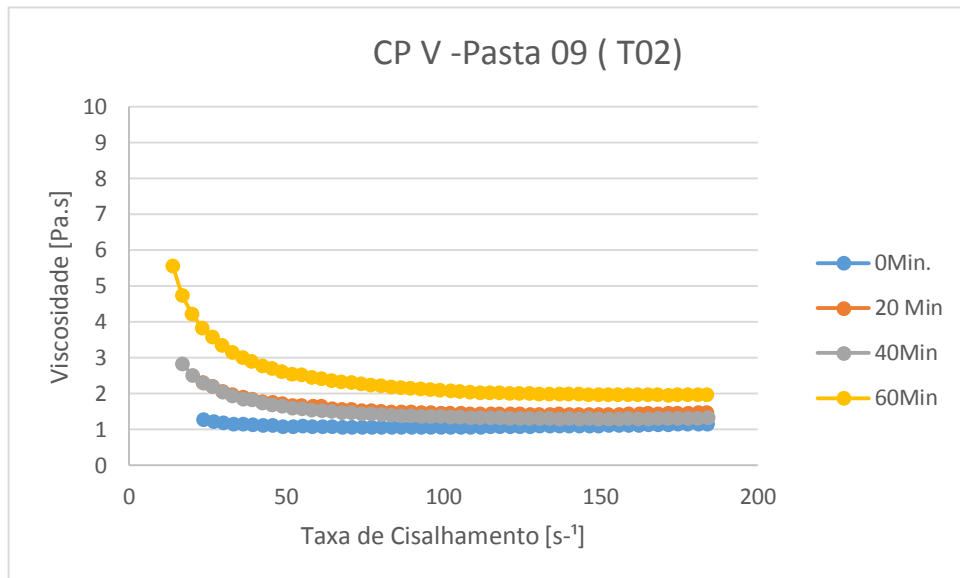
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 89 - Curva de Viscosidade - Pasta 09 (fita01)



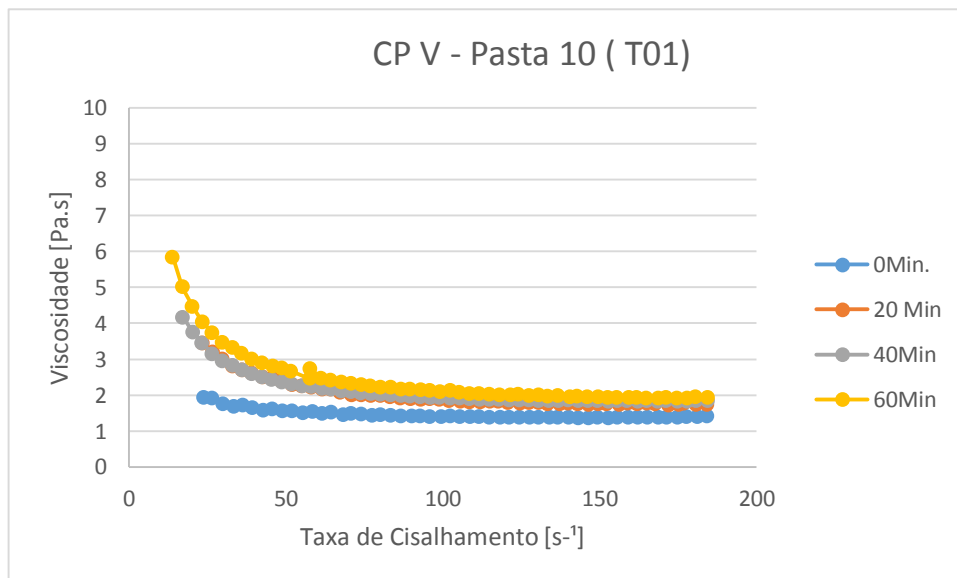
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 90 - Curva de Viscosidade - Pasta 09 (fita02)



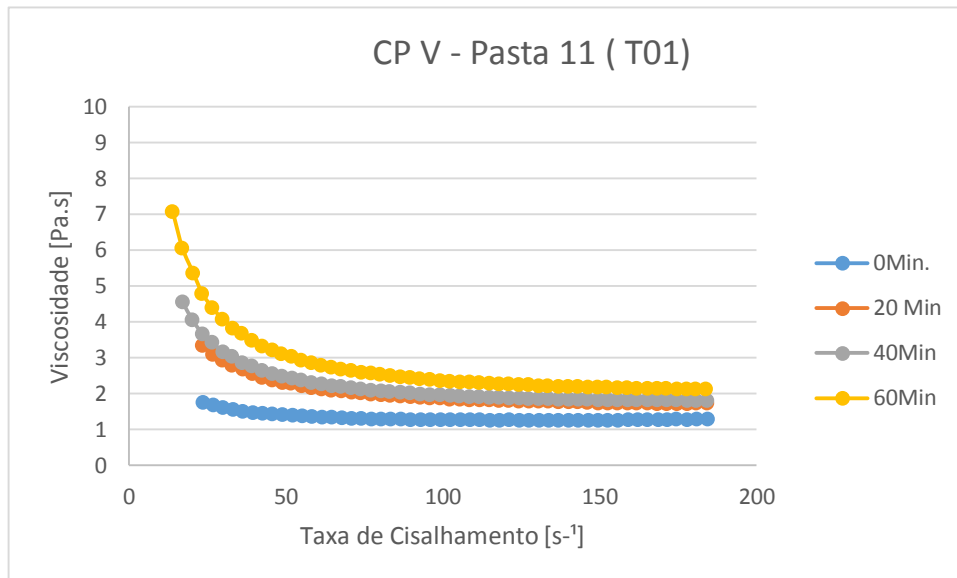
Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 91 - Curva de Viscosidade - Pasta 10 (fita01)



Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.

Gráfico 92 - Curva de Viscosidade - Pasta 11 (fita01)



Fonte: Elaboração da própria autora com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPB.