

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

MODIFICAÇÕES DE PROPRIEDADES REOLÓGICAS
DE ESMECITITAS SÓDICAS POR TRATAMENTO TÉRMICO

Hélio de Lucena Lira

- PARAÍBA

- 1988 -

13
HÉLIO DE LUCENA LIRA

MODIFICAÇÕES DE PROPRIEDADES REOLÓGICAS
DE ESMECTITAS SÓDICAS POR TRATAMENTO TÉRMICO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
em Engenharia Química da Universidade Fede
ral da Paraíba, em cumprimento às exigências
para obtenção do Grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Tecnologia dos Materiais Não-Metálicos

PROFESSOR ORIENTADOR: HEBER CARLOS FERREIRA

CAMPINA GRANDE



L768m Lira, Helio de Lucena
Modificacoes de propriedades reologicas de esmectitas sodicas por tratamento termico / Helio de Lucena Lira. - Campina Grande, 1988.
79 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Quimica) - Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

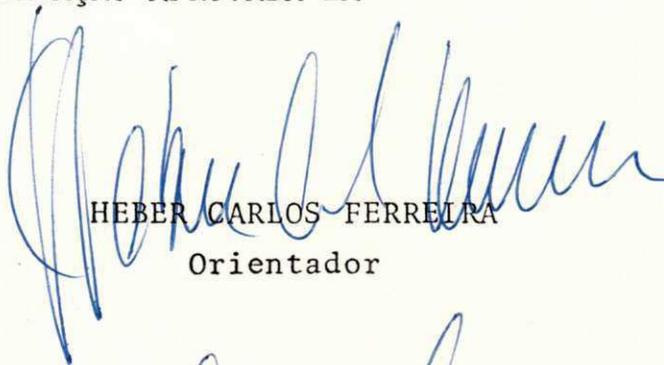
1. Argilas - 2. Esmectitas 3. Engenharia Quimica 4. Dissertacao I. Ferreira, Heber Carlos II. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB) III. Título

CDU 666.32(043)

MODIFICAÇÕES DE PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ESMECTITAS SÓ
DICAS POR TRATAMENTO TÉRMICO

HÉLIO DE LUCENA LIRA

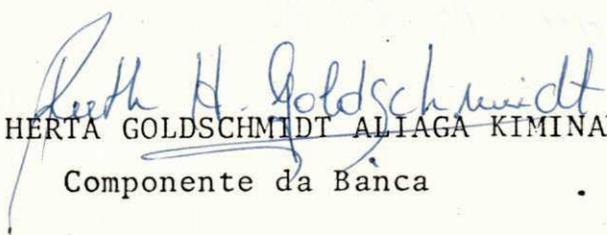
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 04-02.88



HEBER CARLOS FERREIRA
Orientador



OELSIA L. SANCHEZ DE ALSINA
Componente da Banca



RUTH HERTA GOLDSCHMIDT ALIAGA KIMINAMI
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE-PB

1988

DEDICATÓRIA

À meus pais Gregório e Emília
e a meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Heber Carlos Ferreira, pelos ensinamentos transmitidos, pelas orientações e críticas construtivas, pela análise e revisão do texto, bem como, pelo apoio e incentivo, o que contribuiu decisivamente para a conclusão desta dissertação.

À Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Química, na pessoa dos Professores Michel François Fossy, Odelsia L. Shánchez de Alsina e Kepler Borges França, pelo apoio e auxílio para a realização desta dissertação.

Ao Laboratório de Solos I, do Departamento de Engenharia Civil na pessoa do Professor Francisco Barbosa de Lucena.

A Wdilson Bezerra Campos pelos trabalhos de datilografia e a Josélito de Araújo Souto pelos desenhos realizados.

Aos professores, funcionários e colegas, pela oportunidade de convivência e colaboração.

RESUMO

Nesta dissertação, foram selecionadas três argilas esmectíticas, estudadas em trabalhos anteriores (SOUZA SANTOS, 1968; KIMINAMI, 1981 e 1983; BARBOSA, 1984 e 1985 e RAMOS, 1984 e 1985), onde apresentaram características reológicas diferentes. As três amostras selecionadas são provenientes da localidade de Brabo, Distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande, Paraíba e são designadas pelas cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe.

Com as três amostras de argilas, esmectíticas foram feitos estudos através de tratamento térmico, em dispersões, com o intuito de verificar sua influência sobre as características reológicas, para uso como fluido tixotrópico para perfuração de poços de petróleo. Foram utilizados três processos. Com dois processos verificou-se o efeito da diálise antes e depois do tratamento térmico. Foram também determinados, para os três processos, os teores de carbonatos e bicarbonatos. Com estes valores foram obtidas correlações estatísticas com as propriedades reológicas (viscosidades aparente e plástica e volume do filtrado).

Os estudos mostraram que a argila de cor vermelha apresenta excelentes propriedades reológicas, com o tratamento térmico, tornando-se adequada para uso como fluido de perfuração de poços de petróleo. A argila de cor verde-escura apresenta uma melhoria das propriedades reológicas, com o tratamento térmico, mas só apresentou resultados dentro das especificações da PETROBRÁS (1968) com o tratamento térmico

seguido de diálise. A argila do tipo bofe apresentou pouca sensibilidade ao tratamento térmico, continuando inadequada para uso como fluido de perfuração de poços de petróleo, nas condições estudadas nesta dissertação.

Foi verificado, também que a grande maioria dos resultados obtidos através da análise estatística não seguiram os modelos matemáticos propostos.

ABSTRACT

This dissertation was developed on three selected smectite clays, from Bravo, District of Boa Vista, Campina Grande - Paraiba, which were identified as red, dark green and "bofe" clays. Previous studies of these clays showed special rheological characteristics. So, these clays were choice and, in form of dispersion, had been submitted to thermal treatment with purpose to verify the influence on its rheological characteristic in order to be used as tixotropic fluids for perfuration of oil well. It's used three thermal treatment processes. At two of them it's investigated the dialysis effect before and after the thermal treatment. Also had been determinated for all thermal treatment processes the quantity of carbonates and bicarbonates contained at the suspension. A statistical analysis was perfomed between the rheological properties (apparent and plastic viscosities, and filtrate volume) through simple, logarithm, exponential and powers linear regressions.

The studies showed that the red clay type has excellent rheological properties after thermal treatment and it's adequated to be used in the oil well drilling. The dark green clay type showed an improvement at the rheological properties after thermal treatment, however, only the sample submitted to thermal treatment following by dialysis showed results accordine to "Petrobrás" specifications (1968). The "bofe" clay type exhibit small sensibility after thermal treatment, being inadequated to be used as tixotropic fluid

for perfuration of oil well on the study condiction of
this dissertation.

The most of the results of the statistical analysis
does not following the proposed mathematical models.

SIMBOLOGIA UTILIZADA

γ	gradiente de velocidade (s^{-1})
v	velocidade da partícula ou do plano (cm/s)
Y	distância entre as partículas ou planos (cm)
τ	tensão de cisalhamento ($g/cm \cdot s^2$)
F	força aplicada ao escoamento ($g \cdot cm/s^2$)
A	área da superfície (cm^2)
μ	viscosidade (cP)
μ_a ou V.A.	viscosidade aparente (cP)
μ_p ou V.P.	viscosidade plástica (cP)
τ_1 ou τ_0	limite de escoamento ($g/cm \cdot s^2$)
T	torque por unidade de altura ($g \cdot cm/s^2$)
Ω	velocidade angular (s^{-1})
r	raio do cilindro (cm)
Y	variável dependente
X	variável independente
V.F.	volume do filtrado (ml)
CO_3^{-2}	carbonatos
HCO_3^-	bicarbonatos
R	coeficiente de correlação
α	nível de significância (%)

Í N D I C E

CAPÍTULO I - Introdução	01
CAPÍTULO II - Revisão da Literatura	03
II.1 - Introdução	03
II.2 - Estudos de Argilas Esmeclíticas de Boa Vista, PB	03
II.3 - Reologia de Fluidos	09
II.3.1 - Introdução	09
II.3.2 - Classificação Reológica dos Fluidos	11
II.3.3 - Tixotropia	13
II.4 - Viscosimetria	15
II.4.1 - Introdução	15
II.4.2 - O Viscosímetro Capilar....	16
II.4.3 - O "Viscosímetro" Marsh....	16
II.4.4 - O Viscosímetro Rotativo Brookfield	17
II.4.5 - O Viscosímetro Rotativo FANN VG METTER	17
II.4.6 - Equações para o Viscosí metro Rotativo FANN VG METTER	18
CAPÍTULO III - Materiais e Métodos	24
III.1 - Introdução	24
III.2 - Materiais	24

III.3 - Métodos	26
III.3.1 - Preparação das Amos <u>tr</u> as	26
III.3.2 - Preparação da Solu <u>ç</u> ão de Carbonato de Sódio	27
III.3.3 - Ensaios Tecnológicos...	27
III.3.3.1 - Primeiro Processo...	29
III.3.3.2 - Segundo Processo...	30
III.3.3.3 - Terceiro Processo...	30
III.3.3.4 - Análise Es <u>t</u> atística..	30
 CAPÍTULO IV - Resultados e Discussões	 32
IV.1 - Introdução	32
IV.2 - Primeiro Processo	32
IV.3 - Segundo Processo	46
IV.4 - Terceiro Processo	49
IV.5 - Análise Estatística	56
IV.5.1 - Primeiro Processo	57
IV.5.2 - Segundo Processo	59
IV.5.3 - Terceiro Processo	62
 CAPÍTULO V - Conclusões	 65
 CAPÍTULO VI - Sugestões para Pesquisas Futuras	 69

CAPÍTULO I

I.1 - Introdução

Em países em que não existe esmectita sódica natural, como era o caso do Brasil^(*), é prática usual tratar esmectitas policatiônicas com carbonato de sódio e assim obter uma esmectita sódica, com propriedades semelhantes às esmectitas sódicas naturais, tais como as bentonitas de Wyoming e Dakota do Sul, E.U.A. Estas esmectitas sódicas apresentam diversos usos industriais (GRIM, 1962, SOUZA SANTOS, 1968), dentre eles destaca-se o uso como fluido tixotrópico para perfuração de poços de petróleo^(**).

Os fluidos de perfuração apresentam um estado parcialmente flocculado (SHAW, 1975, VAM OLPHEN, 1977). No caso de esmectitas sódicas artificiais, obtidas após a troca com o carbonato de sódio, podemos ter alguns estados bem definidos de flocculação. O primeiro corresponderia a um fluido flocculado, onde a viscosidade aparente é muito baixa, podendo-se ter a separação de fases entre a água e a fração argila. Esse é o caso específico das argilas pouco sensíveis ao tratamento com carbonato de sódio durante a obtenção das esmectitas sódicas. O segundo corresponde também a um fluido flocculado onde a viscosidade aparente é muito elevada. Neste tipo de flocculação predomina as interações face-aresta de elevada ener-

(**) No decorrer deste trabalho será utilizado a forma abreviada de fluido de perfuração.

(*) Recentemente a referência (Anônimo, 1987) revela a existência de grandes reservas de bentonitas sódicas naturais no Brasil, mais precisamente na região de Boa Vista, município de Campina Grande - Paraíba.

gia de ligação entre as partículas, com a formação de uma estrutura reticular contínua, que se estende por todo volume, sendo que toda água fica aprisionada nesta estrutura. Devido a essas interações fortes entre as partículas, o limite de escoamento apresenta valores muito elevados e que prejudica a viscosidade plástica que apresenta valores muito pequenos. O terceiro e último estado de flocculação corresponderia a um estado intermediário entre os dois citados anteriormente, ou seja, com o fluido apresentando viscosidade aparente e plástica e limite de escoamento adequados, o que seria um ponto ideal, satisfazendo as especificações existentes. Nesta dissertação, como é mostrado no Capítulo III, foram utilizados três diferentes tipos de argilas esmectíticas correspondendo a cada um dos três tipos de flocculação anteriormente citados.

Os dois primeiros tipos de flocculação podem algumas vezes serem corrigidos através de métodos especiais, como diálise, uso de câmara com umidades e temperaturas controladas, adição de polieletrólitos, uso de autoclave e pela combinação de métodos especiais, tais como, o uso de câmara com umidade controlada seguido de diálise, etc.

Nesta dissertação propõe-se uma nova técnica de otimização das propriedades reológicas de argila esmectíticas que consiste no tratamento térmico, em câmara climatizada com temperatura variando de 40 a 90°C de dispersões de argilas previamente tratadas com carbonato de sódio e curadas em câmara úmida. Este tratamento visa verificar a influência da temperatura e do tempo nas propriedades reológicas das dispersões, numa atmosfera com 100% de umidade relativa, com a finalidade de torná-las adequadas para uso como fluido de perfuração.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.1 - Introdução

Este capítulo foi dividido em três partes, sendo que na primeira parte é feita uma revisão dos estudos das argilas esmectíticas de Boa Vista, Paraíba, onde se tem um histórico, mostrando o desenvolvimento progressivo dos estudos de diversos pesquisadores. Na segunda parte é feito um estudo sobre reologia de fluidos, com uma abordagem de maneira sumária do estudo e análise dos modelos e das propriedades reológicas de fluidos considerados incompressíveis, dando ênfase especial aos fluidos de perfuração de poços de petróleo, objeto principal desta dissertação. Na terceira e última parte é feito um estudo sobre viscosimetria, onde são mostrados vários tipos de viscosímetros, com seus princípios de funcionamento. Também é feita nesta parte a dedução de equações para as determinações das propriedades reológicas em um viscosímetro rotativo do tipo FANN VG METER.

II.2 - Estudos de Argilas Esmectíticas de Boa Vista, PB.

As argilas esmectíticas do Distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande, Paraíba, constituem a principal fonte nacional de argilas usadas industrialmente em fluidos de perfuração rotativa de poços de petróleo.

Essas argilas foram descobertas em 1960 por Dr. Antonio Pereira Almeida e os primeiros estudos foram iniciados

por ROCHA (1966) do D.N.P.M. A geologia dos depósitos de Boa Vista foi estudada por CALDASSO (1965, 1967) e por PINTO e PIMENTEL (1968). As possibilidades de utilização tecnológica dessas esmectitas foram estudadas por STEFAN (1966), SOUZA SANTOS (1968) e por CAILLAUX e CUNHA (1970).

Nos estudos feitos por SOUZA SANTOS (1968) verificou-se que argilas esmectíticas de cores e tonalidades diferentes, apresentavam propriedades reológicas diferentes, ou seja, algumas apresentavam, após tratamento com carbonato de sódio, viscosidade aparente acima de 15 cP a 6% de sólido, enquanto outras apresentavam viscosidade aparente entre 1 cP e 3 cP, apesar de todas as ocorrências serem constituídas essencialmente por argilominerais esmectíticos. Tentando explicar essas diferenças, SOUZA SANTOS (1968) atribuiu as baixas viscosidades aparentes, primeiro à natureza e à proporção dos cátions presentes nas argilas estudadas que bloqueariam a troca pelo sódio e segundo à cinética diferente na troca dos cátions. A primeira hipótese foi rejeitada com base nos dados obtidos por ZANDONADI (1972) e a segunda foi estudada por ZANDONADI (1966, 1970 e 1972) e CAVAZONI (1974) através da troca de cátions por sódio radioativo, cujos resultados não permitiram provar tal hipótese.

ZANDONADI (1972) tentando correlacionar as argilas com baixas viscosidades aparentes, com os dados de FOSTER (SOUZA SANTOS, 1975), concluiu que o elevado teor de Fe e Mg na camada octaédrica provocaria um "não-inchamento" e consequentemente uma baixa viscosidade aparente. ZANDONADI et alii (1970, 1972) estudaram dezoito processos de tratamento com carbonato de sódio visando a transformação de esmectitas só

dicas. Desses processos, os que produzem os melhores resultados são aqueles em que o carbonato de sódio, na proporção adequada, é adicionado na forma anidra ou em solução concentrada, à argila moída, a qual é mantida durante cinco dias em ambiente úmido.

Os processos de tratamento de argilas esmectíticas policatiônicas em esmectitas sódicas usualmente empregam o carbonato de sódio. Foi feito um estudo (CAMPOS e SOUZA SANTOS, 1977) da troca catiônica entre a esmectita verde-lodo e vinte e cinco sais de sódio: as melhores viscosidades plásticas foram obtidas com o carbonato de sódio e o oleato de sódio; a interpretação desse melhor comportamento é de que se formam sais insolúveis de cálcio e magnésio na reação de dupla troca, os quais não afetariam as viscosidades aparente e plástica devido ao fato de se precipitarem. No trabalho de SOUZA SANTOS (1968) duas amostras de argilas esmectíticas de Boa Vista, previamente tratadas com carbonato de sódio apresentavam alta viscosidade aparente e baixa viscosidade plástica; com a diálise de seis dias, essas amostras apresentavam uma diminuição da viscosidade aparente e um aumento da viscosidade plástica; com a adição de íons Ca^{2+} e Mg^{2+} houve um aumento da viscosidade aparente e uma diminuição da viscosidade plástica; com uma nova diálise, a viscosidade aparente diminuiu e a viscosidade plástica aumentou. Desta maneira, fica patente a influência dos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} nas viscosidades aparente e plástica.

Foi feito um estudo por SOLANO, SOUZA SANTOS e ZANDONADI (1977) sobre o efeito da secagem na faixa de 30°C até 300°C , antes da troca com carbonato de sódio nas argilas es

mectíticas policatiônicas e comparadas com a esmectita sódica de Wyoming; as propriedades reológicas sofreram alterações sensíveis nas esmectitas policatiônicas, quando a secagem era feita antes da troca por sódio. Isso sugeriu a hipótese de que a forma sódica é menos alterada em suas propriedades reológicas, quando a temperatura de secagem encontra-se entre 30°C e 300°C.

Essa hipótese da forma sódica "proteger" as propriedades reológicas dos efeitos da temperatura de secagem foi verificada detalhadamente por PRADO et alli (1980) e por SOLANO et alli (1980). Nesses estudos verificou-se o efeito da secagem antes e depois da troca de cátions com o carbonato de sódio nas argilas policatiônicas naturais. A faixa de temperatura em que se obteve os melhores resultados das viscosidades aparente e plástica foi entre 30°C e 55°C, sendo que os melhores valores da viscosidade plástica são obtidos quando a secagem for posterior a troca com o carbonato de sódio.

KIMINAMI e FERREIRA (1980, 1981a, 1981b e 1981c) tem desenvolvido constantes pesquisas com argilas esmectíticas de cores verde-clara e vermelha de Bravo. Nessas pesquisas foi usada uma câmara climatizada, procurando verificar o efeito da variação do tempo, da temperatura e da umidade relativa do ar na cura após a adição de carbonato de sódio, sobre as propriedades reológicas das amostras tratadas, visando a utilização como componentes tixotrópicos de fluidos de perfuração de poços de petróleo. Foi verificado que as condições de cura exercem influência significativa nas propriedades tecnológicas, podendo tornar argilas consideradas como não-propícias para a utilização em fluidos de perfuração de poços de

petróleo em argilas adequadas para esse fim. Essa influência, porém, é específica para cada cor de argila. Os resultados desses estudos foram abordados de uma forma mais objetiva nas referências (KIMINAMI et alli, 1983, 1985a, 1985b, 1985c).

BARBOSA (1984 e 1985) e QUEIROZ (1985) dando prosseguimento aos estudos iniciados por KIMINAMI e FERREIRA, estudaram mais detalhadamente a cura em câmara climatizada e câmara úmida, com outras amostras de argilas esmectíticas de Bravo, denominadas localmente por chocolate, sortida, bofe e verde-escura. Os resultados desses estudos mostraram haver uma diferença de comportamento na troca por sódio, em função da umidade do ambiente de cura, do teor de carbonato de sódio e da temperatura, nas quatro amostras de cores diferentes, resultados que estão de acordo com os obtidos por KIMINAMI (1981c). Observou-se no entanto, que algumas argilas esmectíticas, após os tratamentos de cura, não satisfaziam as especificações da Petrobrás (1968) e apresentavam características especiais; como a argila do tipo bofe, apresentando-se como um fluido floculado com baixas viscosidades aparente e plástica, podendo-se ter a separação de fases entre a água e a fração argila; e como argila de cor verde-escura, apresentando-se como um fluido floculado na forma de um gel rígido, com alta viscosidade aparente e baixa viscosidade plástica.

Nos estudos desenvolvidos por DIAS (1983, 1986) com uma amostra de argila esmectítica de cor verde-lodo de La ges, submetida ao processo nº 18 desenvolvido por ZANDONADI (1972), observou-se um comportamento pouco comum em argilas

esmectíticas, apresentando uma viscosidade aparente elevada e uma viscosidade plástica não só abaixo do mínimo especificado pela Petrobrás (1968), mais surpreendentemente os valores eram negativos. Devido a esses resultados o mesmo investigou as possíveis causas e formas para correção da viscosidade plástica negativa em dispersões a 6% em sólidos e concluiu que o teor de água (abaixo de 31%) existente na argila na sua forma natural era a principal causa das mesmas apresentarem viscosidade plástica negativa.

RAMOS et alli (1984, 1985) trabalhando com argilas esmectíticas de Bravo de cores verde-clara, vermelha e do tipo sortida estudaram também a cura em câmara úmida e autoclave. Nesses estudos foi verificado o efeito da diálise e a influência do CO_2 dissolvido na dispersão. Desses resultados observou-se que a cura em autoclave não favorece as propriedades reológicas quanto a seu uso como agente tixotrópico em fluidos de perfuração de poços de petróleo. O efeito da diálise é bastante conveniente na melhoria das propriedades reológicas das argilas. O uso de CO_2 prejudica as propriedades reológicas das argilas.

Em estudos feitos por KIMINAMI et alli (1984) foi verificado que a medida que o tempo evolui, as argilas esmectíticas sódicas artificiais perdem suas propriedades reológicas. Esse estudo foi feito com quatro amostras de argilas esmectíticas produzidas por indústrias do Estado da Paraíba, usando um período de seis anos e em nenhum caso atenderam as especificações da Petrobrás (1968). Recentemente D'ÁVILA et alli (1987) estudaram o envelhecimento de uma argila, associando a dois fatores principais: a reversibilidade da

reação de troca catiônica e o conteúdo de umidade atual da argila e verificou que por um processo simples é possível recuperar as propriedades reológicas da argila através de um reator de extrusão desde que se determine o nível de umidade adequado.

Do resumo dos estudos apresentados observa-se que o desenvolvimento de uma argila esmectítica sódica artificial, que satisfaça as especificações existentes, depende de uma complexa gama de fatores, entre eles temos: o teor de impureza na argila esmectítica, a temperatura de secagem antes e depois da troca de cátions, o número de miliequivalentes de carbonato de sódio adicionados, o tempo para a troca de cátions e para o desenvolvimento das viscosidades aparente e plástica, a presença de cátions divalentes solúveis, o teor de umidade adequada antes e no momento da troca de cátions, etc. Como citado anteriormente, no decorrer deste trabalho, pretende-se verificar a influência de um tratamento térmico em alguns desses fatores de modo a se obter uma esmectita sódica que atende as especificações da Petrobrás (1968), para uso como fluido de perfuração.

II.3 - Reologia de Fluidos

II.3.1 - Introdução^(*)

Reologia é uma palavra de origem grega, que vem de

(*) Mesmo de tratando de uma dissertação de mestrado, achou-se necessário uma introdução acadêmica, abordando conceitos fundamentais, para melhor exposição da matéria.

RHEO - escoamento ou deformação e LOGIA - ciência. Portanto, Reologia é a ciência que estuda a deformação da matéria, no caso de corpos rígidos, ou escoamento dos fluidos, no caso de sistemas líquidos ou gasosos.

Para se introduzir o conceito de viscosidade e discutir os tipos de fluidos, será necessário definir gradiente de velocidade e tensão de cisalhamento vinculados ao escoamento de um fluido.

O gradiente de velocidade (também chamado de taxa de cisalhamento) é a razão na qual uma partícula ou plano de um fluido se desloca com relação a outra(o) dividida pela distância entre elas(es). A expressão matemática para o gradiente de velocidade é definido por:

$$\gamma = \left(\frac{dv}{dy} \right) \quad (1)$$

onde v é a velocidade da partícula ou plano em relação a outra(o) e y é a distância entre elas(es). A tensão de cisalhamento seria a resistência ao escoamento correspondente a um gradiente de velocidade aplicado ao um fluido. Esta tensão de cisalhamento pode ser expressa por:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2)$$

onde F é a força aplicada no escoamento e A é a área da superfície exposta àquela força. Portanto, a viscosidade de um fluido seria, por definição a relação entre a tensão de cisalhamento e o correspondente gradiente de velocidade, isto é:

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma} \quad (3)$$

No sistema "CGS" a viscosidade seria expressa em g/cm.s ,

unidade que denomina poise (símbolo P), em homenagem a Poiseuille. Na prática, o centipoise, simbolizado por cP, igual a um centésimo de poise, é mais utilizado.

II.3.2 - Classificação Reológica dos Fluidos

De um modo bem abrangente os fluidos são classificados como: newtonianos ou não-newtonianos.

São newtonianos os fluidos cuja viscosidade só é influenciada pela temperatura e pressão em regime laminar. Pois a uma dada temperatura e pressão a razão entre a tensão cisalhante e o gradiente de velocidade é uma constante denominada de viscosidade absoluta do fluido. Em termos matemáticos:

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \text{constante} \quad (4)$$

São não-newtonianos todos os fluidos que não exibem uma proporcionalidade entre tensão cisalhante e o gradiente de velocidade, à temperatura e pressão constantes em regime laminar. A viscosidade desses fluidos, portanto, não é única e varia com a magnitude da tensão cisalhante. O fluido não newtoniano pode ser caracterizado pela expressão:

$$\mu_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (5)$$

onde a variável μ_a é denominada viscosidade aparente (VAN OLPHEN, 1977).

Dentro da literatura do escoamento de fluidos existe um grande número de equações matemáticas que podem ser utilizadas para descrever o comportamento de um fluido particular. Dentre esses modelos matemáticos, os mais aceitos pa

ra descrever o comportamento dos fluidos de perfuração de poços de petróleo^(*) são (AMUI, 1979):

- o modelo de Bingham ou plástico ideal
- o modelo de Ostwald ou modelo da potência.

O modelo de Bingham é definido pela seguinte equação reológica:

$$\tau = \mu_p \cdot \dot{\gamma} + \tau_L \quad (6)$$

com μ_p e τ_L constantes e diferentes de zero, onde μ_p e τ_L denominados por viscosidade plástica e limite de escoamento, respectivamente, são os parâmetros reológicos que definem o comportamento desse fluido.

O modelo da potência é definido pela equação matemática:

$$\tau = k (\dot{\gamma})^n \quad (7)$$

com k constante e diferente de zero e n constante maior que zero e diferente de um, onde k e n são parâmetros reológicos denominados por índice de consistência e índice de comportamento do fluxo, respectivamente.

Os dois modelos clássicos, citados acima, constituem boas aproximações para os fluidos de perfuração de petróleo, todavia, nenhum dos dois modelos cobrem todo o reograma apresentado por esses fluidos.

Em 1976, ROBERTSON e STIFF propuseram um modelo reológico para o fluido de perfuração que satisfazia plenamente os dados experimentais. O modelo de ROBERTSON e STIFF é defi

(*) Considerando que o fluido de perfuração se apresentasse totalmente no estado sol, o que corresponderia ao caso em que o fluido estivesse perfeitamente agitado.

nido pela equação:

$$\tau = A[f(\tau) + C]^B \quad (8)$$

Esta equação seria a primeira vista a combinação do modelo de Bingham com o modelo de potência, ou seja:

$$\tau = \tau_0 + k (\dot{\gamma})^n \quad (9)$$

Porém é importante frizar que o parâmetro C não é na verdade τ_0 , mas, uma correção que se faz na taxa de deformação. O termo $[f(\tau) + C]$ seria uma taxa de deformação efetiva.

O Gráfico 1 mostra as curvas obtidas para os modelos estudados e os dados experimentais (o Gráfico é qualitativo) (D'ÁVILA, 1983).

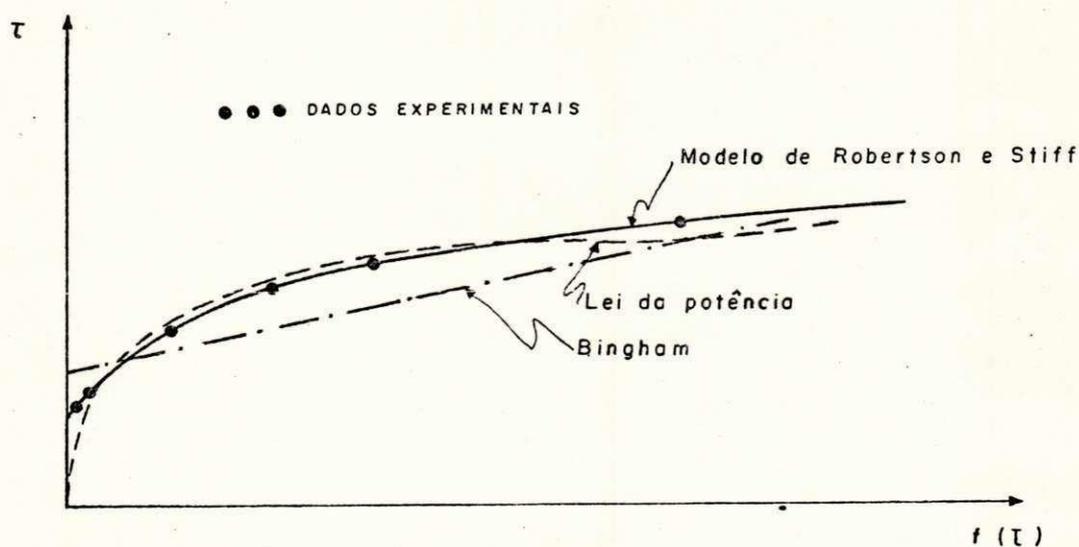


Gráfico 1 - Diagrama Reológico - Vários Modelos.

II.3.3 - Tixotropia

Os fluidos de perfuração de poços de petróleo, apesar de serem estudados pelos modelos mencionados anteriormente, verifica-se que em nenhum deles foi considerado o efeito

do tempo sobre a viscosidade e, esses fluidos apresentam viscosidade variável com o tempo, isto é, para valores constantes de gradiente de velocidade e temperatura, a tensão de cisalhamento varia com o tempo.

Os fluidos dependentes do tempo são classificados em reopéticos^(*) (quando a tensão de cisalhamento aumenta com o tempo de fluxo para o mesmo gradiente de velocidade) e tixotrópicos (quando a tensão de cisalhamento diminui com o tempo de fluxo, para o mesmo gradiente de velocidade).

Geralmente os fluidos de perfuração a base de água contendo argilas aumentam de tensão de cisalhamento quando são deixados em repouso, portanto são denominados de tixotrópicos. Este fenômeno, fisicamente se caracteriza pela formação do estado gel sob condições estáticas (repouso) e recuperação da fluidez quando sob em condições dinâmicas, sendo, portanto um fenômeno de transformação sol-gel isotérmico e reversível (SOUZA SANTOS, 1975).

Conforme foi mencionado, o fluido de perfuração se comporta como um sol, enquanto se acha em circulação. Neste estado, a corrente de fluido injetado nas perfurações transporta, para a superfície, as partículas trituradas, no seu movimento ascendente, entre as paredes da perfuração e as hastes. Como as partículas trituradas apresentam uma massa específica mais elevada do que a da suspensão coloidal, verifica-se a sua queda em relação a corrente do fluido, mas, em virtude da velocidade desta, predomina a componente ascendente da força que atua sobre as partículas, resultando o seu

(*) Alguns autores (WINDLE, 1965 e DIAZ, 1983) classificam este fenômeno como dilatância (dilatancy).

arrastamento para cima, com referência às paredes da perfuração. Alcançando a superfície, as partículas sólidas são depositadas com maior ou menor facilidade, conforme a viscosidade do fluido.

Quando a circulação é interrompida, sobre as partículas sólidas agirá apenas a componente descendente, em consequência do próprio peso, se o fluido não apresentar propriedades tixotrópicas. Neste estado, o sistema argila-água adquire propriedades de gel, mantendo em suspensão tanto as partículas inertes como as resultantes da trituração das rochas. Reiniciando a circulação, o fluido retorna ao estado sol. É em virtude da tixotropia do fluido, que no estado de repouso, o sistema inteiro é imobilizado, impedindo, conseqüentemente, a sedimentação das partículas sólidas que poderia travar a broca.

A tixotropia não deve ser confundida com os fenômenos de reopexia e de dilatância (Souza Santos, 1975).

II.4 - Viscosimetria

II.4.1 - Introdução

A determinação experimental dos parâmetros reológicos de qualquer fluido é feita através de equipamentos conhecidos por viscosímetros.

Para a medida das propriedades reológicas dos fluidos de perfuração de poços de petróleo foram idealizados vários tipos de viscosímetros, sendo os mais usados:

- os viscosímetros de tubo-capilar ;
- os viscosímetros rotativos; de cilindros concêntricos (tipo FANN); de disco ou de um cilindro (tipo BROOKFIELD) ;
- os viscosímetros de medida de tempo de escoamento (tipo "viscosímetro MARSH" ou funil "MARSH").

Dos vários tipos de viscosímetros acima citados daremos ênfase especial ao viscosímetro rotativo de cilindro concêntrico tipo FANN, por ser este aparelho utilizado nas determinações das propriedades reológicas das suspensões de argilas estudadas nesta dissertação e de largo uso no campo de perfuração de petróleo, para controle de rotina das propriedades viscosas dos fluidos.

II.4.2 - O Viscosímetro Capilar

O viscosímetro capilar é um equipamento de projeto bastante simples, cuja peça fundamental é um tubo cilíndrico de geometria (diâmetro, comprimento) conhecida. Uma bomba de vazão variável força o escoamento do fluido que se deseja ensaiar através do referido tubo. Um manômetro diferencial indica a queda de pressão entre os terminais do tubo.

As grandezas físicas controladas e determinadas no viscosímetro capilar são: a vazão (Q) e a queda de pressão (ΔP) (MACHADO, 1983).

II.4.3 - O "Viscosímetro" Marsh

O funil Marsh é um instrumento do tipo estático. A variável medida é o tempo, em segundos, necessário para que

uma dada quantidade de fluido passe através de um tubo de dimensão especificada. Esse tipo de "viscosímetro" é muito usado nas campos de petróleo para o controle sistemático das mudanças das características dos fluidos de perfuração. Embora não se determine a viscosidade do fluido com este instrumento, as variações nos tempos indicam que, de alguma forma, os parâmetros reológicos do fluido estão se modificando.

Normalmente, registra-se o resultado do ensaio com o funil Marsh, denominado de "viscosidade Marsh", em seg/1000 ml. Embora não exista nenhuma base quantitativa na manipulação desses números ele traz o benefício de detectar mudanças nas propriedades do fluido de perfuração (STEFAN, 1956).

II. 4. 4 - O Viscosímetro Rotativo Brookfield

O viscosímetro rotativo Brookfield gira um cilindro ou disco imerso em um fluido e mede o torque necessário para vencer a resistência viscosa do fluido ao movimento induzido. Isto é conseguido através da leitura de deflexão transmitida por uma mola em forma espiral, que está conectada a um elemento imerso, denominado "spindle". O grau de deformação da mola, indicado pela posição do dial, é proporcional à viscosidade do fluido para uma certa velocidade de rotação do corpo imerso (BROOKFIELD, 1973).

II.4.5 - O Viscosímetro Rotativo - FANN VG METTER

O viscosímetro FANN VG METTER é baseado no projeto da "Socony-Mobil Oil Company", cuja intenção original era medir as viscosidades aparente e plástica e o limite de escoamento.

mento dos fluidos de perfuração nos campos de petróleo. Este viscosímetro é do tipo rotativo de cilindros co-axiais. O fluido para ensaio é colocado entre os cilindros co-axiais do viscosímetro e o cilindro externo gira a uma velocidade pré-determinada. Uma força de arraste resultante, função da viscosidade do fluido, atua sobre a superfície do cilindro interno. Este fica suspenso e conectado a uma mola de torção, que por sua vez, está presa a um anel de fixação ajustável, de modo que seu comprimento pode variar. Isto permite que se possa fazer ajustes à mola para dar ao viscosímetro a constante de trabalho desejável. A deflexão da mola é lida sobre uma escala circular (dial) que está marcada em intervalos de 1° até 300° , máxima deflexão permissível. Existe um sistema pino-batente que impede a escala de girar além dos 300° , evitando torção excessiva na mola (FANN, 1979).

II.4.6 - Equações para o Viscosímetro Rotativo FANN VG MATTER

O viscosímetro rotativo de cilindros co-axiais FANN VG MATTER, admite que o fluido de perfuração se comporte como um plástico ideal, de modo a permitir a determinação da viscosidade plástica e da tensão residual, também chamada de limite de escoamento.

Nos viscosímetros rotativos, a tensão de cisalhamento (τ) está associada ao Torque (T) (normalmente exercido pelo fluido no cilindro interno) e a velocidade de rotação (Ω) à taxa de deformação ($f(\tau)$) (normalmente devido a rotação do cilindro externo).

O torque por unidade de altura (T) pode ser dado

por:

$$T = 2\pi r \cdot \tau \cdot r = 2\pi \cdot r^2 \tau \quad (10)$$

A taxa de deformação é dado por:

$$f(\tau) = r \frac{d\Omega}{dr} = r \frac{d}{dr} \left(\frac{v}{r} \right) \quad (11)$$

onde Ω é a velocidade angular dada por v/r .

A integração da equação (11), com as condições de contorno: $v = 0$ para $r = r_1$ e $v = \Omega_2 r_2$ para $r = r_2$, onde r_1 e r_2 , são os raios interno e externo dos cilindros, respectivamente, nos dá a distribuição de velocidade, isto é:

$$\Omega_2 = \frac{v(r_2)}{r_2} = \int_{r_1}^{r_2} f(\tau) \frac{dr}{r} \quad (12)$$

Da equação (10) temos:

$$\begin{aligned} \tau \cdot r^2 &= T/2\pi \rightarrow d(\tau r^2) = d(T/2\pi) \rightarrow \\ \tau 2r dr + r^2 d\tau &= 0 \rightarrow \frac{dr}{r} = - \frac{d\tau}{2\tau} \end{aligned} \quad (13)$$

Substituindo a equação (13) em (12), obtemos:

$$\Omega_2 = - \int_{\tau_1}^{\tau_2} f(\tau) \frac{d\tau}{2\tau} = \int_{\tau_2}^{\tau_1} f(\tau) \frac{d\tau}{2\tau} \quad (14)$$

Para um fluido plástico ideal tem-se a seguinte equação reológica:

$$f(\tau) = \frac{\tau - \tau_0}{\mu_p} \quad (15)$$

Substituindo a equação (15) na equação (14) e considerando que $\tau_2 > \tau_0$, obtem-se:

$$\Omega_2 = \int_{\tau_2}^{\tau_1} \frac{1}{2\mu_p} d\tau - \int_{\tau_2}^{\tau_1} \frac{\tau_0}{2\mu_p} \frac{d\tau}{\tau} \quad (16)$$

Da equação (10), temos que:

$$\text{- para o cilindro interno: } \tau_1 = T/2\pi r_1^2 \quad (17)$$

$$\text{- para o cilindro externo: } \tau_2 = T/2\pi r_2^2 \quad (18)$$

Integrando a equação (16) e substituindo as equações (17) e (18), obtemos:

$$\Omega_2 = \frac{\tau}{4\pi\mu_p} \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right) - \frac{\tau_0}{\mu_p} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (19)$$

A equação (19), pode ser escrita como:

$$\Omega_2 = \frac{1}{2\mu_p} \cdot \frac{\tau}{2\pi r_1^2} \left[1 - \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right] - \frac{\tau_0}{\mu_p} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (20)$$

Na equação (20) $\tau_1 = \tau/2\pi r_1^2$ e fazendo

$$k_1 = 1/2 \left[1 - \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right] \quad \text{e} \quad k_2 = \ln \frac{r_2}{r_1}, \quad \text{obtem-se:}$$

$$\tau_1 = \frac{\mu_p}{k_1} \Omega_2 + \frac{k_2}{k_1} \tau_0 \quad (21)$$

Se fizermos um gráfico de τ_1 versus Ω , satisfazendo a equação (21), teremos:

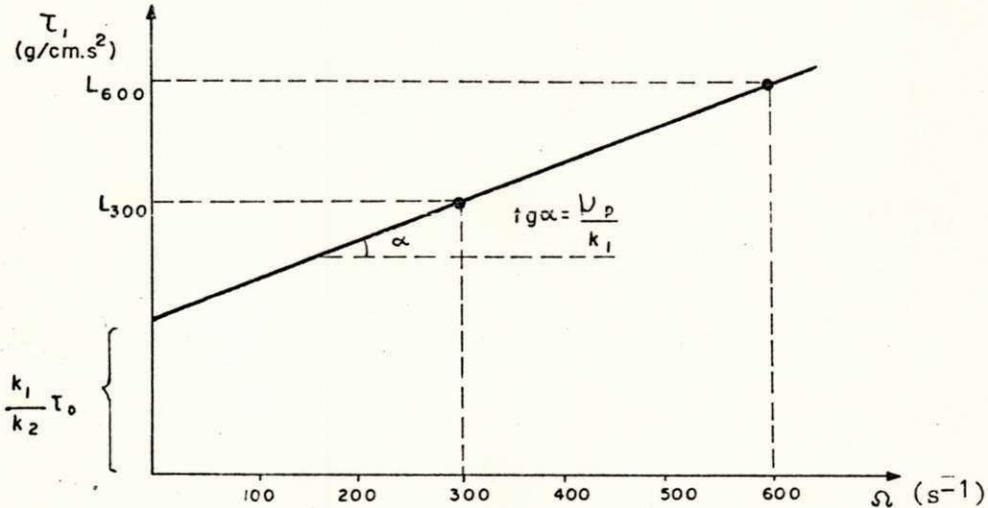


Gráfico 2 - Diagrama Reológico de um Fluido Binghamiano

onde a inclinação seria μ_p/k_1 e a interseção da reta seria $\frac{k_1}{k_2} \cdot \tau_0$.

Portanto, a partir deste Gráfico, podemos determinar os parâmetros que caracterizam um fluido de perfuração (assumindo o modelo de Bingham), usando um viscosímetro rotati

vo de cilindros concêntricos.

No caso do viscosímetro FANN VG METTER, o instrumento é calibrado de modo que a viscosidade plástica μ_p em cP coincida numericamente com a diferença das leituras (em lbf/100ft²) à 600 e 300 rpm.

Pelo Gráfico 2 pode-se observar que a inclinação da reta é dada por:

$$\frac{\mu_p}{k_1} = \frac{L_{600} - L_{300}}{600 - 300} \rightarrow \mu_p = k_1 \frac{L_{600} - L_{300}}{300} \quad (22)$$

Portanto, da equação (22), temos que k_1 é igual a 300, para que:

$$\mu_p = L_{600} - L_{300} \quad (23)$$

A tensão residual ou limite de escoamento é obtido da equação (21) ou seja:

$$\frac{k_2}{k_1} \tau_0 = \tau_1 - \frac{\mu_p}{k_1} \Omega_2 \quad (24)$$

Substituindo μ_p/k_1 da equação (22) na equação (24), obtemos:

$$\tau_0 = \frac{k_1}{k_2} \tau_1 - \frac{k_1}{k_2} \left(\frac{L_{600} - L_{300}}{600 - 300} \right) \Omega_2 \quad (25)$$

Para o viscosímetro FANN VG METTER, modelo 35A, os raios dos cilindros interno e externo são $r_1 = 1,725$ cm e $r_2 = 1,842$ cm, respectivamente. Com estes dados temos $k_1 = 1,067 k_2$. No entanto, muitos consideram que para trabalhos práticos, a igualdade $k_1 = k_2$, satisfaz. Portanto a equação (25), torna-se igual a:

$$\tau_0 = \tau_1 - \left(\frac{L_{600} - L_{300}}{300} \right) \Omega_2 \quad (26)$$

O ponto em que $\Omega = 300$ corresponde a $\tau_1 = L300$ e a equação (26), fica sendo:

$$\tau_0 = 2L300 - L600 \quad (27)$$

A viscosidade aparente para fluidos Binghamianos (ou fluido não-newtoniano) varia de ponto a ponto, ou seja, para cada velocidade de rotação teremos uma viscosidade aparente diferente, portanto, costuma-se defini-la como:

$$\mu_a = \frac{L600}{2} \quad (28)$$

Pela combinação das equações (23), (27) e (28) encontramos a seguinte expressão:

$$\mu_a = \mu_p + \frac{\tau_0}{2} \quad (29)$$

Da equação (29), observa-se que a viscosidade aparente é uma função da viscosidade plástica e da tensão residual que são propriedades de escoamento absolutas para um fluido de Bingham, de modo que um aumento de uma delas significa aumento da viscosidade aparente.

A viscosidade plástica representa a componente da resistência ao escoamento devido: a) a concentração de sólidos; b) o tamanho, forma e distribuição das partículas; c) a viscosidade da fase fluida.

A tensão residual ou limite de escoamento é a componente da resistência ao escoamento devido as forças de atração entre as partículas. Essas forças são causadas pelas cargas elétricas nas superfícies das partículas dispersas na fase fluida. A grandeza dessas forças pode ser causada por: a) o tipo de sólido e as cargas associadas a ele; b) a quantidade de sólidos; c) a concentração de eletrólitos na fase fluida.

Do resumo dos estudos sobre o comportamento reológico dos fluidos não-newtonianos, mais especificamente dos fluidos de perfuração, verifica-se um campo ainda insuficientemente explorado e muito complexo, pois dependem não só das características individuais das partículas, mas também de interações partícula-partícula e partícula-dispersante. Por causa dessas complicações, o estudo do comportamento reológico dos fluidos de perfuração é ainda em grande parte uma "ciência" empírica e neste aspecto, torna-se importante o uso de viscosímetros na determinação experimental das propriedades reológicas desses fluidos, pois a partir dessas determinações é possível se ter um controle das variações ocorridas por esses fluidos durante a fase de perfuração, além do desenvolvimento de pesquisas, em laboratório, de processos de tratamento desses fluidos.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

III.1 - Introdução

Este capítulo descreve os materiais e métodos utilizados nesta dissertação. Os materiais, ou seja, as amostras de argilas esmectíticas são descritas junto com a caracterização mineralógica, baseados em trabalhos realizados por diversos pesquisadores (SOUZA SANTOS, 1968; SOUZA SANTOS E CAMPOS, 1979; SOUZA SANTOS, 1980 e 1981; KIMINAMI, 1981b, 1981c e 1983). Nos métodos são descritos os ensaios tecnológicos onde é dado ênfase ao tratamento térmico realizado no primeiro processo, sendo o segundo e o terceiro processos realizados como ensaios complementares.

III.2 - Materiais

Para o estudo dos efeitos do tratamento térmico de dispersões de esmectitas sódicas obtidas em laboratório, nas propriedades reológicas de argilas esmectíticas de Boa Vista, foram utilizadas três argilas esmectíticas de cores diferentes, vermelha, verde-escura e do tipo bofe.

As três argilas esmectíticas, foram coletadas na região de Bravo, localizada no Distrito de Boa Vista, à 60 km de Campina Grande, Paraíba. Essas argilas foram coletadas manualmente, sendo separadas uma área para cada amostra e retirados blocos a uma distância de 4m em 4m ao longo da área

a ser explorada. Em seguida, essas amostras foram homogeneizadas e separadas por quarteação; a fim de se obter uma amostragem representativa.

O critério para seleção das três amostras de argilas esmectíticas de Bravo, foi baseado no comportamento obtido em vários trabalhos (SOUZA SANTOS, 1968; KIMINAMI, 1981c e 1983; BARBOSA, 1984 e 1985; e RAMOS, 1984 e 1985), com dispersões à 6% em argila, após tratamento com carbonato de sódio e cura, onde tem-se: a) argila vermelha floclada dentro das especificações da Petrobrás (1968); b) argila verde escura floclada na forma de um gel rígido, com alta viscosidade aparente e baixa viscosidade plástica; c) argila do tipo bofe floclada com baixas viscosidades aparente e plástica, podendo ocorrer separação de fases. Portanto, a escolha das argilas foi feita de maneira que correspondesse a cada estado acima citado, com intuito de verificar o comportamento dessas argilas diante de um tratamento térmico.

De acordo com os resultados obtidos (SOUZA SANTOS, 1968; SOUZA SANTOS e CAMPOS, 1979; SOUZA SANTOS, 1980 e 1981; KIMINAMI, 1981a e BARBOSA, 1984) através da análise térmica diferencial, difração de raios-x e microscopia eletrônica, as esmectitas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe não apresentaram diferenças entre si, revelando uma homogeneidade de composição mineralógica qualitativa, sendo formadas por uma mistura de argilomineral, caulinita, illita, quartzo e argilominerais do grupo das esmectitas tais como nontronita e nontronitabeidelita. Pela análise química e cátions trocáveis, o magnésio é o cátion trocável predominante seguido pelo cálcio, sódio e potássio. A predominân

cia de cátions divalentes e de sódio facilita a transformação da esmectita policatiônica em esmectita sódica. As três amostras apresentam o elemento ferro. Este elemento deve fazer parte dos reticulados cristalinos da illita, uma vez que este argilomineral contém entre 4 a 6% de Fe_2O_3 , e do argilomineral nontronita ou membro da série isomórfica nontronita-beidelita do grupo da montmorilonita ou esmectita. A capacidade de troca de cátions, determinada pelo método de azul de metileno para as argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe são 70, 80, 60 meq/100g de argila, respectivamente. A área específica determinado pelo método do azul de metileno para as argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe são 499,2; 424,0 e 468,3 m^2/g , respectivamente. Pelo método de Fisher temos para a argila de cor vermelha 1,14 m^2/g , para a argila de cor verde-escura 0,82 m^2/g e para a argila do tipo bofe 1,01 m^2/g . Pelo método do permeâmetro de Blaine, temos para a argila do cor vermelha 10,40 m^2/g , para a argila do cor verde-escura 0,26 m^2/g e para a argila do tipo bofe 0,17 m^2/g .

III.3 - Métodos

III.3.1 - Preparação das Amostras

As três argilas esmectíticas foram secas ao ar livre em temperatura ambiente, até atingir umidade de aproximadamente 10%. Nessa condição as amostras foram moídas em moinho Simpson, até passar em peneira ABNT nº 200 (abertura 0,074 mm). As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos até serem realizados os ensaios tecnológicos.

III.3.2 - Preparação da Solução de Carbonato de Sódio

Foram pesados 200 g de carbonato de sódio anidro e colocados em um balão volumétrico de 1000 ml. Colocou-se água destilada, agitando-se até completa dissolução do carbonato de sódio. Finalmente completou-se o volume para 1000 ml com água destilada, agitando-se para homogeneização. O carbonato de sódio é utilizado na forma de solução concentrada na proporção de 100 meq/100g de argila seca, sendo usado 5,5 ml de solução em 21 g de argila.

III.3.3 - Ensaio Tecnológicos

Para a realização dos ensaios tecnológicos, foi pesado 21 g de cada amostra e misturado com 5,5 ml de solução de carbonato de sódio, na proporção de 100 meq/100g de argila seca, essa quantidade é baseada no valor da capacidade de troca de cátions usual das esmectitas, que é da ordem de 80 meq/100 g de argila seca à 100 meq/100 g de argila seca, valor este determinado em vários trabalhos (SOUZA SANTOS, 1968; ZANDONADI, 1974 e 1978; ASSUNÇÃO, 1979; KIMINAMI 1981c e 1983 e BARBOSA, 1984). Após a adição do carbonato de sódio, as amostras foram curadas em câmara úmida, à 100% de umidade relativa e temperatura ambiente por período de 24 h.

Após a obtenção da esmectita sódica, foram preparadas dispersões em concentrações de 6% em esmectita, ou seja, 21 g de argila seca em 350 ml de água destilada; agitadas por 20 min e deixadas em repouso por um período de

24h.

Uma vez preparadas as dispersões, estas são submetidas a três processos, que serão descritos mais adiante. Para verificar a influência do tratamento térmico nas propriedades reológicas foram medidas as viscosidades plástica e aparente e volume do filtrado segundo o método da PETROBRÁS (1968), isto é, agita-se a dispersão por 5 minutos à 10.000 rpm, transfere-se para o recipiente de um viscosímetro rotativo tipo FANN, modelo 35A e efetuam-se as leituras a 600 e a 300 rpm, sendo a viscosidade aparente, expressa em centipoises, dada pelo valor da leitura a 600 rpm dividido por dois e a viscosidade plástica, também em centipoises, dada pela diferença das leituras procedidas a 600 e a 300 rpm. O volume do filtrado, expresso em mililitros, é determinado através de um filtro prensa à pressão de 7 kgf/cm², recolhidos após 30 minutos (*). Para as medidas das propriedades reológicas foram feitas duas determinações, sendo apresentada a média dos dois valores.

Foram determinados com as amostras nos três processos os teores de carbonatos e bicarbonatos existentes no extrato do volume do filtrado recolhido após 30 minutos, segundo o método descrito na referência (EMBRAPA, 1975).

A seguir serão descritos os três processos utilizados nesta dissertação. O segundo e o terceiro processos foram feitos como ensaios complementares,

(*) Uma descrição completa sobre métodos de ensaios com bentonita para fluidos de perfuração encontram-se nas referências (MORO, 1966 e STEFAN, 1966).

com base no comportamento apresentado, pelas dispersões de esmectitas sódicas, quando submetidas ao tratamento térmico do primeiro processo.

O tratamento térmico para cada processo, foi feito com as dispersões colocadas em Beckeres de 600 ml, cobertos com papel de alumínio e colocados dentro de uma câmara climatizada de marca Blue-M, tipo C.

III.3.3.1 - Primeiro Processo

O primeiro processo consistiu em submeter as dispersões descritas anteriormente, em temperaturas de 40, 50, 70 e 90°C, por períodos de 12, 24, 48 e 72 horas. após o tratamento térmico as dispersões foram resfriadas à temperatura ambiente e em seguida determinadas as viscosidades aparente e plástica e o volume do filtrado, bem como, os teores de carbonatos e bicarbonatos no volume do filtrado. Ainda neste processo foram feitas medidas das propriedades reológicas e teores de carbonatos e bicarbonatos nas dispersões sem tratamento térmico, que servem como testemunho, e nas dispersões após diálise, conforme mostra o fluxograma da Figura 1.

As dispersões submetidas à diálise foram preparadas segundo método descrito por SOUZA SANTOS (1968), isto é, as dispersões são colocadas em sacos de celofane e deixadas em contato com a água destilada; as dispersões foram deixadas dialisando por um período de 7 dias, sendo a água destilada trocada duas vezes por dia.

Uma vez executado o tratamento térmico do primeiro processo, foi escolhida a temperatura de 90°C, temperatura esta em que se obteve os melhores resultados com as propriedades reológicas das dispersões, como será mostrado no Capítulo IV, para execução do segundo e terceiro processos.

III.3.3.2 - Segundo Processo

O segundo processo consistiu em submeter as dispersões, primeiro a uma diálise de 7 dias e depois ao tratamento térmico à temperatura de 90°C por períodos de 12, 24, 48 e 72 horas e em seguida medidas as viscosidades aparente e plástica e volume do filtrado, bem como os teores de carbonatos e bicarbonatos, conforme mostra o fluxograma da Figura 2.

III.3.3.3 - Terceiro Processo

O terceiro processo consistiu em submeter as dispersões a um tratamento térmico à temperatura de 90°C por períodos de 12, 24, 48 e 72 horas, sendo, em seguida, submetida à diálise de 7 dias e medidas as viscosidades aparente e plástica e volume do filtrado, bem como os teores de carbonatos e bicarbonatos, conforme mostra o fluxograma da Figura 3.

III.3.4 - Análise Estatística

Com os resultados obtidos nos três processos foram estudadas através da análise de regressões lineares simples, exponenciais, potenciais e logarítmicas as interdependências existentes entre as viscosidades aparente e plástica, volume do filtrado e os teores de carbonatos, bicarbonatos e carbonatos mais bicarbonatos. Essas análises foram processadas por computador IBM. Foi utilizado o programa SPSS (Statistical Package for the Social

Sciences) (NIE et alli, 1975).

O Quadro 1, relaciona os tipos de ajustamentos, com as respectivas equações utilizadas nesta dissertação. As letras A e B, representam constantes. As letras X e Y referem-se as variáveis independentes e dependentes, respectivamente. Foram considerados ρ coeficiente de correlação e o nível de significância. O coeficiente de correlação expressa o grau de relacionamento entre as duas variáveis. Se não existe correlação entre as duas variáveis, o coeficiente de correlação é zero. Por outro lado se existe a correlação perfeita, o coeficiente de correlação é igual a ± 1 . O nível de significância é o valor que representa o nível para o qual a relação entre duas variáveis é significativo. Um resultado é significativo se a probabilidade calculada é menor do que 0,05 ou 5% e, altamente significativa se a probabilidade calculada é menor do que 0,01 ou 1% (SPIEGEL, 1970).

TIPO DE REGRESSÃO	EQUAÇÃO
Linear Simples	$Y = A + BX$
Logarítmica	$Y = A + B \ln X$
Exponencial	$Y = Ae^{BX}$
Potencial	$Y = AX^B$

Quadro 1 - Tipos de Ajustamentos e suas Equações.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

IV.1 - Introdução

Este capítulo apresenta os resultados obtidos para as propriedades reológicas, de dispersões de esmectitas sódicas, após os tratamentos térmicos de acordo com os processos expostos no Capítulo III. Estes resultados são comparados com as especificações da PETROBRÁS (1968), para uso como fluido de perfuração de poços de petróleo.

Quando da utilização de uma argila esmectítica como fluido de perfuração de poços de petróleo, a PETROBRÁS (1968) especifica que: a) a viscosidade aparente mínima deve ser de 15,0 cP; b) viscosidade plástica mínima deve ser de 4,0cP; c) o volume do filtrado máximo deve ser de 18,0 ml, após 30 min de filtração. Estes valores foram estabelecidos para uma concentração de 6% em argila esmectítica sódica.

IV.2 - Primeiro Processo

A Tabela 1, mostra os valores obtidos para as viscosidades aparente e plástica, volume do filtrado e teores de carbonatos e bicarbonatos de dispersões de argilas esmectíticas, na forma sódica (após troca com carbonato de sódio e cura), sem tratamento térmico. A Tabela 2, mostra os valores obtidos para as viscosidades aparente e plástica, volume do filtrado e teores de carbonatos e bicarbonatos de dispersões de esmectitas sódicas, após diálise de 7 dias. As Tabelas de

3 a 6 e as Figuras de 4 a 15, mostram os valores obtidos para as viscosidades aparente e plástica, volume do filtrado e teores de carbonatos e bicarbonatos de dispersões esmectitas sódicas, após tratamento térmico, em temperaturas de 40, 50, 70 e 90°C com tempos de 12, 24, 48 e 72 h, para cada temperatura.

Os resultados obtidos para as propriedades reológicas e teores de carbonatos e bicarbonatos das três amostras de argilas esmectíticas, quando tratadas com carbonato de sódio e curadas, sem tratamento térmico, contidos na Tabela 1, mostram que a argila de cor vermelha apresenta: a) viscosidade aparente muito elevada de 48,2 cP; b) viscosidade plástica muito baixa de 0,2 cP; c) volume do filtrado de 13,7 ml; d) teores de carbonatos elevados de 16,0 meq/l; e) teores de bicarbonatos bastante elevados de 38,0 meq/l. A argila de cor verde-escura apresenta: a) viscosidade aparente elevada de 26,5 cP; b) viscosidade plástica baixa de 0,5 cP; c) volume do filtrado de 17,0 ml; d) teores de carbonatos elevados de 22,0 meq/l; e) teores de bicarbonatos bastante elevados de 30,5 meq/l. A argila do tipo bofe apresenta: a) viscosidade aparente muito baixa de 6,0 cP; b) viscosidade plástica de 4,0 cP; c) volume do filtrado elevado de 23,5 ml; d) teores de carbonatos elevados de 22,5 meq/l; e) teores de bicarbonatos bastante elevados de 33,5 meq/l.

Em resumo, observa-se que: 1) as três amostras, quando tratadas com carbonato de sódio e curadas em temperaturas ambiente, por um período de 24 h, não satisfazem as especificações da PETROBRÁS (1968); 2) as amostras de cores vermelha e verde-escura apresentam viscosidade aparente muito elevada,

o que conduz a valores de viscosidade plástica muito baixos, apresentando desta forma características de muito floculadas na forma coagulada; 3) a amostra do tipo bofe apresenta viscosidades aparente e plástica baixas, sendo floculadas, podendo haver separação de fases; 4) os teores de bicarbonatos elevados, evidencia a presença de cátions dissolvidos, o que provavelmente prejudica as propriedades reológicas.

Os resultados obtidos para as propriedades reológicas e teores de carbonatos e bicarbonatos das três amostras de esmectitas sódicas, após diálise de 7 dias, contidos na Tabela 2, mostram que a argila de cor vermelha apresenta: a) viscosidade aparente elevada de 25,3 cP; b) viscosidade plástica elevada de 8,0 cP; c) volume do filtrado de 13,0 ml; d) teores de carbonatos baixos de 2,2 meq/l; e) teores de bicarbonatos de 16,0 meq/l. A argila de cor verde-escura apresenta: a) viscosidade aparente elevada de 24,8 cP; b) viscosidade plástica baixa de 3,5 cP; c) volume do filtrado de 16,5 ml; d) teores de carbonatos baixos de 2,7 meq/l; e) teores de bicarbonatos de 16,5 meq/l. A argila do tipo bofe apresenta: a) viscosidade aparente muito baixa de 8,0 cP; b) viscosidade plástica de 5,2 cP; c) volume do filtrado elevado de 21,0 ml; d) teores de carbonatos baixos de 1,5 meq/l; e) teores de bicarbonatos de 16,0 meq/l.

Em resumo, observa-se que: 1) para a argila de cor vermelha, os resultados das propriedades reológicas, após diálise de 7 dias, satisfazem as especificações da PETROBRÁS (1968); 2) para as argilas de cor verde-escura e do tipo bofe, os resultados das propriedades reológicas, após diálise de 7 dias, não satisfazem as especificações da PETROBRÁS (1968).

3) os resultados obtidos com as propriedades reológicas, das três amostras, após diálise de 7 dias, quando comparados com os resultados obtidos da Tabela 1, ou seja, sem tratamento térmico, mostram que houve uma melhoria das propriedades reológicas das dispersões; 4) a diálise diminuiu bastante os teores de carbonatos e bicarbonatos, reduzindo os sais solúveis indesejáveis, favorecendo desta maneira as propriedades reológicas das dispersões.

Os resultados obtidos para as propriedades reológicas e teores de carbonatos e bicarbonatos, após tratamento térmico à 40°C de dispersões de esmectitas sódicas, contidos na Tabela 3 e nas Figuras 4, 5 e 6, mostram que a argila de cor vermelha apresenta: a) viscosidade aparente muito elevada, na faixa de 38,5 cP (12 h) à 31,7 cP (48 h), com comportamento decrescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; b) viscosidade plástica na faixa de 2,5 cP (12 h) à 9,5 cP (72 h), com comportamento crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; c) volume do filtrado praticamente inalterado, em torno de 13,5 ml; d) teores de carbonatos elevados, na faixa de 13,0 meq/l (12 h) à 8,2 meq/l (48 h), com comportamento decrescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; e) teores de bicarbonatos elevados, na faixa de 45,7 meq/l (24 h) à 54,0 meq/l (48 h), com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico. A argila de cor verde-escura apresenta: a) viscosidade aparente muito elevada, na faixa de 32,7 cP (12h) à 40,5 cP (72 h), com comportamento crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; b) viscosidade plástica muito baixa, em torno de 0,5 cP, com comportamento pouco

sensível com o aumento dos tempos de tratamento térmico; c) volume do filtrado na faixa de 14,2 ml (12 h) à 15,2ml (72h), com comportamento pouco crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; d) teores de carbonatos elevados, na faixa de 25,0 meq/l (24 h) à 20,0 meq/l (72 h), com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico; e) teores de bicarbonatos muito elevados, na faixa de 44,0 meq/l (12 h) à 31,2 meq/l (72 h), com comportamento de crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico. Argila do tipo bofe apresenta: a) viscosidade aparente muito baixa, na faixa de 7,7 cP (24 h) à 9,2 cP (48 h), com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico; b) viscosidade plástica em torno de 5,0 cP, com comportamento pouco sensível com o aumento dos tempos de tratamento térmico; c) volume do filtrado muito elevado, em torno de 21,5 ml, com comportamento praticamente inalterado com o aumento dos tempos de tratamento térmico; d) teores de carbonatos muito elevados, na faixa de 29,0 meq/l (24 h) à 22,0 meq/l (48 h), com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico; e) teores de bicarbonatos muito elevados, em torno de 37,7 meq/l, com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico.

Em resumo, observa-se que: 1) para a argila de cor vermelha, os resultados obtidos para as propriedades reológicas após tratamento térmico a 40°C, satisfazem as especificações da PETROBRÁS (1968), exceto com o tempo de 12 h; 2) para as argilas de cor verde-escura e do tipo bofe, os resultados obtidos para as propriedades reológicas, após tratamento térmico a 40°C, não satisfazem as especificações da PETROBRÁS (1968); 3) os resultados obtidos para as propriedades reológicas, das

três amostras, após tratamento térmico a 40°C , quando comparados com os resultados da Tabela 1, ou seja, sem tratamento térmico, mostram que houve uma melhoria das propriedades reológicas das dispersões; 4) comparando os resultados obtidos para as propriedades reológicas das dispersões, após tratamento térmico a 40°C , com os resultados obtidos após diálise, as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe apresentam viscosidade aparente mais elevada com o tratamento térmico de 40°C , enquanto a viscosidade plástica apresenta valores mais elevados com a diálise; 5) para as argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, houve uma melhoria das propriedades reológicas, com o aumento dos tempos de tratamento térmico a 40°C , de 12 para 72h; 6) com o tratamento térmico a 40°C , as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, apresentam um aumento dos teores de bicarbonatos, até um determinado tempo, esses aumentos provavelmente^(*) seriam devido a formação de carbonatos ácidos de cálcio e magnésio, formados após a troca com o carbonato de sódio, em seguida esses teores de bicarbonatos foram diminuindo de maneira suave, com o aumento dos tempos de tratamento térmico, talvez^(*) devido a de

(*) Dentro das limitações existentes durante a realização deste trabalho, bem como, em virtude da complexibilidade dos fatores envolvidos e finalmente devido a não estequiometria das reações existentes, prefere-se utilizar os termos "talvez" e "provavelmente", quando da modelagem da fenomenologia observada no decorrer desta pesquisa. Também o uso destes termos não descarta a possibilidade da existência de outras hipóteses que eventualmente possam ter sido suficientemente esclarecida na conceituação teórica e na parte experimental, posteriormente desenvolvida.

composição desses bicarbonatos, já que são instáveis, em carbonatos; 7) para os teores de carbonatos, as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, apresentam comportamentos diferenciados entre si e de maneira irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico a 40°C.

Os resultados obtidos para as propriedades reológicas e teores de carbonatos e bicarbonatos, após tratamento térmico a 50°C, de dispersões de esmectitas sódicas, contidos na Tabela 4 e nas Figuras 7, 8 e 9, mostram que a argila de cor vermelha apresenta: a) viscosidade aparente elevada, na faixa de 31,5 cP (12 h) a 34,7 cP (72 h), com comportamento pouco crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; b) viscosidade plástica na faixa de 7,0 cP (12 h) a 11,2 cP (72 h), com comportamento crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; c) volume do filtrado praticamente inalterado, em torno de 14,0 ml; d) teores de carbonatos na faixa de 9,5 meq/l (12 h) a 7,0 meq/l (72 h), com comportamento pouco decrescente, com o aumento dos tempos de tratamento térmico; e) teores de bicarbonatos elevados, em torno de 51,0 meq/l, com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico. A argila de cor verde-escura apresenta: a) viscosidade aparente elevada, na faixa de 38,0cP (12 h) a 42,7 cP (72 h), com comportamento crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; b) viscosidade plástica muito baixa, na faixa de 0,7 cP (12 h) a 2,0 cP (72h), com comportamento crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; c) volume do filtrado praticamente inalterado, em torno de 15,0 ml; d) teores de carbonatos elevados, na faixa de 18,0 meq/l (12 h) a 14,0 meq/l (72 h), com com

portamento decrescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; e) teores de bicarbonatos muito elevados, na faixa de 41,2 meq/l (12 h) à 52,5 meq/l (48 h), com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico. A argila do tipo bofe apresenta: a) viscosidade aparente muito baixa, em torno de 9,0 cP, com comportamento pouco sensível com o aumento dos tempos de tratamento térmico; b) viscosidade plástica em torno de 5,5 cP, com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico; c) volume de filtrado muito elevado, na faixa de 21,7 ml (12 h) à 26,0 ml (24 h), com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico; d) teores de carbonatos na faixa de 21,5 meq/l (24 h) à 26,5 meq/l (72h), com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico; e) teores de bicarbonatos muito elevados, na faixa de 43,7 meq/l (24 h) à 32,5 meq/l (72 h), com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico.

Em resumo, observa-se que: 1) para a argila de cor vermelha todos os resultados obtidos com as propriedades reológicas, após tratamento térmico a 50°C, satisfazem as especificações da PETROBRÁS (1968); 2) para as argilas de cor verde-escura e do tipo bofe, os resultados obtidos com as propriedades reológicas, após tratamento térmico a 50°C, não satisfazem as especificações da PETROBRÁS (1968); 3) os resultados obtidos para as propriedades reológicas, das três amostras, após tratamento térmico a 50°C, quando comparados com os resultados da Tabela 1, ou seja, sem tratamento térmico, mostram que houve uma melhoria das propriedades reológicas das dispersões; 4) comparando os resultados obtidos pa

ra as propriedades reológicas das dispersões, após tratamento térmico a 50°C , com os resultados obtidos após diálise, a argila de cor vermelha apresenta melhores propriedades reológicas com tratamento térmico a 50°C , a argila de cor verde-escura apresenta viscosidade aparente mais elevada com o tratamento térmico a 50°C e viscosidade plástica mais elevada com a diálise, a argila do tipo bofe apresenta resultados semelhantes com o tratamento térmico e com a diálise; 5) para as argilas de cores vermelha e verde-escura, houve uma melhoria das propriedades reológicas, com o aumento dos tempos de tratamento térmico a 50°C , de 12 para 72 h. Para a argila do tipo bofe houve pouca variação das propriedades reológicas com o aumento dos tempos de tratamento térmico a 50°C , de 12 para 72 h; 6) de maneira análoga ao tratamento térmico a 40°C , os teores de bicarbonatos, para as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, com o tratamento térmico a 50°C , aumentaram até um determinado tempo e em seguida esses teores de bicarbonatos foram levemente diminuindo; 7) os teores de carbonatos, para as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, com tratamento térmico a 50°C , diminuíram até um determinado tempo e em seguida permaneceram quase constantes. É interessante observar o comportamento oposto apresentado pelos teores de carbonatos em relação aos teores de bicarbonatos.

Os resultados obtidos para as propriedades reológicas e teores de carbonatos e bicarbonatos, após tratamento térmico a 70°C de dispersões de esmectitas sódicas, contidos na Tabela 5 e nas Figuras 10, 11 e 12, mostram que a argila de cor vermelha apresenta: a) viscosidade aparente elevada, na

faixa de 37,5 cP (12 h) à 38,5 cP (48 h), com comportamento praticamente inalterado, com o aumento dos tempos de tratamento térmico; b) viscosidade plástica na faixa de 9,7 cP (12 h) à 11,5 cP (72 h), com comportamento pouco crescente, com o aumento dos tempos de tratamento térmico; c) volume do filtrado praticamente inalterado, em torno de 15,5 ml; d) teores de carbonatos praticamente inalterado em torno de 6,0 meq/l; e) teores de bicarbonatos elevados, na faixa de 53,0 meq/l (24 h) à 47,5 meq/l (72 h), com comportamento pouco decrescente com o aumento de tratamento térmico. A argila de cor verde-escura apresenta: a) viscosidade aparente elevada, na faixa de 41,5 cP (12 h) à 48,2 cP (72 h), com comportamento crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; b) viscosidade plástica na faixa de 2,0 cP (12 h) à 3,2 cP (72 h), com comportamento pouco crescente, com o aumento dos tempos de tratamento térmico; c) volume do filtrado na faixa de 16,5 ml (24 h) à 18,5 ml (72 h), com comportamento pouco crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; d) teores de carbonatos em torno de 12,0 meq/l, com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico; e) teores de bicarbonatos elevados, em torno de 51,0 meq/l, com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico. A argila do tipo bofe apresenta: a) viscosidade aparente baixa, em torno de 6,5 cP, com comportamento praticamente inalterado com o aumento dos tempos de tratamento térmico; b) viscosidade plástica em torno de 4,2 cP, com comportamento praticamente inalterado com o aumento dos tempos de tratamento térmico; c) volume do filtrado elevado, na faixa de 25,0 ml

(12 h) à 27,2 ml (72 h), com comportamento pouco crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; d) teores de carbonatos elevados, na faixa de 21,5 meq/l (12 h) à 28,5 meq/l (48 h), com comportamento crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; e) teores de bicarbonatos elevados, na faixa de 44,0 meq/l (12 h) à 28,5 meq/l (72 h), com comportamento bastante decrescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico.

Em resumo, observa-se que: 1) para a argila de cor vermelha, todos os resultados obtidos com as propriedades reológicas, após tratamento térmico a 70°C, satisfazem as especificações da PETROBRÁS (1968); 2) para as argilas de cor verde-escura e do tipo bofe, os resultados obtidos com as propriedades reológicas, após tratamento térmico a 70°C, não satisfazem as especificações da PETROBRÁS (1968); 3) os resultados obtidos para as propriedades reológicas, após tratamento térmico a 70°C, quando comparados com os resultados da Tabela 1, ou seja, sem tratamento térmico, mostram que houve uma melhoria das propriedades reológicas das dispersões; 4) comparando os resultados obtidos para as propriedades reológicas das dispersões, após tratamento térmico a 70°C, com os resultados obtidos após diálise, a argila de cor vermelha apresenta melhores propriedades reológicas com tratamento térmico a 70°C, a argila de cor verde-escura apresenta viscosidade aparente mais elevada com o tratamento térmico a 70°C e viscosidade plástica mais elevada com a diálise, a argila do tipo bofe apresenta melhores propriedades reológicas com a diálise; 5) para as argilas de cores vermelha e verde escura, houve uma melhoria das propriedades reológicas com o au

mento dos tempos de tratamento térmico a 70°C , de 12 para 72 h. Para a argila do tipo bofe as propriedades reológicas praticamente não variaram com o aumento dos tempos de tratamento térmico a 70°C , de 12 para 72 h; 6) os teores de bicarbonatos, para as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, após tratamento térmico a 70°C , aumentam bruscamente no início do tratamento, e em seguida diminuem de maneira suave, apresentando um comportamento análogo aos dos tratamentos térmicos de 40 e 50°C ; 7) os teores de carbonatos, para as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, com o tratamento térmico a 50°C , tiveram um comportamento oposto ao apresentado pelos teores de bicarbonatos. As argilas de cores vermelha e verde-escura apresentam uma diminuição brusca dos teores de carbonatos no início do tratamento térmico e em seguida permanecem praticamente constantes. A argila do tipo bofe apresenta um comportamento diferente, com o aumento dos teores de carbonatos no início do tratamento térmico e em seguida permanece praticamente constante.

Os resultados obtidos para as propriedades reológicas e teores de carbonatos e bicarbonatos, após tratamento térmico a 90°C de dispersões de esmectitas sódicas, contidas na Tabela 6 e nas Figuras 13, 14 e 15, mostram que a argila de cor vermelha apresenta: a) viscosidade aparente elevada, praticamente constante, em torno de 43,2 cP; b) viscosidade plástica elevada, na faixa de 12,5 cP (12 h) à 17,5 cP (72 h), com comportamento crescente, com o aumento dos tempos de tratamento térmico; c) volume do filtrado praticamente inalterado, em torno de 15,5 ml; d) teores de carbonatos na faixa de

4,5 meq/l (12 h) à 7,5 meq/l (72 h), com comportamento pouco crescente, com o aumento dos tempos de tratamento térmico; e) teores de bicarbonatos elevados, na faixa de 52,5 meq/l (12 h) à 41,5 meq/l (72 h), com comportamento decrescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico. A argila de cor verde-escura apresenta: a) viscosidade aparente elevada, em torno de 40,0 cP, com comportamento praticamente inalterado, com o aumento dos tempos de tratamento térmico; b) viscosidade plástica elevada, na faixa de 4,0 cP (12 h) à 10,0 cP (72 h), com comportamento crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; c) volume do filtrado praticamente constante, em torno 20,0 ml; d) teores de carbonatos na faixa de 11,0 meq/l (12 h) à 13,0 meq/l (72 h), com comportamento pouco crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; e) teores de bicarbonatos elevados, na faixa de 50,5 meq/l (12 h) à 47,0 meq/l (72 h), com comportamento pouco decrescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico. A argila do tipo bofe apresenta: a) viscosidade aparente baixa, em torno de 8,0 cP, com comportamento praticamente inalterado com o aumento dos tempos de tratamento térmico; b) viscosidade plástica em torno de 5,0 cP, com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico; c) volume do filtrado elevado, em torno de 25,0 ml, com comportamento praticamente constante com o aumento dos tempos de tratamento térmico; d) teores de carbonatos elevados, na faixa de 22,5 meq/l (12 h) à 28,5 meq/l (72 h), com comportamento crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; e) teores de bicarbonatos elevados, na faixa de 36,5 meq/l (12 h) à 28,5 meq/l (48 h), com comportamento pouco decrescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico.

Em resumo, observa-se que: 1) para a argila de cor vermelha, todos os resultados obtidos com as propriedades reológicas, após tratamento térmico a 90°C , satisfazem as especificações da PETROBRÁS (1968); 2) para a argila de cor verde-escura^(*) e do tipo bofe os resultados obtidos com as propriedades reológicas, após tratamento térmico a 90°C , não satisfazem as especificações da PETROBRÁS (1968); 3) os resultados obtidos para as propriedades reológicas das três amostras, após tratamento térmico a 90°C , quando comparados com os resultados da Tabela 1, ou seja, sem tratamento térmico, mostram que houve uma melhoria das propriedades reológicas das dispersões; 4) comparando os resultados obtidos para as propriedades reológicas das dispersões, após tratamento térmico a 90°C , com os resultados obtidos após diálise, as argilas de cores vermelha e verde-escura apresentam melhores propriedades reológicas com tratamento térmico a 90°C , a argila do tipo bofe apresenta resultados semelhantes com o tratamento térmico a 90°C e a diálise; 5) para as argilas de cores vermelha e verde-escura, houve uma melhoria das propriedades reológicas com o aumento dos tempos de tratamento térmico a 90°C , de 12 para 72 h. Para a argila do tipo bofe as propriedades reológicas praticamente não variaram com o aumento dos tempos de tratamento térmico a 90°C , de 12 para 72 h; 6) os teores de bicarbonatos, para as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, após tratamento térmico a 90°C , aumentaram no início do tratamento térmico,

(*) A argila de cor verde-escura não satisfaz as especificações da PETROBRÁS (1968) devido ao volume do filtrado que apresentou valores acima de 18,0 ml.

atingindo um máximo, e em seguida diminuíram tornando-se praticamente constante, de maneira análoga aos tratamentos térmicos a 40, 50 e 70°C; 7) os teores de carbonatos, para as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, com o tratamento térmico a 90°C, tiveram um comportamento oposto ao apresentado pelo teores de bicarbonatos. As argilas de cores vermelha e verde-escura apresentam uma diminuição brusca dos teores de carbonatos no início do tratamento térmico e em seguida apresentam um aumento suave, com o aumento dos tempos de tratamento térmico. A argila do tipo bofe apresenta um comportamento diferente, praticamente constante no início do tratamento térmico, seguida de um aumento dos teores de carbonatos, com o aumento dos tempos de tratamento térmico.

IV.3 - Segundo Processo

A Tabela 7 e as Figuras de 16 a 18, mostram os valores obtidos para as viscosidades aparente e plástica, volume do filtrado e teores de carbonatos e bicarbonatos de dispersões de esmectitas sódicas, após diálise de 7 dias, seguida de tratamento térmico a 90°C; com tempos de 12, 24, 48 e 72 h.

Os resultados obtidos para as propriedades reológicas e teores de carbonatos e bicarbonatos das três amostras de argilas esmectíticas sódicas, após diálise de 7 dias e tratamento térmico a 90°C, contidos na Tabela 7 e nas Figuras 16, 17 e 18, mostram que a argila de cor vermelha apresenta: a) viscosidade aparente elevada, em torno de 34,0 cP, com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamen

to térmico; b) viscosidade plástica elevada, na faixa de 6,5 cP (12 h) à 12,0 cP (72 h), com comportamento crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; c) volume do filtrado em torno de 14,0 ml, com comportamento praticamente inalterado com o aumento dos tempos de tratamento térmico; d) teores de carbonatos nulos; e) teores de bicarbonatos na faixa de 32,0 meq/l (24 h) à 22,5 meq/l (72 h), com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico.

A argila de cor verde-escura apresenta: a) viscosidade aparente elevada, em torno de 38,0 cP, com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico; b) viscosidade plástica baixa, em torno de 3,0 cP, com comportamento praticamente inalterado com o aumento dos tempos de tratamento térmico; c) volume do filtrado em torno de 20,0 ml, com comportamento praticamente constante com o aumento dos tempos de tratamento térmico; d) teores de carbonatos praticamente nulos; e) teores de bicarbonatos elevados, na faixa de 30,0 meq/l (12 h) à 22,0 meq/l (72 h), com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico.

A argila do tipo bofe apresenta: a) viscosidade aparente baixa, em torno de 12,0 cP, com comportamento constante com o aumento dos tempos de tratamento térmico; b) viscosidade plástica em torno de 5,5 cP, com comportamento praticamente constante com o aumento dos tempos de tratamento térmico; c) volume do filtrado elevado, em torno de 23,0 ml, com comportamento constante com o aumento dos tempos de tratamento térmico; d) teores de carbonatos praticamente nulos; e) teores de bicarbonatos em torno de 24,0 meq/l, com comportamento praticamente inalterado com o aumento dos tempos de tratamento térmico.

Em resumo, observa-se que: 1) para a argila de cor vermelha, todos os resultados obtidos com as propriedades reológicas, após diálise e tratamento térmico a 90°C , satisfazem as especificações da PETROBRÁS (1968); 2) para as argilas de cor verde-escura e do tipo bofe, os resultados obtidos com as propriedades reológicas, após diálise e tratamento térmico a 90°C , não satisfazem as especificações da PETROBRÁS (1968); 3) comparando os resultados obtidos para as propriedades reológicas, após diálise e tratamento térmico a 90°C , com os resultados obtidos após diálise (primeiro processo), as argilas de cor vermelha e do tipo bofe, apresentam melhores propriedades reológicas com a diálise e tratamento térmico a 90°C (segundo processo). A argila de cor verde-escura apresenta melhores propriedades reológicas com a diálise (primeiro processo); 4) comparando os resultados obtidos para as propriedades reológicas das dispersões, após diálise e tratamento térmico a 90°C (segundo processo), com os resultados obtidos após tratamento térmico a 90°C (primeiro processo), as argilas de cores vermelha e verde-escura apresentam melhores propriedades reológicas com o tratamento térmico a 90°C (primeiro processo). A argila do tipo bofe apresenta melhores propriedades reológicas com a diálise e o tratamento térmico a 90°C (segundo processo); 5) os teores de bicarbonatos, com a diálise e o tratamento térmico a 90°C (segundo processo), para as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, apresentam comportamento semelhantes ao tratamento térmico a 90°C (primeiro processo), ou seja, com um aumento no início do tratamento térmico e em seguida uma ligeira diminuição, com o aumento dos tempos de

tratamento térmico; 6) os teores de carbonatos, com a diálise e o tratamento térmico a 90°C para as três argilas de cores vermelha, verde-escuro e do tipo bofe, apresentam valores muito baixos, praticamente nulos.

IV.4 - Terceiro Processo

A Tabela 8 e as Figuras de 19 a 21, mostram os valores obtidos para as viscosidades aparente e plástica, volume do filtrado e teores de carbonatos e bicarbonatos de dispersões de esmectitas sódicas, após tratamento a 90°C e diálise de 7 dias.

Os resultados obtidos para as propriedades reológicas e teores de carbonatos e bicarbonatos das três amostras de argilas esmectíticas sódicas, após tratamento térmico a 90°C e diálise, contidos na Tabela 8 e nas Figuras 19, 20 e 21, mostram que a argila de cor vermelha apresenta: a) viscosidade aparente elevada, na faixa de 24,5 cP (12 h) à 29,0 cP (72h), com comportamento pouco crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; b) viscosidade plástica elevada, na faixa de 10,0 cP (12 h) à 15,0 cP (72 h), com comportamento crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; c) volume do filtrado em torno de 3,5 ml, com comportamento praticamente inalterado com o aumento dos tempos de tratamento térmico; d) teores de carbonatos baixos, em torno de 1,5 meq/l, com comportamento praticamente constante com o aumento dos tempos de tratamento térmico; e) teores de bicarbonatos na faixa de 16,5 meq/l (48 h) à 21,5 meq/l (72 h), com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico.

co. A argila de cor verde-escura apresenta: a) viscosidade a parente elevada, na faixa de 23,5 cP (48 h) à 31,0 cP (72h), com comportamento irregular com o aumento dos tempos de trata tamento térmico; b) viscosidade plástica elevada, na faixa de 6,0 cP (12 h) à 9,5 cP (72 h), com comportamento crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; c) volume do filtrado em torno de 18,0 ml, com comportamento praticamente inalterado com o aumento dos tempos de tratamento téra mico; d) teores de carbonatos na faixa de 1,5 meq/l (24 h) à 2,5 meq/l (72 h), com comportamento praticamente constante com o aumento dos tempos de tratamento térmico; e) teores de bicarbonatos na faixa de 17,5 meq/l (24 h) à 24,0 meq/l (72h), com comportamento irregular com o aumento dos tempos de trata tamento térmico. A argila do tipo bofe apresenta: a) viscosida dade aparente baixa, em torno de 9,5 cP, com comportamento praticamente inalterado com o aumento dos tempos de tratamento térmico; b) viscosidade plástica em torno de 6,0 cP, com comportamento praticamente inalterado com o aumento dos tempo s de tratamento térmico; c) volume do filtrado elevado, em torno de 23,0 ml, com comportamento irregular com o aumento dos tempos de tratamento térmico; d) teores de carbonatos baixo s, na faixa de 0,0 meq/l (12 h) à 3,0 meq/l (72 h), com comportamento pouco crescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico; e) teores de bicarbonatos na faixa de 23,0 meq/l (12 h) à 15,0 meq/l (72 h), com comportamento pouco decrescente com o aumento dos tempos de tratamento térmico.

Em resumo, observa-se que: 1) para a argila de cor vermelha, todos os resultados obtidos com as propriedades reo

lógicas, após tratamento térmico à 90°C e diálise, satisfazem as especificações da PETROBRÁS (1968); 2) para a argila de cor verde-escura os resultados com as propriedades reológicas, após tratamento térmico a 90°C e diálise, satisfazem as especificações da PETROBRÁS (1968), exceto para o tempo de 12 h, em que o volume do filtrado apresentou valor maior que 18,0 ml (máximo especificado pela PETROBRÁS, 1968); 3) para a argila do tipo bofe, todos os resultados obtidos para as propriedades reológicas, após tratamento térmico a 90°C e diálise, não satisfazem as especificações da PETROBRÁS (1968); 4) comparando os resultados obtidos para as propriedades reológicas das dispersões, após tratamento térmico a 90°C e diálise (terceiro processo), com os resultados obtidos após diálise (primeiro processo), as três argilas esmectíticas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, apresentam melhores resultados com o tratamento térmico a 90°C e diálise (terceiro processo); 5) comparando os resultados obtidos para as propriedades reológicas das dispersões, após tratamento térmico a 90°C e diálise (terceiro processo), com os resultados obtidos após tratamento térmico a 90°C (primeiro processo), a argila de cor vermelha apresenta melhores propriedades reológicas com o tratamento térmico a 90°C (primeiro processo, as argilas de cor verde-escura e do tipo bofe apresentam melhores propriedades reológicas com o tratamento térmico a 90°C e diálise (terceiro processo); 6) comparando os resultados obtidos para as propriedades reológicas das dispersões, após tratamento térmico a 90°C e diálise (terceiro processo), com os resultados obtidos após diálise e tratamento térmico a 90°C (segundo processo), as argilas de cores verme

lha e verde-escura apresentam melhores propriedades reológicas com o tratamento térmico a 90°C e diálise (terceiro processo), isso ocorre, provavelmente devido a influência do tratamento térmico, antes da diálise, na reação de troca dos cátions trocáveis pelo sódio, sendo em seguida esses cátions eliminados pela diálise. A argila do tipo bofe apresenta comportamento diferente, com melhores propriedades reológicas com a diálise e tratamento térmico a 90°C (segundo processo); 7) os teores de bicarbonatos, com o tratamento térmico a 90°C e diálise (terceiro processo), para as argilas de cores vermelha e verde-escura apresentam comportamento diferente ao apresentado pela diálise e tratamento térmico a 90°C (segundo processo), com uma tendência de aumento desses teores de bicarbonatos, com o aumento dos tempos de tratamento térmico. A argila do tipo bofe apresenta teores de bicarbonatos com um aumento no início do tratamento térmico, seguido de uma diminuição, com o aumento dos tempos de tratamento térmico; 8) os teores de carbonatos, com o tratamento térmico a 90°C e diálise (terceiro processo), para as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, apresentam valores baixos, porém superiores aos obtidos com a diálise e o tratamento térmico a 90°C (segundo processo), e com comportamento praticamente constante, com o aumento dos tempos de tratamento térmico.

Uma análise global dos estudos apresentados dentro dos três processos de tratamento térmico demonstra que a argila de cor vermelha apresenta melhores resultados das propriedades reológicas, tornando-se adequada para uso como fluidos de perfuração; a argila de cor verde-escura só apresentou resul

tados de suas propriedades reológicas adequadas para uso como fluidos de perfuração, com o terceiro processo e a argila do tipo bofe não apresentou propriedades reológicas adequadas para uso como fluidos de perfuração, com os três processos de tratamento.

OBSERVAÇÕES GERAIS

- 1) As três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe quando tratadas com carbonato de sódio, na proporção de 100 meq/100g de argila e curadas, em temperatura ambiente, por um período de 24 h, não satisfazem as especificações da PETROBRÁS (1968).
- 2) A diálise diminuiu bastante os teores de carbonatos e bicarbonatos, com isso reduzindo os sais solúveis indesejáveis, melhorando as propriedades reológicas das dispersões.
- 3) As três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, quando tratadas termicamente em temperaturas na faixa de 40 a 90°C (primeiro processo), melhoram bastante as propriedades reológicas das dispersões, sendo o efeito mais marcante nas argilas de cores vermelha e verde-escura.
- 4) Com o aumento da temperatura, no tratamento térmico (primeiro processo), de 40 a 90°C e com o aumento dos tempos de 12 a 72 h, para cada temperatura, houve uma melhoria das propriedades reológicas, para as argilas de cores vermelha e verde-escura. A argila do tipo bofe apresentou com

portamento irregular.

- 5) Para as argilas de cores vermelha e verde-escura o tratamento térmico (primeiro processo) melhorou bastante as propriedades reológicas, no início do tratamento térmico, principalmente em temperaturas mais severas da ordem de 70 e 90°C. Esse comportamento, provavelmente seria devido a influência da temperatura na reação de troca de cations.
- 6) Com a diálise mais o tratamento térmico a 90°C (segundo processo) as argilas de cores vermelha e verde-escura, apresentam resultados inferiores ao tratamento térmico a 90°C (primeiro processo), provavelmente devido a eliminação, pela diálise, de sais solúveis (entre eles o Na⁺ que não foi trocado e que poderia substituir outros cations, com auxílio do tratamento térmico). A argila do tipo bofe apresentou comportamento diferente, exibindo melhores propriedades reológicas, com a diálise mais o tratamento térmico a 90°C (segundo processo).
- 7) Com o tratamento térmico a 90°C mais a diálise (terceiro processo), as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, apresentam viscosidades plásticas semelhantes as obtidas com o tratamento térmico a 90°C (primeiro processo) e superiores às obtidas com a diálise mais o tratamento térmico a 90°C (segundo processo). Quanto as viscosidades aparentes, as argilas de cores vermelha e verde-escura, com o tratamento térmico a 90°C mais a diálise (terceiro processo), apresentam valores inferiores aos obtidos com o tratamento térmico a 90°C (primeiro proces-

so) e com a diálise com o tratamento térmico a 90°C (segundo processo). Nesse caso, o abaixamento da viscosidade aparente se torna importante, uma vez que as argilas de cores vermelha e verde-escura com viscosidades aparentes elevadas se apresentam na forma de um gel rígido e podem prejudicar as viscosidades plásticas. A argila tipo bofe apresenta baixa viscosidade aparente.

- 8) De uma maneira geral, observa-se nas Figuras de 4 a 15 , uma variação dos teores de bicarbonatos atingindo um máximo até certo tempo; observa-se também que os teores de carbonatos variaram de uma maneira oposta, atingindo um mínimo neste mesmo intervalo de tempo. Em seguida os teores de bicarbonatos e carbonatos foram diminuindo e aumentando, respectivamente, mais de maneira suave, praticamente constante.
- 9) No mesmo intervalo de tempo em que se atingiu os máximos e mínimos, dos teores de bicarbonatos e carbonatos, respectivamente, verificou-se que as propriedades reológicas sofreram grandes variações e em seguida apresentaram um comportamento praticamente constante.
- 10) Com o aumento da temperatura de tratamento térmico (primeiro processo) de 40 para 90°C , observou-se que os intervalos de tempo em que os teores de bicarbonatos e carbonatos atingiram os máximos e mínimos, respectivamente , foram diminuindo.
- 11) Para o segundo e terceiro processos, verificou-se um comportamento dos teores de bicarbonatos, carbonatos e propriedades reológicas, análogos aos apresentados pelo pri

meiro processo, mas em menor intensidade.

- 12) Esses aumentos e diminuições dos teores de bicarbonatos e carbonatos, respectivamente, até certo tempo, provavelmente seriam devido a influência da temperatura na troca de cátions, com a formação de carbonatos ácidos de cálcio e magnésio, formados após a troca com o carbonato de sódio. Em seguida esses teores de bicarbonatos e carbonatos foram diminuindo e aumentando, respectivamente, de maneira suave, talvez devido a decomposição desses bicarbonatos, já que são instáveis, em carbonatos.

IV.5 - Análise Estatística

Os resultados obtidos pelas análises de regressão linear simples, logarítmica, potencial e exponencial, para as argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, submetidas aos três processos de tratamento térmico, estão parcialmente apresentados nas Tabelas de 9 a 17. Embora essas análises tenham sido feitas com todas as condições de tratamentos térmicos apresentados nos ensaios tecnológicos, somente são apresentados nestas Tabelas os resultados que mostraram certo grau de relacionamento entre as viscosidades aparente e plástica e volume do filtrado (variável dependente Y) com os teores de carbonatos, bicarbonatos e carbonatos mais bicarbonatos (variável independente X).

A seguir serão discutidos os resultados obtidos pelas análises de regressão, de acordo com os quatro tipos de ajustamentos, para cada processo,

IV.5.1 - Primeiro Processo

Os resultados significativos obtidos pelas análises de regressões linear simples, logarítmica, potencial e ex potencial em termos de coeficiente de correlação, nível de significância e constantes A e B das equações, para as argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe submetidas ao tratamento térmico do primeiro processo estão conti dos nas Tabelas de 9 a 12.

A Tabela 9 mostra as correlações lineares simples significativas entre os teores de carbonatos, bicarbonatos e carbonatos mais bicarbonatos com as viscosidades aparente e plástica e volume do filtrado para as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe. Observa-se que, de 108 correlações realizadas, 22 foram significativas, sendo 12 correlações para a argila de cor vermelha, 9 correlações para a argila de cor verde-escura e 1 para a argila do tipo bofe. Das 22 correlações significativas, 12 correlações foram entre os teores de carbonatos, 7 entre os teores de bicarbonatos e 3 entre os teores de carbonatos mais bicarbonatos com as viscosidades aparente e plástica e volume do filtrado. Observa-se ainda que, das 22 correlações, 15 são significativas e 7 são altamente significativas.

A Tabela 10 mostra as correlações logarítmicas significativas entre os teores de carbonatos, bicarbonatos e carbonatos mais bicarbonatos com as viscosidades aparente e plástica e volume do filtrado para as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe. Observa-se que, de 108 correlações realizadas, 26 foram significativas, sendo 12

correlações para a argila de cor vermelha, 12 correlação para a argila de cor verde-escura e 2 para a argila do tipo bofe. Das 26 correlações significativas, 12 correlações foram entre os teores de carbonatos, 9 entre os teores de bicarbonatos e 5 entre os teores de carbonatos mais bicarbonatos com as viscosidades aparente e plástica e volume do filtrado. Observa-se ainda que, das 26 correlações, 20 são significativas e 6 são altamente significativas.

A Tabela 11 mostra as correlações potenciais significativas entre os teores de carbonatos, bicarbonatos e carbonatos mais bicarbonatos com as viscosidades aparente e plástica e volume do filtrado para as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe. Observa-se que, de 108 correlações realizadas, 32 correlações foram significativas, sendo 17 correlações para a argila de cor verde-escura, 13 correlações para a argila de cor vermelha e 2 correlações para a argila do tipo bofe. Das 32 correlações significativas, 13 correlações foram entre os teores de carbonatos, 12 entre os teores de bicarbonatos e 7 entre os teores de carbonatos mais bicarbonatos com as viscosidades aparente e plástica e volume do filtrado. Observa-se ainda que, das 32 correlações, 21 são significativas e 11 altamente significativas.

A Tabela 12 mostra as correlações exponenciais significativas entre os teores de carbonatos, bicarbonatos e carbonatos mais bicarbonatos com as viscosidades aparente e plástica e volume do filtrado para as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe. Observa-se que, de 108 correlações realizadas, 34 foram significativas, sendo 19 correlações para a argila de cor verde-escura, 14 para a

argila de cor vermelha e 1 para a argila do tipo bofe. Das 34 correlações significativas, 15 correlações foram entre os teores de carbonatos, 13 entre os teores de bicarbonatos e 6 entre os teores de carbonatos mais bicarbonatos com as viscosidades aparente e plástica e volume do filtrado. Observa-se ainda que, das 34 correlações, 25 correlações são significativas e 9 são altamente significativas.

Em resumo, observa-se que: 1) de um total de 432 correlações realizadas, apenas 114 correlações foram significativas; 2) dos quatro tipos de régressões utilizadas (linear simples, logarítmica, potencial e exponencial), a regressão do tipo exponencial foi a que apresentou maior número de correlações significativas, num total de 34 correlações, seguida da regressão potencial com 32 correlações, a regressão logarítmica com 26 correlações e a regressão linear simples com 22 correlações; 3) entre os três tipos de argila, a de cor verde-escura foi a que apresentou maior número de correlações significativas num total de 57 correlações, seguida da argila de cor vermelha com um total de 51 correlações e por último a argila do tipo bofe com apenas 6 correlações; 4) entre os teores de carbonatos, bicarbonatos e carbonatos mais bicarbonatos, os teores de carbonatos foram os que apresentaram maior número de correlações num total de 52 correlações, em seguida os teores de bicarbonatos com um total de 41 correlações e por último os teores de carbonatos mais bicarbonatos com um total de 21 correlações.

IV.5.2 - Segundo Processo

Os resultados significativos obtidos pelas análises

de regressões linear simples, logarítmica, potencial e exponencial em termos de coeficientes de correlação, nível de significância e constante A e B das equações, para as argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe submetidas a diálise mais tratamento térmico a 90°C (segundo processo) estão contidos nas Tabelas de 13 a 16.

A Tabela 13 mostra as correlações lineares simples significativas entre os teores de carbonatos, bicarbonatos e carbonatos mais bicarbonatos com a viscosidade aparente (*) e volume do filtrado para as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe. Observa-se que, de 27 correlações realizadas, 6 foram significativas, sendo 4 correlações para a argila do tipo bofe, 1 para a argila de cor vermelha e 1 para a argila de cor verde-escura. Das 6 correlações significativas, 3 correlações foram entre os teores de carbonatos mais bicarbonatos e 1 entre os teores de carbonatos com a viscosidade aparente e o volume do filtrado. Observa-se ainda que, das 6 correlações, 5 são significativas e 1 altamente significativa.

A Tabela 14 mostra as correlações logarítmicas significativas entre os teores de carbonatos, bicarbonatos e carbonatos mais bicarbonatos com a viscosidade aparente (*) e volume do filtrado para as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe. Observa-se que, de 27 correlações realizadas, 11 foram significativas, sendo 6 correlações para a argila do tipo bofe, 4 para a argila de cor ver

(*) Para o segundo processo, ou seja, com a diálise seguida de tratamento térmico a 90°C, não houve correlações significativas entre os teores de carbonatos, bicarbonatos e carbonatos mais bicarbonatos com a viscosidade plástica.

de-escura e 1 para a argila de cor vermelha. Das 11 correlações significativas, 4 foram entre os teores de bicarbonatos, 4 entre os teores de carbonatos mais bicarbonatos e 3 entre os teores de carbonatos com a viscosidade aparente e o volume do filtrado. Observa-se ainda que, das 11 correlações, 7 são significativas e 4 são altamente significativas.

A Tabela 15 mostra as correlações potenciais significativas entre os teores de bicarbonatos e carbonatos mais bicarbonatos com a viscosidade aparente e o volume do filtrado para as argilas de cor verde-escura e do tipo bofe.

Observa-se que, de 27 correlações realizadas, 8 foram significativas, sendo 4 correlações para a argila de cor verde-escura e 4 correlações para a argila do tipo bofe (a argila de cor vermelha não apresentou correlações significativas). Das 8 correlações significativas, 4 foram entre os teores de bicarbonatos e 4 entre os teores de carbonatos mais bicarbonatos (entre os teores de carbonatos não houve correlações significativas) com a viscosidade aparente e o volume do filtrado. Observa-se ainda que, das 8 correlações, 5 são significativas e 3 são altamente significativas.

A Tabela 16 mostra as correlações significativas entre os teores de carbonatos, bicarbonatos e carbonatos mais bicarbonatos com a viscosidade aparente e o volume do filtrado para as três argilas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe. Observa-se que, de 27 correlações realizadas, 7 foram significativas, sendo 4 correlações para a argila do tipo bofe, 2 para a argila de cor verde-escura e 1 para a argila de cor vermelha. Das 7 correlações significativas, 4 foram entre os teores de carbonatos mais bicarbonatos, 2 entre

os teores de bicarbonatos e 1 entre os teores de carbonatos com a viscosidade aparente e o volume de filtrado. Observa-se ainda que, das 7 correlações, 6 são significativas e apenas 1 altamente significativa.

Em resumo, observa-se que: 1) de um total de 108 correlações realizadas, apenas 32 correlações foram significativas; 2) dos quatro tipos de regressões utilizados (linear simples, logarítmica, potencial e exponencial), a regressão do tipo logarítmica foi a que apresentou maior número de correlações significativas, num total de 11 correlações em seguida a regressão potencial com 8 correlações, a regressão exponencial com 7 correlações e a linear simples com 6 correlações; 3) entre os três tipos de argilas, a do tipo bofe foi a que apresentou maior número de correlações significativas, num total de 18 correlações, em seguida a argila de cor verde-escura, com um total de 11 correlações, e por último a argila de cor vermelha com apenas 3 correlações significativas; 4) entre os teores de carbonatos, bicarbonatos e carbonatos mais bicarbonatos, os teores de carbonatos mais bicarbonatos foram os que apresentaram maior número de correlações significativas, num total de 15 correlações, em seguida os teores de bicarbonatos, num total de 12 correlações e por último os teores de carbonatos num total de 5 correlações.

IV.5.3 - Terceiro Processo

O terceiro processo só apresentou 2 correlações significativas, mostrada na Tabela 17, de um total de 108 correlações realizadas. Foram realizadas 27 correlações para

cada tipo de regressão (linear simples, logarítmica, potencial e exponencial). As 2 correlações significativas são do tipo regressão linear simples, sendo uma para a argila de cor vermelha e outra para a argila de cor verde-escura, sendo ainda as correlações entre os teores de carbonatos mais bicarbonatos com ρ volume do filtrado.

OBSERVAÇÕES GERAIS

- 1) Através dos três processos observou-se que, de um total de 648 correlações realizadas, 148 foram significativas.
- 2) Entre os três processos de tratamento, tivemos 432 correlações realizadas para o primeiro processo, sendo 114 correlações significativas; 108 correlações realizadas para o segundo processo, sendo 32 correlações significativas; e 108 correlações realizadas para o terceiro processo, sendo apenas 2 significativas.
- 3) Entre os quatro tipos de regressões realizadas nos três processos de tratamento, tivemos 41 correlações significativas para a regressão exponencial, 40 para a regressão potencial, 37 para a regressão logarítmica e 30 para a regressão linear simples.
- 4) Entre os três tipos de argilas, tivemos nos três processos de tratamento, um total de 69 correlações significativas para a argila de cor verde-escura, 55 para a argila de cor vermelha e 24 para a argila do tipo bofe.
- 5) Entre os teores de carbonatos, bicarbonatos e carbonatos

mais bicarbonatos, tivemos nos três processos de tratamento, um total de 57 correlações significativas entre os teores de carbonatos, 54 entre os teores de bicarbonatos e 37 entre os teores de carbonatos mais bicarbonatos com as viscosidades aparente e plástica e volume do filtrado.

Do resumo das análises estatísticas, observa-se que a maioria dos resultados obtidos não seguem os modelos matemáticos propostos.

Esta análise estatística foi feita com poucos dados, tendo sua validade limitada.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

Foram estudadas três amostras de argilas esmectíticas de cores vermelhá, verde-escura e do tipo bofe, do Distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande, Paraíba, visando verificar o efeito do tratamento térmico nas propriedades reológicas de dispersões de esmectitas sódicas obtidas em laboratório, podendo-se chegar as seguintes conclusões:

- 1º) As três argilas esmectíticas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, quando tratadas com carbonato de sódio na proporção de 100 meq/100 g de argila e curadas por 24 h, em temperatura ambiente e 100% de umidade relativa, não satisfazem as especificações da PETROBRÁS(1968).
- 2º) As três argilas esmectíticas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, depois de tratadas com carbonato de sódio e curadas, submetidas à diálise, melhoraram as propriedades reológicas, porém só a argila de cor vermelha satisfaz as especificações da PETROBRÁS (1968).
- 3º) As três argilas esmectíticas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, submetidas ao tratamento térmico (primeiro processo), em temperaturas na faixa de 40 à 90°C, melhoram bastante as propriedades reológicas. A argila de cor vermelha apresenta resultados das propriedades reológicas adequadas frente as normas da PETROBRÁS (1968). A argila de cor verde-escura apresenta uma melhoria de suas propriedades reológicas, porém não satisfaz

- as especificações da PETROBRÁS (1968). A argila do tipo bofe apresenta pouca melhoria de suas propriedades reológicas, com resultados fora das especificações da PETROBRÁS (1968).
- 49) As três argilas esmectíticas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, submetidas a diálise e tratamento térmico a 90°C (segundo processo), melhoram bastante as propriedades reológicas das dispersões. A argila de cor vermelha apresenta resultados das propriedades reológicas dentro das especificações da PETROBRÁS (1968). A argila de cor verde-escura apresenta resultados fora das especificações da PETROBRÁS (1968). A argila do tipo bofe apresenta uma melhoria de suas propriedades reológicas mas não satisfaz as especificações da PETROBRÁS (1968).
- 59) As três argilas esmectíticas de cores vermelha, verde-escura e do tipo bofe, submetidas ao tratamento térmico a 90°C seguido de diálise (terceiro processo) apresentam uma melhoria de suas propriedades reológicas. As argilas de cores vermelha e verde-escura apresentam resultados das propriedades reológicas dentro das especificações da PETROBRÁS (1968). A argila do tipo bofe apresenta pouca melhoria de suas propriedades reológicas, com resultados fora das especificações da PETROBRÁS (1968).
- 69) Dentre os três processos estudados neste trabalho, o primeiro processo, com temperatura de 90°C, se mostra o mais adequado para as argilas de cores vermelha e verde-escura. Para a argila do tipo bofe, o

segundo processo apresentou melhores resultados das propriedades reológicas.

7º) Genericamente, os teores de bicarbonatos e carbonatos atingiram um máximo e um mínimo, respectivamente, até um certo tempo, sendo que, neste mesmo intervalo de tempo, as propriedades reológicas apresentaram as maiores variações. Esse comportamento apresentado pelos teores de bicarbonatos e carbonatos, provavelmente seria devido a influência da temperatura na troca de cátions, com a formação de carbonatos ácidos de cálcio e magnésio, logo após a troca com o carbonato de sódio. Em seguida os teores de bicarbonatos e carbonatos foram diminuindo e aumentando, respectivamente, de maneira suave, talvez devido a decomposição dos carbonatos ácidos de cálcio e magnésio, já que são instáveis, em carbonatos.

8º) Existe pouca tendência para a interdependência entre os teores de carbonatos, bicarbonatos e carbonatos mais bicarbonatos com as viscosidades aparente e plástica e volume do filtrado. A análise estatística mostra que a maioria dos resultados obtidos não seguem os modelos matemáticos propostos.

Em vista desses resultados, pode ser concluído que a argila de cor vermelha apresenta melhores respostas aos tratamentos térmicos, tornando-se adequada para uso como fluido de perfuração, enquanto a argila de cor verde-escura só apresentou resultados dentro das especificações da PETROBRÁS (1968), com o tratamento térmico seguido da diálise (terceiro processo) e a argila do tipo bofe apresentou pouca varia

ção em suas propriedades reológicas com os tratamentos térmicos, sendo inadequadas para uso como fluido de perfuração, nas condições estudadas nesta dissertação.

No decorrer deste trabalho, além de outras informações existentes verificou-se que o tratamento térmico, poderá ser utilizado com melhores resultados em substituição à diálise. Entretanto deve-se salientar que o tratamento térmico tem a grande vantagem de poder ser utilizado no processo de industrialização quando é feita a troca de cátions por via úmida.

O tratamento térmico tal como a diálise são inviáveis industrialmente.

CAPÍTULO VI

SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Tendo em vista os resultados obtidos nesta pesquisa , sugere-se:

1. O estudo do tratamento térmico com intervalos de tempo menores e mais amplos, tais como, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 72 e 96 h, para se obter melhor entendimento do comportamento das propriedades reológicas e dos teores de carbonatos e bicarbonatos.
2. O estudo do tratamento térmico, em temperaturas de 40, 50 e 70°C, seguido de diálise, bem como, o processo inverso, ou seja, a diálise seguido de tratamento térmico, em temperaturas de 40, 50 e 70°C.
3. O estudo do tratamento térmico em dispersões de argilas , tratadas com diversos teores de carbonato de sódio, tais como, 25, 50, 75, 100, 125 e 150 meq/100 g de argila.
4. Estender estes estudos às argilas de cores verde-clara , chocolate e sortida, de Bravo, bem como, as argilas de outras localidades, do Distrito de Boa Vista, tais como Lajes e Juá.
5. O estudo do tratamento térmico em dispersões preparadas com misturas em diversas proporções da argila do tipo bofe com outras de cores diferentes (vermelha, verde-escura, etc).
6. O estudo do tratamento térmico em dispersões obtidas com um tipo de argila, sendo essas dispersões preparadas de

modo a se obter os três tipos de fluculação, citados nes
ta dissertação.

7. Diluir dispersões a 6%, com elevados valores de viscosidade
s aparente e plástica, com a finalidade de observar a
evolução da reologia.
8. Diluir dispersões a 6%, com baixa viscosidade plástica e
alta viscosidade aparente, com a finalidade de observar
a evolução da reologia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMUI, S., Reologia - Divisão de Ensaio, Petrobrás, 1979.
2. ANÔNIMO--O Fim das Importações de Bentonita Sódica Natural. Fundação e Matérias-primas 9(81), 13 (1987).
3. ASSUNÇÃO, L.M.C. e FERREIRA, H.C., Influência da Concentração, Velocidade e Tempo de Agitação nas Propriedades Reológicas de Dispersão de Montmoriloníticas Industrializadas no Estado da Paraíba. Cerâmica 25 (114), 165 (1979).
4. BARBOSA, M.L., QUEIROZ, M.F.V. e FERREIRA, H.C., Estudo de Algumas Propriedades Reológicas Após Cura em Câmara Úmida e Climatizada de Duas Argilas Esmeclíticas da Localidade de Bravo, Distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande. Cerâmica 30 (170), 39 (1984).
5. BARBOSA, M.L., Estudo de Algumas Propriedades Reológicas de Argilas Esmeclíticas da Localidade de Bravo, Distrito de Boa Vista, Campina Grande - Paraíba, Após Cura em Câmara Climatizada. Dissertação de Mestrado DEQ/UFPB, Campina Grande, 1985.
6. BROOKFIELD INSTRUMENT - "Synchro-letric Viscometer: Instruction Manual", Massachusetts, USA, 1973.
7. CAILLAUX, Z.S. e CUNHA, J., Alguns Dados Sobre a Argila Coloidal Tixotrópica de Campina Grande. Anais do XXIII Congresso da Soc. Bras. Geologia, pag. 199, Salvador, 1970.

8. CALDASSO, A.L.S., Geologia da Jazida da Boa Vista (Paraíba) Série Especial nº 2, SUDENE, Divisão de Geologia, Recife (1965).
9. CALDASSO, A.L.S., Jazida de Argila de Boa Vista, Paraíba Bol. Soc. Bras. Geol. 16 (1) 5 (1967).
10. CAMPOS, L.M.V. e SOUZA SANTOS, P., A Troca por Diferentes Sais de Sódio de uma Montmorilonita de Boa Vista, Campina Grande - Paraíba, com Diferentes Compostos de Sódio. Cerâmica 23 (96), 249 (1977).
11. CAVAZONI, J.C.Z., Estudo da Capacidade de Troca de Cações Totais em Argilas Montmoriloníticas por Meio de Traçadores Radioativos. Cerâmica 20 (80), 333 (1974).
12. D'ÁVILA, J.S., Fenômenos de Transporte - Notas de Aula do Curso de Aperfeiçoamento em Engenharia Química, Mimeografado, Sergipe, 1983.
13. D'ÁVILA, J.S., ARAÚJO, R.M.V., ARAÚJO, N.S., BARROS, E.C. e NASCIMENTO, R.R., Sobre a Perda das Propriedades Reológica de Argilas Montmoriloníticas Ativadas - "Envelhecimento". Anais da 1ª Mesa-Redonda Sobre Fluidos de Perfuração. Rio de Janeiro, Novembro de 1987.
14. DIAZ, F.R.V., Estudos em Eslaca de Laboratório, Visando Corrigir a Viscosidade Plástica de Esmeclita de Cor Verde-lodo, de Lajes, Distrito de Boa Vista, Campina Grande, Paraíba. Dissertação de Mestrado DEQ/EPUSP, São Paulo (1983).

15. DIAZ, F.R.V., Estudos em Escala de Laboratório Visando Corrigir a Viscosidade Plástica Dilatante de Esmectita de Cor Verde-lodo de Lajes, Distrito de Boa Vista, Campina Grande, Paraíba. Cerâmica 32 (203), 3319 (1986).
16. EMBRAPA - S.N.C.L.S. - Manual de Métodos de Análise de Solo, Parte 2, Análises Químicas, Método 2.38 e 2.39, 1975.
17. FANN INSTRUMENT CORP. - "Operations Instructions - FANN Viscometers", Houston, Texas 77042, 1979.
18. GRIM, R.E., "Applied Clay Mineralogy". McGraw-Hill Book Company, New York, 1962.
19. KIMINAMI, R.H.G.A. e FERREIRA, H.C., Propriedades Reológicas das Argilas Montmoriloníticas do Distrito de Boa Vista - Campina Grande-PB, Após Tratamento com Carbonato de Sódio e Cura em Câmara Climatizada Visando Aplicação em Fluidos de Perfuração de Poços de Petróleo. Cerâmica 26 (131), 307 (1980).
20. KIMINAMI, R.H.G.A. e FERREIRA, H.C., Estudos Preliminares em Câmara Climatizada Visando a Otimização das Propriedades Reológicas das Argilas Montmoriloníticas ou Esmectíticas do Distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande, Paraíba. Cerâmica 27 (133), 21 (1981a).
21. KIMINAMI, R.H.G.A. e FERREIRA, H.C., Propriedades Reológica das Argilas Montmoriloníticas ou Esmectíticas do Distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande-PB, Após Tratamento com Carbonato de Sódio e Cura (até 24 h) em Câmara Climatizada, Visando sua Aplicação co

- co Fluidos Tixotrópicos para Perfuração de Poços de Petróleo. Cerâmica 27 (137), 225 (1981b).
22. KIMINAMI, R.H.G.A., Efeitos de Tratamento de Cura em Al gumas Propriedades Reológicas de Argilas Esmectíticas de Boa Vista, Visando sua Aplicação como Fluidos Tixotrópicos para Perfuração de Poços de Petróleo. Dissertação de Mestrado, DEQ/UFPB, Campina Grande-PB (1981c).
23. KIMINAMI, R.H.G.A., SOUZA SANTOS, P. e FERREIRA, H.C. Es tudo dos Efeitos de Tratamento de Cura em Argilas Es mectíticas de Boa Vista, Campina Grande, PB, Parte 1 : Mineralogia e Cura a 100% UR e às Temperaturas Ambientais. Cerâmica 29 (164), 197 (1983).
24. KIMINAMI, R.H.G.A., MACHADO, E.C.C. e FERREIRA, H.C., In fluência do Envelhecimento das Argilas Esmectíticas para Fluidos de Perfuração de Poços de Petróleo Indus tializadas no Estado da Paraíba. Cerâmica 30 (178) 297 (1984).
25. KIMINAMI, R.H.G.A., SOUZA SANTOS, P. e FERREIRA, H.C., Es tudo dos Efeitos de Tratamento de Cura em Argilas Es mectíticas de Boa Vista - Campina Grande-PB. Parte 2: Cura em Várias Umidades Relativas em Diferentes Temperaturas e Concentrações de Carbonato de Sódio. Cerâmi ca 31 (183), 53 (1985a).
26. KIMINAMI, R.H.G.A., SOUZA SANTOS, P. e FERREIRA, H.C. Es tudo dos Efeitos de Tratamento de Cura em Argilas Es mectíticas de Boa Vista, Campina Grande-PB. Parte 3 : Efeito da Diálise antes e após Tratamento de Cura em

- Câmara Climatizada. Cerâmica 31 (187), 165 (1985b).
27. KIMINAMI, R.H.G.A., SOUZA SANTOS, P. e FERREIRA, H.C. Estudo dos Efeitos de Tratamento de Cura de Argilas Esmectíticas de Boa Vista, Campina Grande-PB. Parte 4: Estudos Preliminares sobre a Quantidade e o Efeito dos Carbonatos e Bicarbonatos nas Propriedades Reológicas. Cerâmica 31 (190), 217 (1985c).
28. MACHADO, J.P.V., Reologia de Fluidos: Aplicação na Engenharia de Petróleo. Petrobrás, 1983.
29. MORO, S.L., SANTINI, P., A Análise Química e Outros Ensaaios Utilizados para Estudo das Argilas. Cerâmica 12 (47/48), 203 (1966).
30. NIE, N.H., HULL, C.H., JENKINS, J.G., STAINBRENNER, K., BENT, D.H., SPSS - Statistical Package for the Social Science - Editora McGraw-Hill Book Company, USA, 1975.
31. PETROBRÁS, Argila Ativada para Água Doce, EE-78, Abril (1968).
32. PINTO, G.G. e PIMENTEL, E.C., Considerações Geoeconômicas sobre os Depósitos Argilosos de Boa Vista, Paraíba 4º Distrito Nordeste DNPM/MME, Campina Grande, Paraíba, 1968.
33. PRADO, L., ZANDONADI, A.R., SOUZA SANTOS, P., Efeito do Tratamento Térmico (Secagem) antes e depois da Troca com Carbonato de Sódio sobre as Viscosidades de Suspensões Aquosas da Argila Esmectítica (Montmorilonítica) de

Cor Verde-clara de Boa Vista, Campina Grande, PB. Mine
ração e Metalurgia 43 (418), 8 (1980).

34. QUEIROZ, M.F.V., Influência do Tratamento de Cura em Câmara Úmida e Clamatizada nas Propriedades Reológicas e nos Teores de Carbonatos e Bicarbonatos das Argilas Esmectíticas do Distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande-PB. Dissertação de Mestrado - DEQ/UFPB, Campina Grande, 1985.
35. RAMOS, R.R., MACHADO, E.C.C. e FERREIRA, H.C., Influência de Diversos Tratamentos de Cura nas Argilas Esmectíticas do Distrito de Boa Vista, Campina Grande-PB, Tendo em Vista sua Aplicação como Fluido Tixotrópico para Perfuração de Poços de Petróleo. Cerâmica 30 (173), 117 (1984).
36. RAMOS, R.R., Estudo de Algumas Propriedades Reológicas e Teores de Carbonato e Bicarbonato Após Cura em Câmara Úmida e Autoclave de Três Argilas Esmectíticas Tratadas com Carbonato de Sódio da Localidade de Bravo, Distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande, Paraíba. Dissertação de Mestrado. DEQ/UFPB. Campina Grande, 1985.
37. ROCHA, D.M.F., Argilas Bentoníticas de Boa Vista, Paraíba. DNPM/MME-DF PM, Relatório Preliminar (1966).
38. SHAW, D.J., Introdução a Química dos Colóides e de Superfície. Tradução de Juergem Heinrich Maar, Editora da USP, São Paulo, 1975.
39. SOLANO, L., ZANDONADI, A.R. e SOUZA SANTOS, P., Efeito

de um Pré-Tratamento Térmico (Temperatura de Secagem) ,
na Reação de Troca Catiônica com Carbonato de Sódio em
Algumas Propriedades de Argilas Esmectíticas (Montmori-
loníticas) Brasileiras - I Reunião Latino-Americana de
Metalurgia. São Paulo, Setembro de 1977.

40. SPIEGEL, M.R., Estatística - Tradução de Pedro Consentino ,
Editora MacGraw-Hill do Brasil, Rio de Janeiro, 1970.
41. SOLANO, L., ZANDONADI, A.R. e SOUZA SANTOS, P., Propriedades Reológicas de Esmectitas Sódicas Obtidas a Partir de Esmectitas Policatiônica de Cor Verde-clara (Verde lodo) do Distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande, Paraíba. Cerâmica 26 (122), 44 (1980) e 26 (124), 33 (1980).
42. STEFAN, P., Efeito dos Sais de Na, K, Ca, Mg, Ba e Sr So
bre as Propriedades da Lama (Drilling Mud) nas Perfurações Profundas de Petróleo e Sal-Gema. Pág. 11 - Instituto de Tecnologia e Pesquisas de Sergipe. Publicação Nº 3, Setembro de 1956.
43. STEFAN, P., Métodos de Ensaio de Argilas Bentonitas pa
ra Fluidos de Perfuração. Cerâmica 12 (47/48), 226 (1966).
44. SOUZA SANTOS, P., Estudo Tecnológico de Argilas Montmoriloníticas do Distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande, Paraíba. Tese para o Concurso à Cátedra "Química Industrial" da EPUSP (1968).

45. SOUZA SANTOS, P., Tecnologia de Argilas, Vols. I e II , Editora Blucher, EDUSP, São Paulo, 1975.
46. SOUZA SANTOS, P. e CAMPOS, T.W., Microscopia Eletrônica de Transmissão dos Argilominerais Presentes nas Argilas Esmeclíticas de Boa Vista, Campina Grande, PB. Cerâmica 25 (112), 87 (1979).
47. SOUZA SANTOS, H., KIYOHARA, P.K., ZANDONADI, A.R. e SOUZA SANTOS, P., Estudo de Propriedades de Argilas Esmeclíticas (Montmoriloníticas) de Campina Grande, Paraíba, Parte I, Argilas de Diferentes Cores da Localidade de Bravo. Cerâmica 26 (137), 337 (1980).
48. SOUZA SANTOS, H., WAGNER CAMPOS, T., BARAÚNA, O.S., ARAÚJO, A.R.P. e SOUZA SANTOS, P., Estudo de Propriedades de Argilas Esmeclíticas de Campina Grande, Paraíba, Parte II, Morfologia de Esmeclitas de Diversas Cores das Localidades de Bravo, Lajes e Juã. Cerâmica 27 (134), 81 (1981).
49. VAN OLPHEN, H., "An Introduction to Clay Colloid Chemistry" Editora John Willey e Sons, New York, 1977.
50. WINDLE, W., "Some Factors Affecting the Rheology of Clay Water Slurries and Their Effect Upon the Optical Properties of Coated Papers". PCL Coatine Conference, Stockholm, 1965.
51. ZANDONADI, A.R., Estudos Preliminares sobre as Argilas Verdes de Sacramento como Agentes Tixotrópicos para Fluidos de Perfuração de Poços. Cerâmica 12 (47/48), 43

(1966).

52. ZANDONADI, A.R., SOUZA SANTOS, P., e LOURENÇO, O.B., Ensaios Preliminares de Laboratório de Argilas Montmorilônicas Visando a Utilização Industrial. Cerâmica 16 (64), 263 (1970).
53. ZANDONADI, A.R., Estudo Tecnológico de Argilas Montmoriloníticas Brasileiras. Tese de Doutorado, USP, São Paulo, 1972.
54. ZANDONADI, A.R., Estudos Recentes de Argilas Montmoriloníticas Realizados no IPT de São Paulo. Cerâmica 20 (77), (1974).
55. ZANDONADI, A.R. e SOUZA SANTOS, P., Propriedades Reológicas de Montmoriloníticas Brasileiras. Cerâmica 25 (106) 355 (1978).

TABELA 1 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS MONTMORILONÍTI
CAS DE BOA VISTA, APÓS TRATAMENTO COM CARBONATO
DE SÓDIO, SEM TRATAMENTO TÉRMICO..

AMOSTRA	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)	TEOR DE CO_3^{2-} (meq/l)	TEOR DE HCO_3^- (meq/l)
	APARENTE	PLÁSTICA			
VERMELHA	48,2	0,2	13,7	16,0	38,0
VERDE ESCURA	26,5	0,5	17,0	22,0	30,5
BOFE	6,0	4,0	23,5	22,5	33,5

TABELA 2 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS MONTMORILONÍTI
CAS, APÓS TRATAMENTO COM Na_2CO_3 E DIÁLISE DE 7
DIAS.

AMOSTRA	VISCOSIDADE APARENTE (cP)	VISCOSIDADE PLÁSTICA (cP)	VOLUME DO FILTRADO (ml)	TEOR DE CO_3^{2-} (meq/l)	TEOR DE HCO_3^- (meq/l)
VERMELHA	25,3	8,0	13,0	2,2	16,0
VERDE ESCURA	24,8	3,5	16,5	2,7	16,7
BOFE	8,0	5,2	21,0	1,5	16,0

TABELA 3 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS, TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE DISPERSÕES DE MONTMORILONITAS SÓDICAS, OBTIDAS EM LABORATÓRIO, TRATADAS TERMICAMENTE À 40°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)	TEOR DE CO_3^{2-} (meq/l)	TEOR DE HOC_3^- (meq/l)
		APARENTE	PLÁSTICA			
VERMELHA	12	38,5	2,5	13,5	13,0	46,0
VERDE ESCURA		32,7	0,5	14,5	22,0	44,0
BOFE		8,0	5,2	21,5	25,0	35,0
VERMELHA	24	35,5	4,5	13,2	11,0	45,7
VERDE ESCURA		35,0	1,0	14,7	25,0	39,0
BOFE		7,7	5,0	21,0	29,0	37,0
VERMELHA	48	31,7	6,7	13,2	8,2	54,0
VERDE ESCURA		38,5	0,5	15,0	22,0	37,7
BOFE		9,2	5,5	22,0	22,0	40,0
VERMELHA	72	33,0	9,5	13,7	8,7	49,2
VERDE ESCURA		40,5	1,0	15,2	20,0	31,2
BOFE		9,0	5,5	21,5	29,7	33,7

TABELA 4 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS, TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE DISPERSÕES DE MONTMORILONITAS SÓDICAS, OBTIDAS EM LABORATÓRIO, TRATADAS TERMICAMENTE À 50°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)	TEOR DE CO_3^{2-} (meq/l)	TEOR DE HCO_3^- (meq/l)
		APARENTE	PLÁSTICA			
VERMELHA	12	31,5	7,0	14,2	9,5	48,5
VERDE ESCURA		38,0	0,7	14,5	18,7	41,2
BOFE		9,0	5,5	21,7	24,5	33,2
VERMELHA	24	33,7	9,0	15,0	7,0	52,7
VERDE ESCURA		39,5	1,0	15,5	15,5	48,0
BOFE		6,5	4,0	26,0	21,5	43,7
VERMELHA	48	34,5	10,0	14,0	7,5	51,0
VERDE ESCURA		41,0	1,5	15,0	15,0	52,5
BOFE		6,7	5,2	24,0	25,5	35,5
VERMELHA	72	34,7	11,2	13,5	7,0	49,5
VERDE ESCURA		42,7	2,0	15,5	14,0	49,0
BOFE		6,5	4,5	24,0	26,5	32,5

TABELA 5 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS, TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE DISPERSÕES DE MONTMORILONÍTAS SÓDICAS OBTIDAS EM LABORATÓRIO, TRATADAS TERMICAMENTE À 70°C.

AMOSTRAS	TEMPO (h)	VISCOSIDADES (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)	TEOR DE CO_3^{2-} (meq/l)	TEOR DE HCO_3^- (meq/l)
		APARENTE	PLÁSTICA			
VERMELHA	12	37,5	9,7	15,5	5,0	52,5
VERDE ESCURA		41,5	2,0	17,2	13,5	51,0
BOFE		6,5	4,0	25,0	21,5	44,0
VERMELHA	24	38,2	9,5	15,0	6,5	53,0
VERDE ESCURA		41,5	2,2	16,5	11,0	54,5
BOFE		6,7	4,5	25,0	22,0	42,0
VERMELHA	48	38,5	10,5	16,0	6,0	52,0
VERDE ESCURA		44,2	3,2	17,5	12,5	51,0
BOFE		6,7	4,2	27,0	28,5	31,5
VERMELHA	72	38,2	11,5	15,5	6,5	47,5
VERDE ESCURA		48,2	3,2	18,5	12,0	51,5
BOFE		6,0	4,0	27,2	28,0	28,5

TABELA 6 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS, TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE DISPERSÕES DE MONTMORILONITAS SÓDICAS OBTIDAS EM LABORATÓRIO, TRATADAS TERMICAMENTE À 90°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)	TEOR DE CO_3^{2-} (meq/l)	TEOR DE HCO_3^- (meq/l)
		APARENTE	PLÁSTICA			
VERMELHA	12	43,7	12,5	15,7	4,5	52,5
VERDE ESCURA		39,7	4,0	19,5	11,0	50,5
BOFE		7,5	4,5	26,0	22,5	36,5
VERMELHA	24	43,2	15,2	15,5	5,5	45,5
VERDE ESCURA		44,0	5,0	19,5	11,0	50,0
BOFE		8,2	6,7	25,0	24,5	32,5
VERMELHA	48	43,2	14,7	15,5	7,5	42,0
VERDE ESCURA		40,5	7,0	20,5	12,0	47,5
BOFE		8,0	5,0	25,7	26,5	28,5
VERMELHA	72	41,5	17,5	15,0	7,5	41,5
VERDE ESCURA		40,2	10,0	20,0	13,0	47,0
BOFE		8,0	6,0	25,0	28,5	31,5

TABELA 7 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS, TEORES DE CARBONATOS E BI CARBONATOS DE DISPERSÕES DE MONTMORILONITAS SÓDICAS OBTIDAS EM LABORATÓRIO, SUBMETIDAS A DIÁLISE E TRATAMENTO TÉRMICO À 90°C.

AMOSTRA	TEMPO DE TRATAMENTO TÉRMICO.	VISCOSIDADE APARENTE (cP)	VISCOSIDADE PLÁSTICA (cP)	VOLUME DO FILTRADO (ml)	TEOR DE CO_3^{2-} (meq/l)	TEOR DE HCO_3^- (meq/l)
VERMELHA	12	34,0	6,5	15,0	0,0	18,0
VERDE ESCURA		40,0	3,5	20,0	0,0	30,0
BOFE		12,0	5,5	23,5	0,0	24,5
VERMELHA	24	32,0	9,5	14,5	0,0	32,0
VERDE ESCURA		35,0	3,0	20,0	1,5	27,0
BOFE		12,0	5,5	24,0	0,0	24,0
VERMELHA	48	36,0	9,0	14,0	0,0	25,0
VERDE ESCURA		40,0	3,0	19,5	0,0	30,0
BOFE		12,0	6,0	23,5	0,0	25,0
VERMELHA	72	35,0	12,0	14,0	0,0	22,5
VERDE ESCURA		38,0	3,0	19,5	2,5	22,0
BOFE		12,0	6,5	23,5	1,0	22,0

TABELA 8 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS, TEORES DE CARBONATOS E BI CARBONATOS DE DISPERSÕES DE MONTMORILONITAS SÓDICAS OBTIDAS EM LABORATÓRIO, TRATADAS TERMICAMENTE A 90°C E DIÁLISE.

AMOSTRA	TEMPO DE TRATAMENTO TÉRMICO.	VISCOSIDADE APARENTE (cP)	VISCOSIDADE PLÁSTICA (cP)	VOLUME DO FILTRADO (ml)	TEOR DE CO_3^{2-} (meq/l)	TEOR DE HCO_3^- (meq/l)
VERMELHA	12	24,5	10,0	13,5	0,5	20,5
VERDE ESCURA		28,0	6,0	18,5	1,5	21,0
BOFE		10,0	6,0	23,0	0,0	23,0
VERMELHA	24	24,0	12,0	13,5	1,5	17,5
VERDE ESCURA		28,0	8,0	17,5	2,5	17,5
BOFE		9,5	6,0	23,0	2,0	18,0
VERMELHA	48	25,0	13,5	13,5	1,5	16,5
VERDE ESCURA		23,5	9,5	18,0	2,0	18,0
BOFE		9,5	6,5	21,5	1,5	20,5
VERMELHA	72	29,0	15,0	14,5	1,0	21,5
VERDE ESCURA		31,0	9,5	18,0	2,5	24,0
BOFE		9,5	6,0	23,5	3,0	15,0

TABELA 9 - CORRELAÇÕES LINEARES SIMPLES SIGNIFICATIVAS ENTRE OS TEORES DE CARBONATOS, BICARBONATOS E CARBONATOS MAIS BICARBONATOS COM AS VISCOSIDADES APARENTE E PLÁSTICA E VOLUME DO FILTRADO DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE BOA VISTA/PARAÍBA, SUBMETIDAS AO PRIMEIRO PROCESSO.

AMOSTRA	TRATAMENTO TÉRMICO (°C)	X	Y	A	B	R	α (%)
VERMELHA	40	CO_3^{2-}	V.A.	14,76	1,99	0,97	0,56
VERMELHA	50	CO_3^{2-}	V.A.	21,86	1,56	0,90	3,82
VERMELHA	70	CO_3^{2-}	V.A.	32,12	1,00	0,99	0,02
VERDE ESCURA	50	CO_3^{2-}	V.A.	69,05	-1,85	-0,95	1,46
VERDE ESCURA	70	CO_3^{2-}	V.A.	64,79	-1,72	-0,93	2,18
VERDE ESCURA	90	CO_3^{2-}	V.A.	57,59	-1,41	-0,97	0,58
VERMELHA	40	CO_3^{2-}	V.P.	16,63	-1,05	-0,94	1,92
VERMELHA	50	CO_3^{2-}	V.P.	17,96	-1,11	-0,98	0,30
VERMELHA	70	CO_3^{2-}	V.P.	16,13	-0,98	-0,97	0,74
VERMELHA	70	CO_3^{2-}	V.F.	16,58	-0,18	-0,92	2,54
VERMELHA	90	CO_3^{2-}	V.F.	16,51	-0,17	-0,97	0,48
VERDE ESCURA	90	CO_3^{2-}	V.F.	22,91	-0,26	-0,90	3,64
VERMELHA	40	HCO_3^-	V.A.	86,96	-1,06	-0,94	1,52
VERMELHA	50	HCO_3^-	V.A.	87,25	-1,06	-0,92	2,72
VERMELHA	70	HCO_3^-	V.A.	72,90	-0,67	-0,94	1,74
VERDE ESCURA	50	HCO_3^-	V.A.	6,77	0,69	0,94	1,58
VERDE ESCURA	70	HCO_3^-	V.A.	3,51	0,77	0,91	3,02
VERDE ESCURA	90	HCO_3^-	V.A.	2,74	0,79	0,97	0,72
VERMELHA	50	HCO_3^-	V.P.	-25,84	0,69	0,92	2,52
VERDE ESCURA	50	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.A.	-26,41	1,04	0,91	3,10

TABELA 9 - (Continuação) CORRELAÇÕES LINEARES SIMPLES SIGNIFICATIVAS ENTRE OS TEORES DE CARBONATOS, BICARBONATOS E CARBONATOS MAIS BICARBONATOS COM AS VISCOSIDADES APARENTE E PLÁSTICA E VOLUME DO FILTRADO DE ARGILAS ESMECTÍNICAS DE BOA VISTA/PARAÍBA, SUBMETIDAS AO PRIMEIRO PROCESSO.

AMOSTRA	TRATAMENTO TÉRMICO (°C)	X	Y	A	B	R	α (%)
VERDE ESCURA	50	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.A.	-26,41	1,04	0,91	3,10
VERDE ESCURA	90	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.A.	-65,51	1,76	0,96	1,10
BOFE	40	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.F.	35,97	-0,22	-0,89	3,98

TABELA 10 - CORRELAÇÕES LOGARÍTMICAS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS TEORES DE CARBONATOS, BICARBONATOS E CARBONATOS MAIS BICARBONATOS COM AS VISCOSIDADES APARENTE E PLÁSTICA E VOLUME DO FILTRADO DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE BOA VISTA/PARAÍBA, SUBMETIDAS AO PRIMEIRO PROCESSO.

AMOSTRA	TRATAMENTO TÉRMICO(°C)	X	Y	A	B	R	α (%)
VERMELHA	40	CO_3^{2-}	V.A.	-16,27	22,37	0,95	1,48
VERMELHA	70	CO_3^{2-}	V.A.	20,61	9,84	0,98	0,24
VERDE ESCURA	50	CO_3^{2-}	V.A.	128,84	-32,35	-0,93	2,20
VERDE ESCURA	70	CO_3^{2-}	V.A.	112,89	-27,68	-0,92	2,84
VERDE ESCURA	90	CO_3^{2-}	V.A.	96,44	-22,53	-0,97	0,72
VERMELHA	40	CO_3^{2-}	V.P.	33,83	-12,15	-0,94	1,88
VERMELHA	50	CO_3^{2-}	V.P.	34,21	-12,23	-0,98	0,30
VERMELHA	70	CO_3^{2-}	V.P.	27,15	-9,52	-0,94	1,70
VERDE ESCURA	50	CO_3^{2-}	V.P.	9,54	-2,98	-0,90	3,84
VERMELHA	70	CO_3^{2-}	V.F.	18,66	-1,77	-0,91	2,92
VERMELHA	90	CO_3^{2-}	V.F.	18,28	-1,60	-0,95	1,28
VERDE ESCURA	90	CO_3^{2-}	V.F.	29,94	-4,11	-0,88	4,80
VERMELHA	40	HCO_3^-	V.A.	224,93	-48,89	-0,96	1,02
VERMELHA	50	HCO_3^-	V.A.	223,83	-48,50	-0,93	2,12
VERMELHA	70	HCO_3^-	V.A.	160,26	-30,99	-0,95	1,30
VERDE ESCURA	50	HCO_3^-	V.A.	-70,51	28,65	0,86	0,88
VERDE ESCURA	70	HCO_3^-	V.A.	-81,54	31,72	0,92	2,66
VERDE ESCURA	90	HCO_3^-	V.A.	-79,89	31,13	0,97	0,62
VERMELHA	50	HCO_3^-	V.P.	-114,93	31,69	0,93	2,16
VERMELHA	70	HCO_3^-	V.P.	-104,69	29,15	0,88	4,66

TABELA 10 - (Continuação) CORRELAÇÕES LOGARÍMICAS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS TEORES DE CARBONATOS, BICARBONATOS E CARBONATOS MAIS BICARBONATOS COM AS VISCOSIDADES APARENTE E PLÁSTICA E VOLUME DO FILTRADO DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE BOA VISTA/PARAÍBA, SUBMETIDAS AO PRIMEIRO PROCESSO.

AMOSTRA	TRATAMENTO TÉRMICO(°C)	X	Y	A	B	R	α (%)
VERDE ESCURA	90	HCO_3^-	V.F.	-2,74	5,81	0,90	3,50
VERDE ESCURA	70	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.A.	-291,20	80,44	0,89	4,06
VERDE ESCURA	90	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.A.	-366,42	99,31	0,96	1,04
BOFE	50	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.A.	-24,43	5,09	0,98	0,28
VERDE ESCURA	90	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.F.	-55,10	18,26	0,88	4,94
BOFE	40	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.F.	76,55	-13,27	-0,89	4,16

TABELA 11 - CORRELAÇÕES POTENCIAIS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS TEORES DE CARBONATOS, BICARBONATOS E CARBONATOS MAIS BICARBONATOS COM AS VISCOSIDADES APARENTE E PLÁSTICA E VOLUME DO FILTRADO DE ARGILAS ESMECTÍNICAS DE BOA VISTA/PARAÍBA, SUBMETIDAS AO PRIMEIRO PROCESSO.

AMOSTRA	TRATAMENTO TÉRMICO(°C)	X	Y	A	B	R	α (%)
VERMELHA	40	CO_3^{2-}	V. A.	9,58	0,56	0,96	0,86
VERMELHA	70	CO_3^{2-}	V. A.	25,28	0,23	0,98	0,20
VERDE ESCURA	50	CO_3^{2-}	V. A.	523,22	-0,94	-0,91	3,12
VERDE ESCURA	70	CO_3^{2-}	V. A.	311,06	-0,79	-0,93	2,02
VERDE ESCURA	90	CO_3^{2-}	V. A.	208,51	-0,66	-0,97	0,30
VERMELHA	40	CO_3^{2-}	V. P.	$4,3 \times 10^5$	-4,99	-0,90	3,46
VERMELHA	50	CO_3^{2-}	V. P.	$1,3 \times 10^5$	-4,74	-0,96	0,90
VERMELHA	70	CO_3^{2-}	V. P.	$8,1 \times 10^3$	-3,76	-0,97	0,70
VERDE ESCURA	50	CO_3^{2-}	V. P.	$3,6 \times 10^3$	-2,90	-0,96	0,96
VERDE ESCURA	70	CO_3^{2-}	V. P.	$1,8 \times 10^3$	-2,62	-0,93	1,98
VERMELHA	70	CO_3^{2-}	V. F.	19,11	-0,12	-0,93	2,34
VERMELHA	90	CO_3^{2-}	V. F.	18,54	-0,10	-0,95	1,46
VERDE ESCURA	90	CO_3^{2-}	V. F.	34,81	-0,23	-0,89	4,48
VERMELHA	40	HCO_3^-	V. A.	$3,9 \times 10^3$	-1,21	-0,96	0,82
VERMELHA	50	HCO_3^-	V. A.	$3,3 \times 10^3$	-1,17	-0,91	2,92
VERMELHA	70	HCO_3^-	V. A.	$6,3 \times 10^2$	-0,71	-0,95	1,34
VERDE ESCURA	50	HCO_3^-	V. A.	1,52	0,84	0,96	1,02
VERDE ESCURA	70	HCO_3^-	V. A.	1,21	0,91	0,94	1,64
VERDE ESCURA	90	HCO_3^-	V. A.	1,15	0,92	0,98	0,36
VERMELHA	40	HCO_3^-	V. P.	$2,1 \times 10^{-18}$	10,86	0,91	3,10

TABELA 11 - (Continuação) CORRELAÇÕES POTENCIAIS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS TEORES DE CARBONATOS, BICARBONATOS E CARBONATOS MAIS BICARBONATOS COM AS VISCOSIDADES APARENTE E PLÁSTICA E VOLUME DO FILTRADO DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE BOA VISTA/PARAÍBA, SUBMETIDAS AO PRIMEIRO PROCESSO.

AMOSTRA	TRATAMENTO TÉRMICO(°C)	X	Y	A	B	R	α (%)
VERMELHA	50	HCO_3^-	V. P.	$4,2 \times 10^{-22}$	13,12	0,97	0,50
VERMELHA	70	HCO_3^-	V. P.	$5,1 \times 10^{-20}$	11,86	0,93	1,94
VERDE ESCURA	70	HCO_3^-	V. P.	$1,8 \times 10^{-5}$	3,01	0,94	1,72
VERDE ESCURA	90	HCO_3^-	V. P.	$1,9 \times 10^{-8}$	5,04	0,90	3,48
VERDE ESCURA	90	HCO_3^-	V. F.	5,64	0,32	0,91	3,10
VERDE ESCURA	70	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V. A.	$2,8 \times 10^{-3}$	2,31	0,92	2,64
VERDE ESCURA	90	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V. A.	$2,4 \times 10^{-4}$	2,94	0,97	0,70
BOFE	50	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V. A.	0,39	0,68	0,98	0,32
VERDE ESCURA	70	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V. P.	$4,0 \times 10^{-14}$	7,64	0,91	2,94
VERDE ESCURA	90	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V. P.	$3,1 \times 10^{-21}$	15,87	0,88	4,80
VERDE ESCURA	90	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V. F.	0,30	1,02	0,89	4,42
BOFE	40	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V. F.	295,90	-0,63	-0,91	3,30

TABELA 12 - CORRELAÇÕES EXPONENCIAIS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS TEORES DE CARBONATOS, BICARBONATOS E CARBONATOS MAIS BICARBONATOS COM AS VISCOSIDADES APARENTE E PLÁSTICA E VOLUME DO FILTRADO DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE BOA VISTA/PARAÍBA, SUBMETIDAS AO PRIMEIRO PROCESSO.

AMOSTRA	TRATAMENTO TÉRMICO(°C)	X	Y	A	B	R	α (%)
VERMELHA	40	CO_3^{2-}	V.A.	21,11	0,050	0,98	0,28
VERMELHA	70	CO_3^{2-}	V.A.	33,11	0,023	0,99	0,02
VERDE ESCURA	50	CO_3^{2-}	V.A.	92,76	-0,054	-0,93	2,12
VERDE ESCURA	70	CO_3^{2-}	V.A.	79,04	-0,049	-0,95	1,40
VERDE ESCURA	90	CO_3^{2-}	V.A.	66,69	-0,041	-0,98	0,34
VERMELHA	40	CO_3^{2-}	V.P.	445,86	-0,450	-0,94	1,74
VERMELHA	50	CO_3^{2-}	V.P.	270,43	-0,440	-0,98	0,28
VERMELHA	70	CO_3^{2-}	V.P.	101,50	-0,380	-0,99	0,15
VERMELHA	90	CO_3^{2-}	V.P.	167,33	-0,400	-0,94	1,60
VERDE ESCURA	50	CO_3^{2-}	V.P.	15,64	-0,160	-0,95	1,44
VERDE ESCURA	70	CO_3^{2-}	V.P.	18,73	-0,160	-0,95	1,34
VERDE ESCURA	90	CO_3^{2-}	V.P.	81,45	-0,220	-0,89	4,34
VERMELHA	70	CO_3^{2-}	V.F.	16,61	-0,012	-0,94	1,94
VERMELHA	90	CO_3^{2-}	V.F.	16,60	-0,011	-0,98	0,44
VERDE ESCURA	90	CO_3^{2-}	V.F.	23,57	-0,014	-0,91	3,32
VERMELHA	40	HCO_3^-	V.A.	126,47	-0,030	-0,95	1,18
VERMELHA	50	HCO_3^-	V.A.	122,73	-0,020	-0,90	3,60
VERMELHA	70	HCO_3^-	V.A.	83,93	-0,015	-0,94	1,78
VERDE ESCURA	50	HCO_3^-	V.A.	15,03	0,020	0,93	1,96
VERDE ESCURA	70	HCO_3^-	V.A.	13,74	0,022	0,94	1,92

TABELA 12 - (Continuação) CORRELAÇÕES EXPONENCIAIS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS TEORES DE CARBONATOS, BICARBONATOS E CARBONATOS MAIS BICARBONATOS COM AS VISCOSIDADES APARENTE E PLÁSTICA E VOLUME DO FILTRADO DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE BOA VISTA/PARAÍBÁ, SUBMETIDAS AO PRIMEIRO PROCESSO.

AMOSTRA	TRATAMENTO TÉRMICO (°C)	X	Y	A	B	R	α (%)
VERDE ESCURA	90	HCO_3^-	V.A.	13,20	0,023	0,98	0,44
VERMELHA	40	HCO_3^-	V.P.	5×10^{-5}	0,230	0,89	4,32
VERMELHA	50	HCO_3^-	V.P.	4×10^{-6}	0,290	0,96	0,78
VERMELHA	70	HCO_3^-	V.P.	$1,7 \times 10^{-3}$	0,260	0,92	2,52
VERDE ESCURA	50	HCO_3^-	V.P.	$8,4 \times 10^{-2}$	0,056	0,88	4,64
VERDE ESCURA	70	HCO_3^-	V.P.	0,056	0,073	0,93	2,00
VERDE ESCURA	90	HCO_3^-	V.P.	0,013	0,125	0,89	4,44
VERDE ESCURA	90	HCO_3^-	V.F.	13,33	0,008	0,90	3,96
VERDE ESCURA	50	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.A.	5,58	0,031	0,91	3,18
VERDE ESCURA	70	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.A.	3,39	0,070	0,92	2,80
VERDE ESCURA	90	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.A.	1,75	0,052	0,96	0,78
VERDE ESCURA	70	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.P.	$5,6 \times 10^{-4}$	0,131	0,91	3,04
VERDE ESCURA	90	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.P.	$2,0 \times 10^{-7}$	0,281	0,88	4,88
BOFE	40	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.F.	42,95	-0,011	-0,91	3,08

TABELA 13 - CORRELAÇÕES LINEARES SIMPLES SIGNIFICATIVAS ENTRE OS TEORES DE CARBONATOS, BICARBONATOS E CARBONATOS MAIS BICARBONATOS COM AS VISCOSIDADES APARENTE E PLÁSTICA E VOLUME DO FILTRADO DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE BOA VISTA / PARRAÍBA, SUBMETIDAS AO SEGUNDO PROCESSO.

AMOSTRA	X	Y	A	B	R	α (%)
VERMELHA	CO_3^{2-}	V.A.	34,25	-4,07	-0,94	1,84
VERDE ESCURA	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.F.	11,43	0,29	0,89	4,08
BOFE	HCO_3^-	V.A.	0,94	0,46	0,95	1,28
BOFE	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.A.	-1,76	0,57	0,97	0,62
BOFE	HCO_3^-	V.F.	16,34	0,30	0,94	1,78
BOFE	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.F.	14,63	0,37	0,95	1,34

TABELA 14 - CORRELAÇÕES LOGARÍTMICAS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS TEORES DE CARBONATOS, BICARBONATOS E CARBONATOS MAIS BICARBONATOS COM AS VISCOSIDADES APARENTE E PLÁSTICA E VOLUME DO FILTRADO DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE BOA VISTA/PARAÍBA, SUBMETIDAS AO SEGUNDO PROCESSO.

AMOSTRA	X'	Y	A	B	R	α (%)
VERMELHA	CO_3^{2-}	V.A.	34,25	-11,35	-0,94	1,83
VERDE ESCURA	HCO_3^-	V.A.	-36,23	22,43	0,88	4,76
VERDE ESCURA	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.A.	-63,97	30,50	0,89	4,11
VERDE ESCURA	HCO_3^-	V.F.	2,40	5,22	0,88	4,63
VERDE ESCURA	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.F.	-4,60	7,26	0,92	2,86
BOFE	CO_3^{2-}	V.A.	12,00	-9,86	-1,00	0,00
BOFE	HCO_3^-	V.A.	-17,64	9,33	0,96	0,79
BOFE	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.A.	-25,99	11,92	0,98	0,40
BOFE	CO_3^{2-}	V.F.	23,62	-6,47	-0,98	0,26
BOFE	HCO_3^-	V.F.	4,10	6,14	0,95	1,24
BOFE	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.F.	1,22	7,80	0,96	1,03

TABELA 15 - CORRELAÇÕES POTENCIAIS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS TEORES DE CARBONATOS, BICARBONATOS E CARBONATOS MAIS BICARBONATOS COM AS VISCOSIDADES APARENTE E PLÁSTICA E VOLUME DO FILTRADO DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE BOA VISTA/PARAÍBA, SUBMETIDAS AO SEGUNDO PROCESSO.

AMOSTRA	X	Y	A	B	R	α (%)
VERDE ESCURA	HCO_3^-	V.A.	3,63	0,71	0,88	4,68
VERDE ESCURA	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.A.	1,48	0,97	0,90	3,84
VERDE ESCURA	HCO_3^-	V.F.	7,61	0,29	0,88	4,68
VERDE ESCURA	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.F.	5,15	0,40	0,92	2,90
BOFE	HCO_3^-	V.A.	0,59	0,94	0,96	0,79
BOFE	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.A.	0,25	1,21	0,98	0,40
BOFE	HCO_3^-	V.F.	9,87	0,27	0,95	1,18
BOFE	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.F.	7,77	0,35	0,96	0,95

TABELA 16 - CORRELAÇÕES EXPONENCIAIS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS TEORES DE CARBONATOS, BICARBONATOS E CARBONATOS MAIS BICARBONATOS COM AS VISCOSIDADES APARENTE E PLÁSTICA E VOLUME DO FILTRADO DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE BOA VISTA/PARAÍBA, SUBMETIDAS AO SEGUNDO PROCESSO.

AMOSTRA	X	Y	A	B	R	α (%)
VERMELHA	CO_3^{2-}	V.A.	34,12	-0,14	-0,95	1,27
VERDE ESCURA	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.A.	12,55	0,04	0,88	4,90
VERDE ESCURA	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.F.	12,43	0,02	0,84	4,14
BOFE	HCO_3^-	V.A.	3,90	0,05	0,95	1,27
BOFE	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.A.	2,97	0,06	0,97	0,61
BOFE	HCO_3^-	V.F.	17,11	0,01	0,94	1,71
BOFE	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	V.F.	15,80	0,02	0,95	1,25

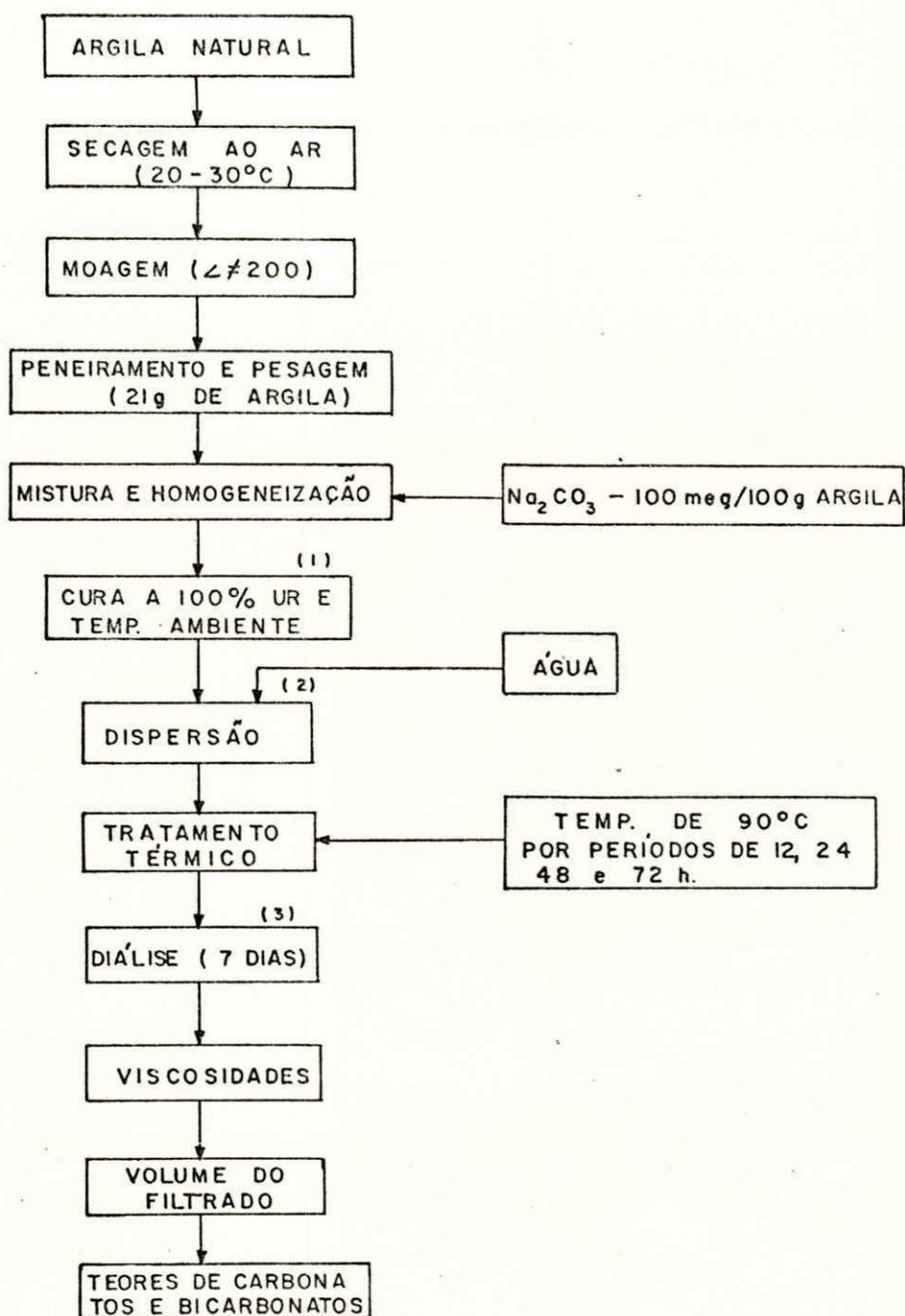


FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO SEGUIDO DE DIAÁLISE DE DISPERSÕES DE ESMECTITAS SÓDICAS OBTIDAS EM LABORATÓRIO.

OBS :

- (1) - O TRATAMENTO DE CURA À 100% DE UMIDADE RELATIVA E TEMPERATURA AMBIENTE É FEITA EM CÂMADA ÚMIDA POR UM PERÍODO DE 24 h.
- (2) - AS DISPERSÕES SÃO PREPARADAS EM CONCENTRAÇÕES DE 6% OU SEJA, 21g DE ARGILA/350 ml DE ÁGUA DESTILADA, AGITADAS POR 20 min E DEIXADAS EM REPOUSO POR 24 h.

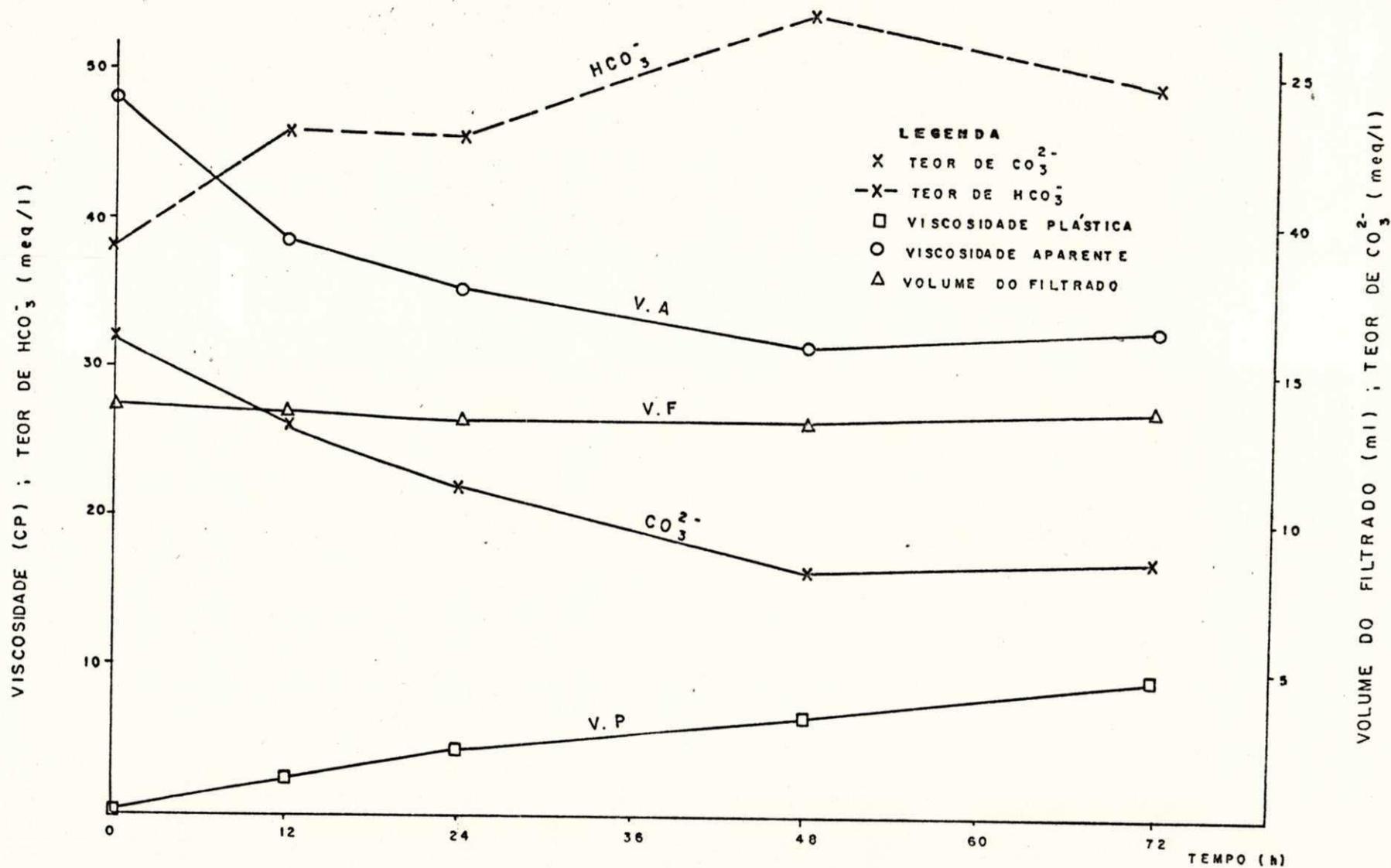


FIGURA 4 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE ARGILA ESMECTITA DE COR VERMELHA, TRATADA TERMICAMENTE À 40°C.

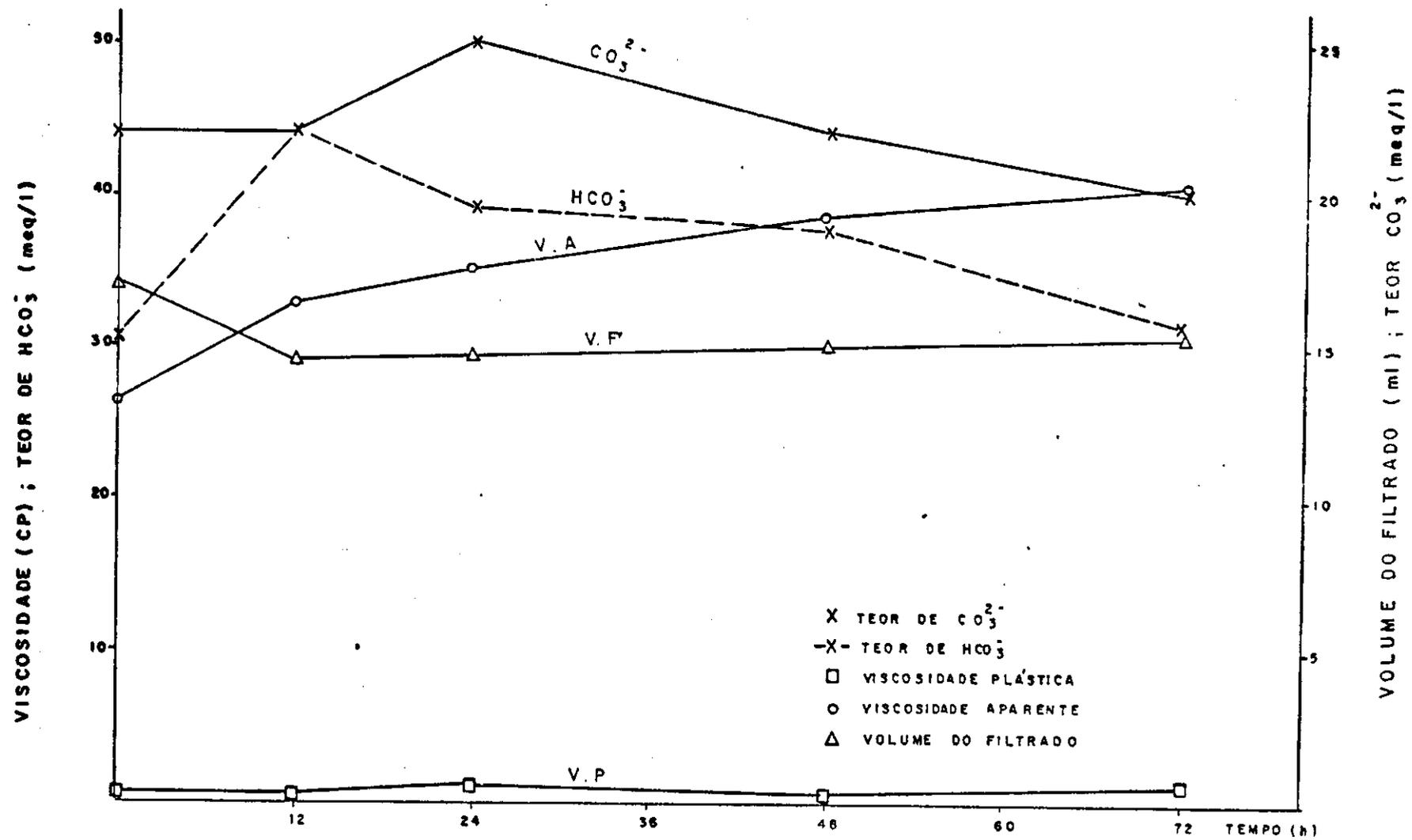


FIGURA 5 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE ARGILA ESMECTITA DE COR VERDE-ESCURA, TRATADA TERMICAMENTE A 40°C

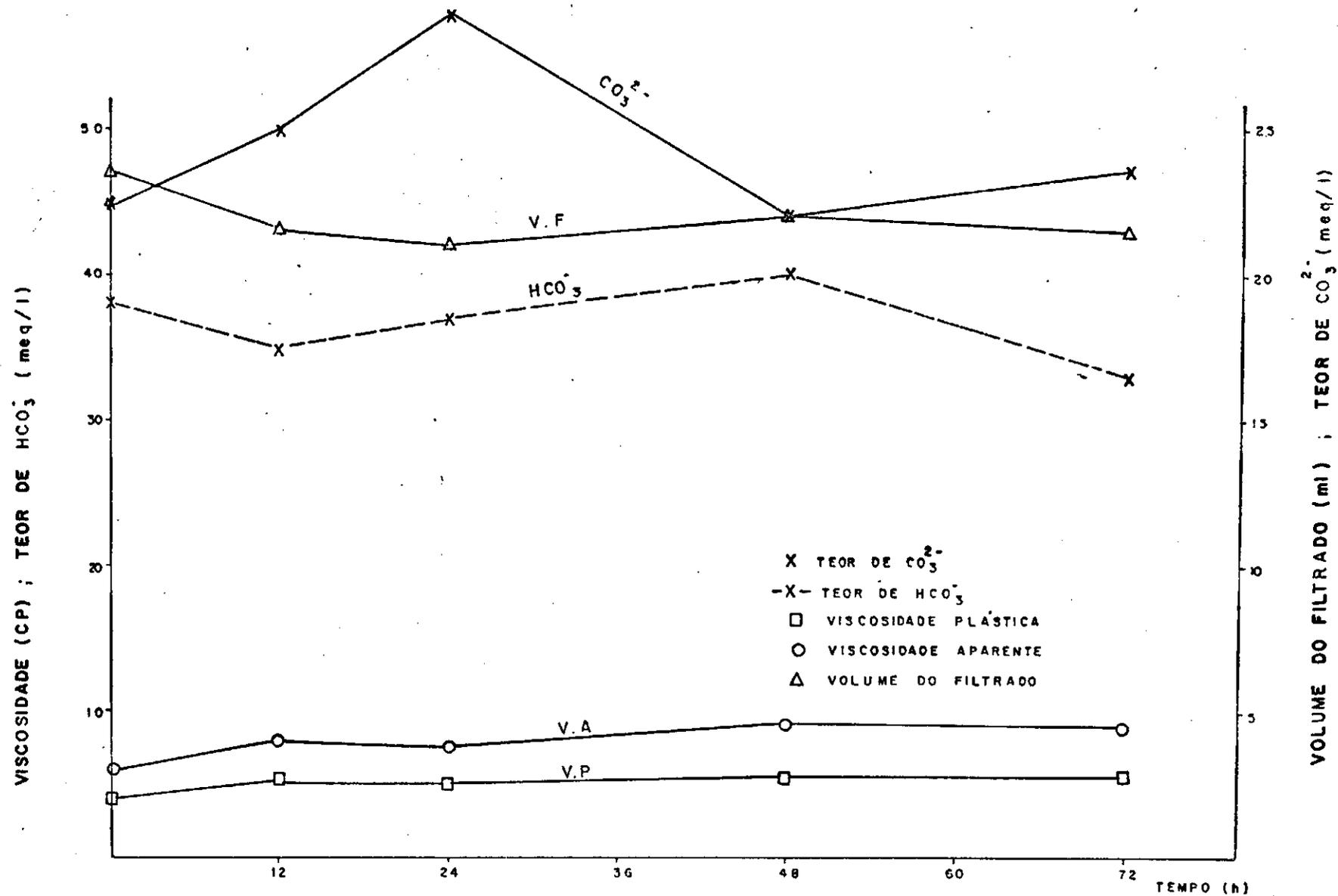


FIGURA 6 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE ARGILA ESMECTITA DO TIPO BOFE, TRATADA TERMICAMENTE A 40°C.

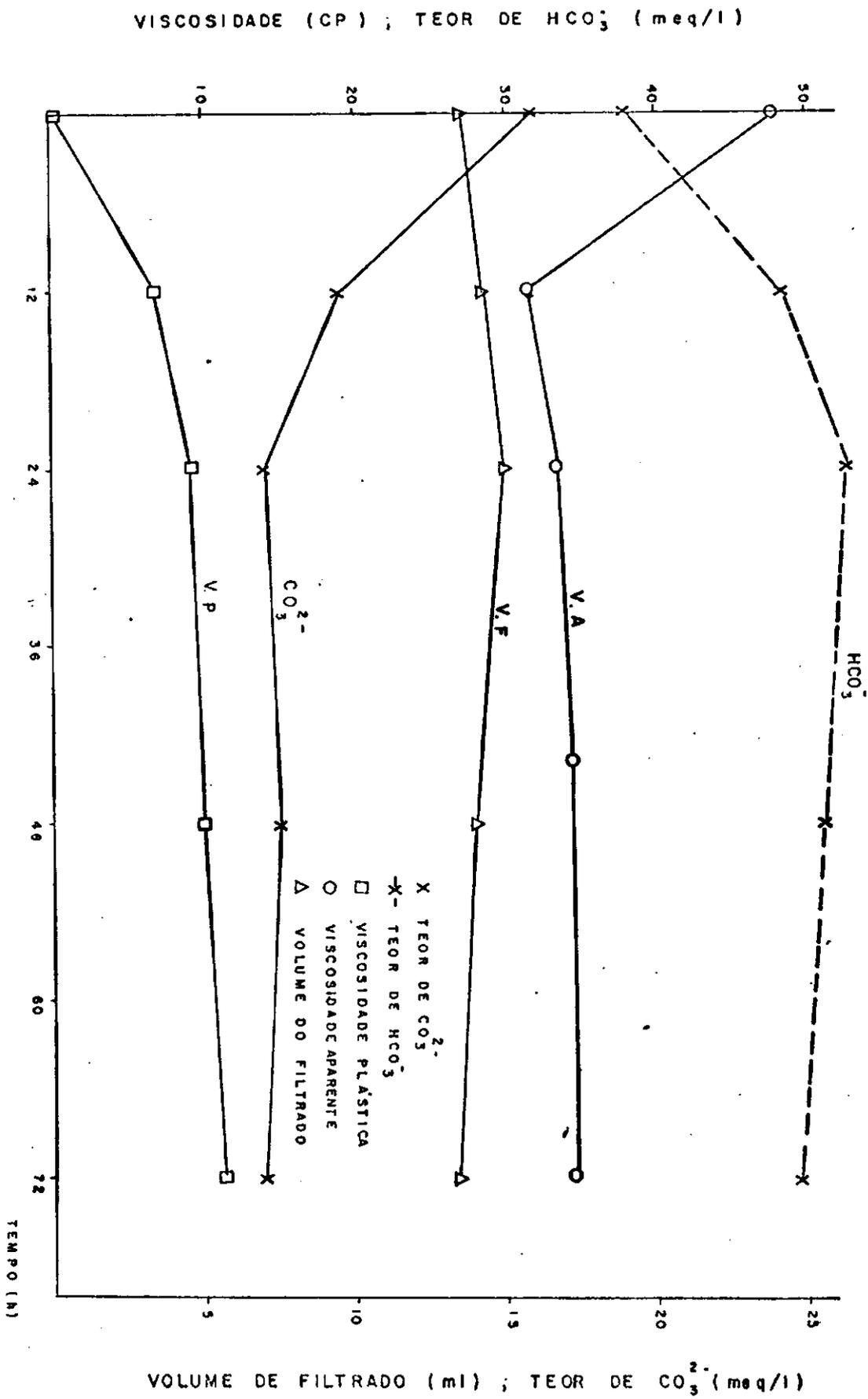


FIGURA 7 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE ARGILA ESMECTITA DE COR VERMELHA, TRATADA TERMICAMENTE A 50°C.

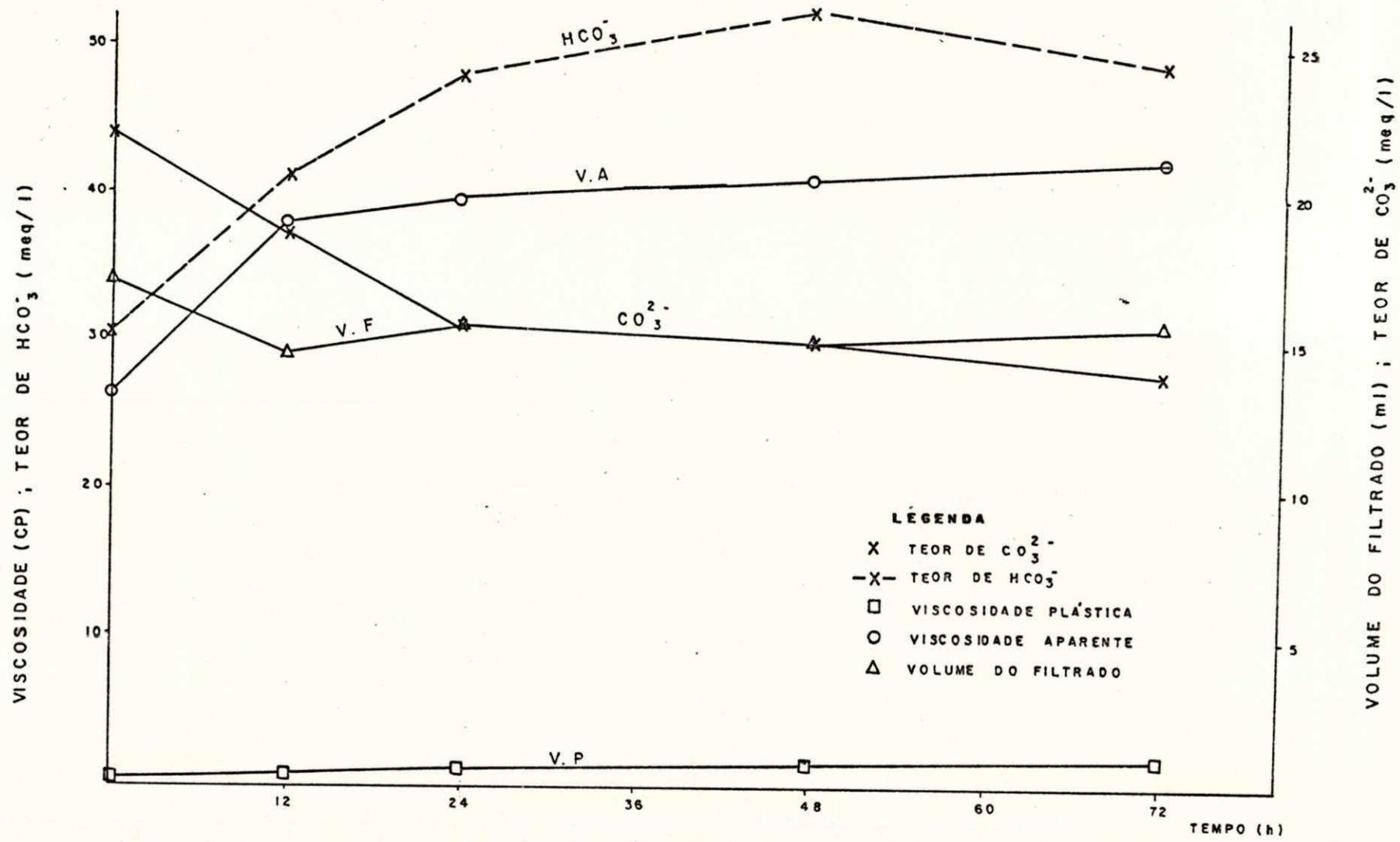


FIGURA 8 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE ARGILA ESMECTITA DE COR VERDE-ESCURA, TRATADA TERMICAMENTE À 50°C

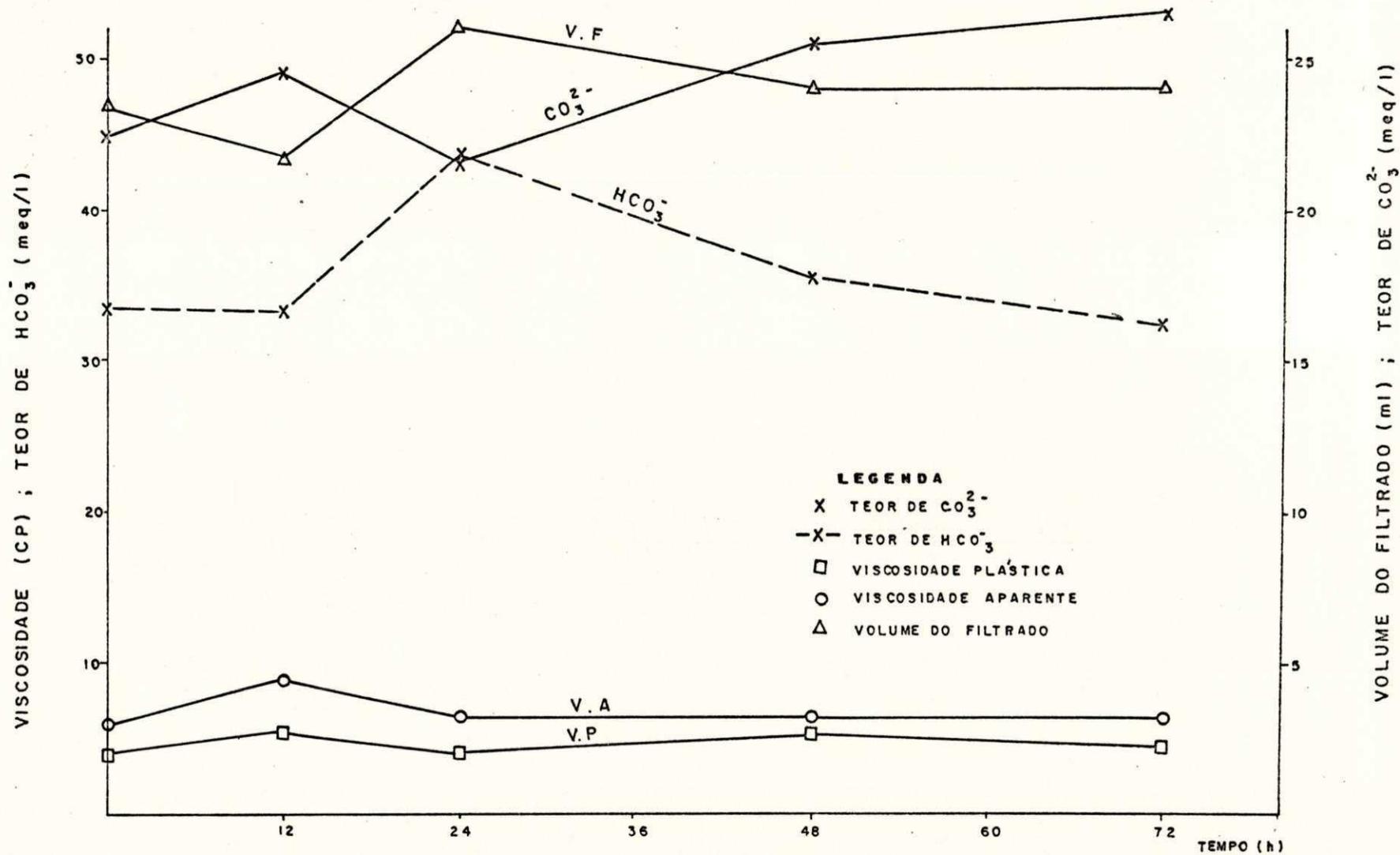


FIGURA 9 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE ARGILA ESMECTITA DO TIPO BOFE, TRATADA TERMICAMENTE À 50°C.

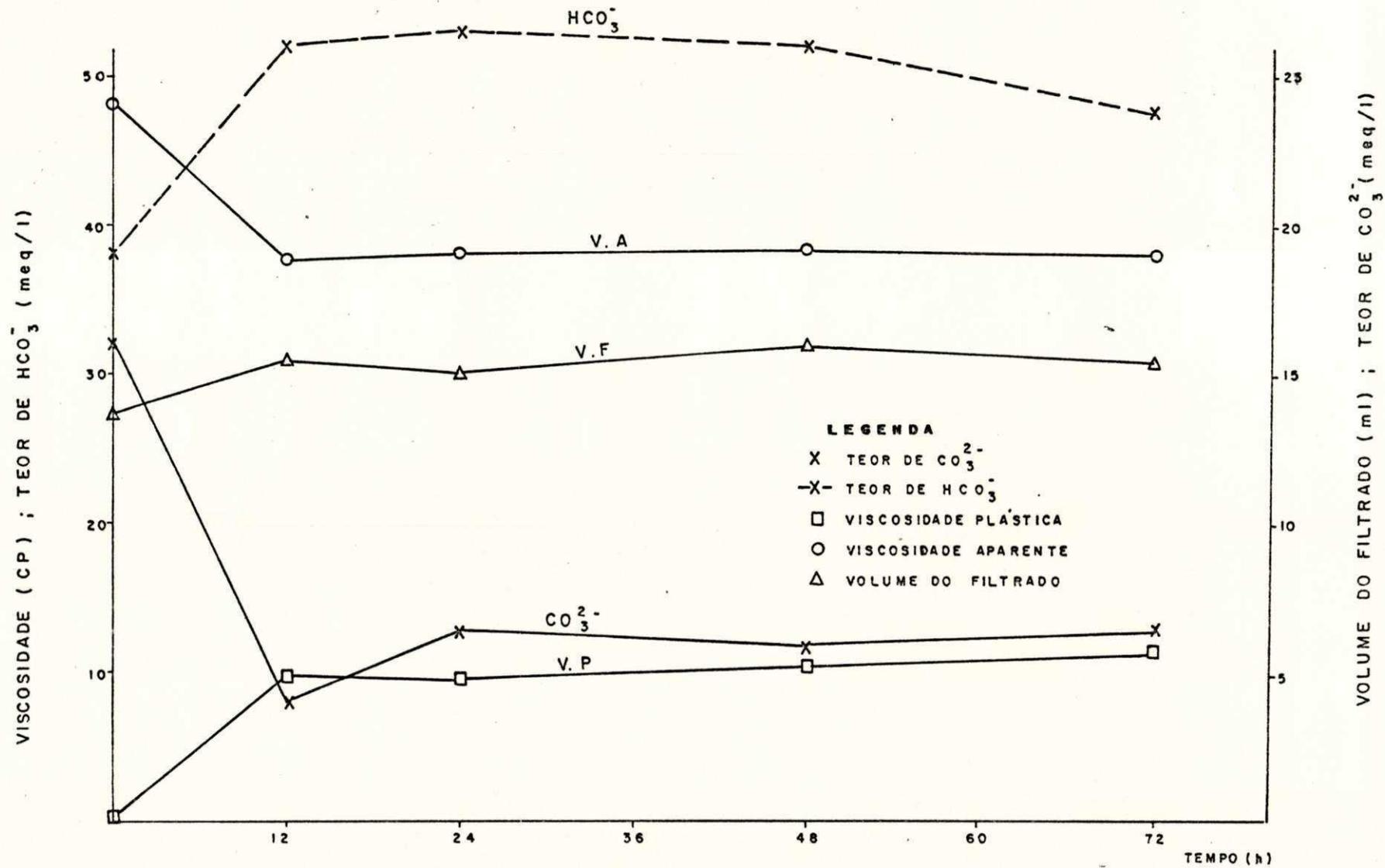


FIGURA 10 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TEORES DE CARBONÁTO E BICARBONATO DE ARGILA ESMECTITA DE COR VERMELHA, TRATADA TERMICAMENTE À 70°C.

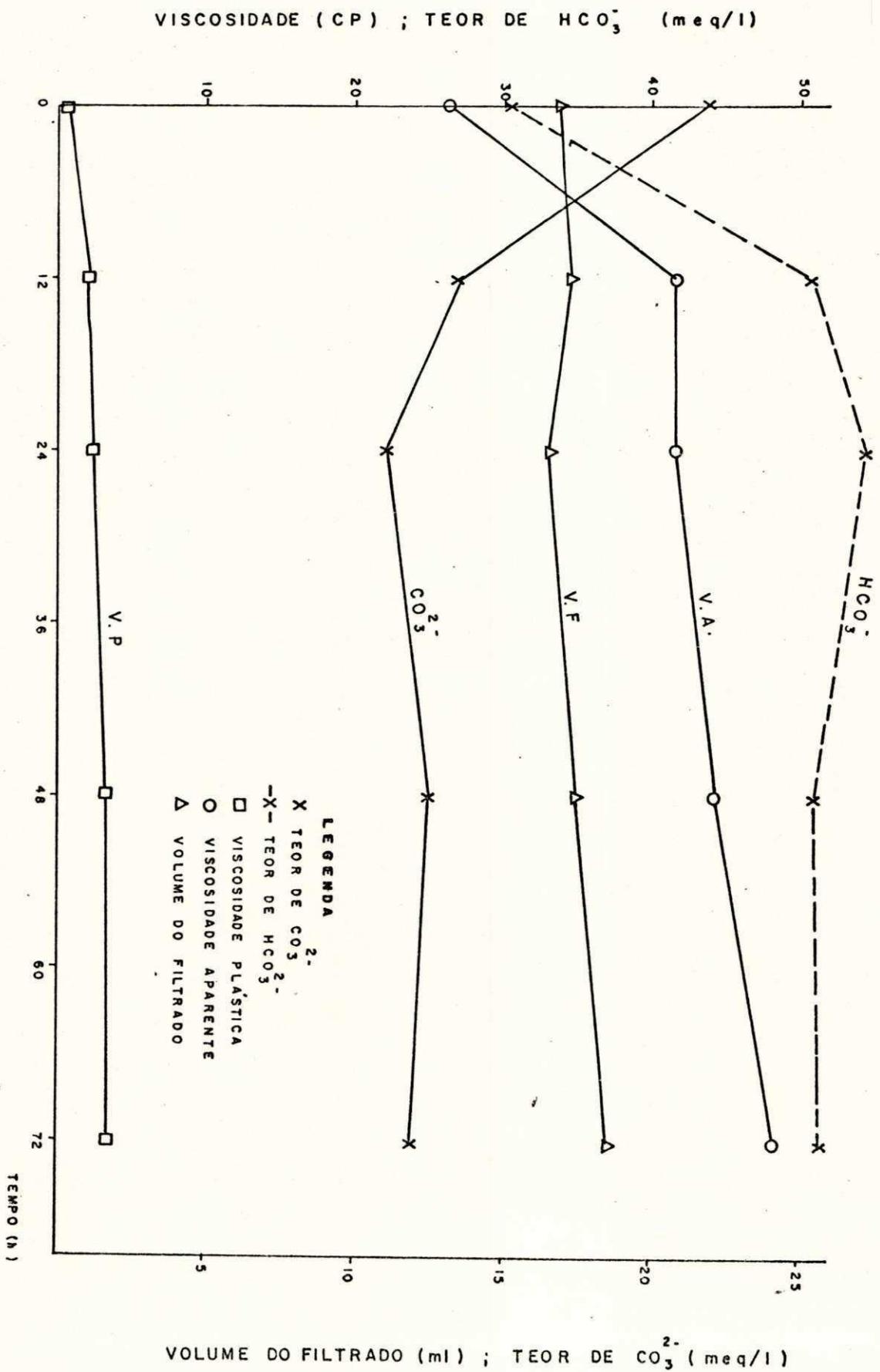


FIGURA II - PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE ARGILA ESMECTITA DE COR VERDE-ESCURA, TRATADA TERMICAMENTE À 70° C.

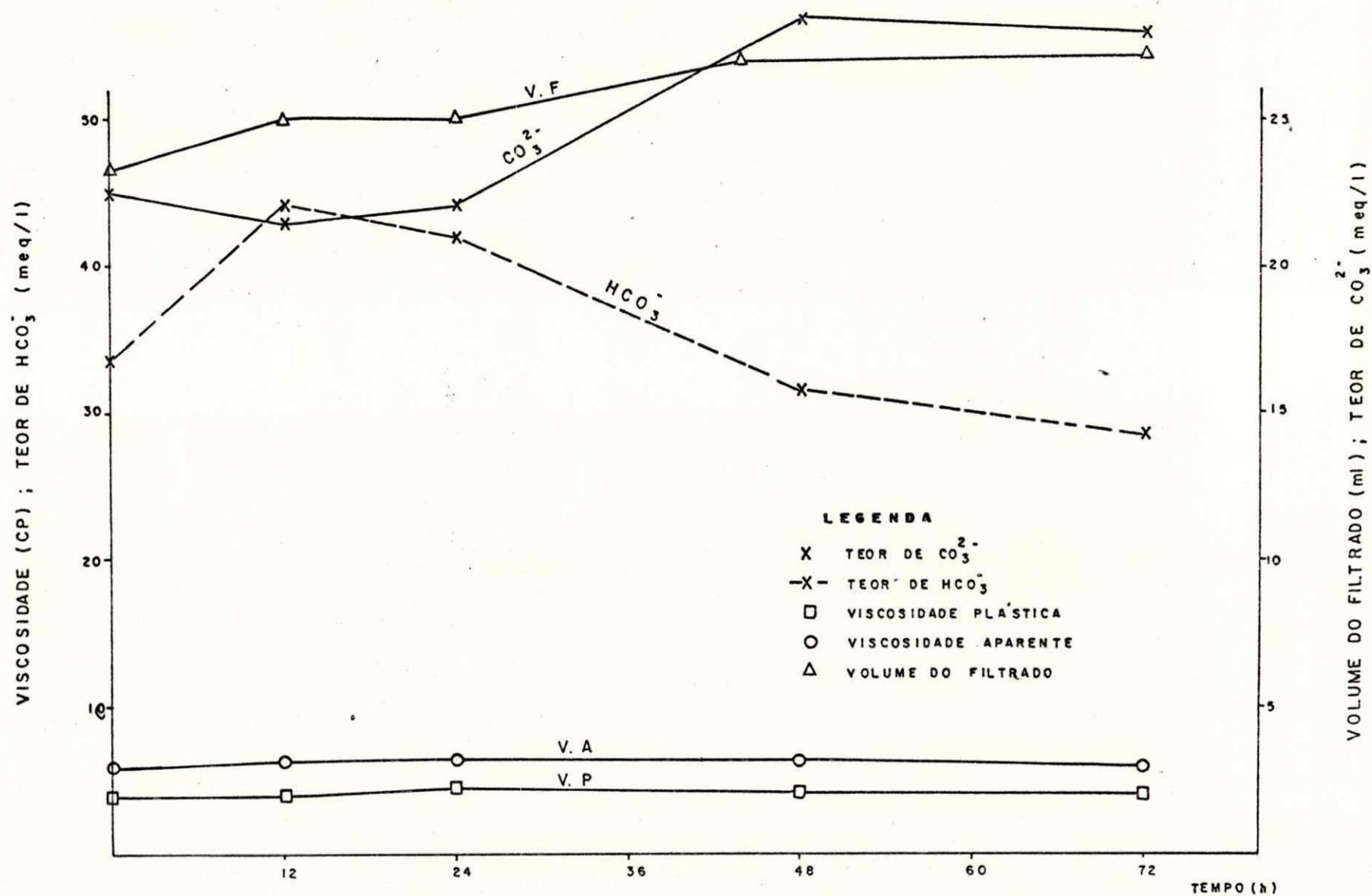


FIGURA 12 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE ARGILA ESMECTITA DO TIPO BOFE, TRATADA TERMICAMENTE A 70°C.

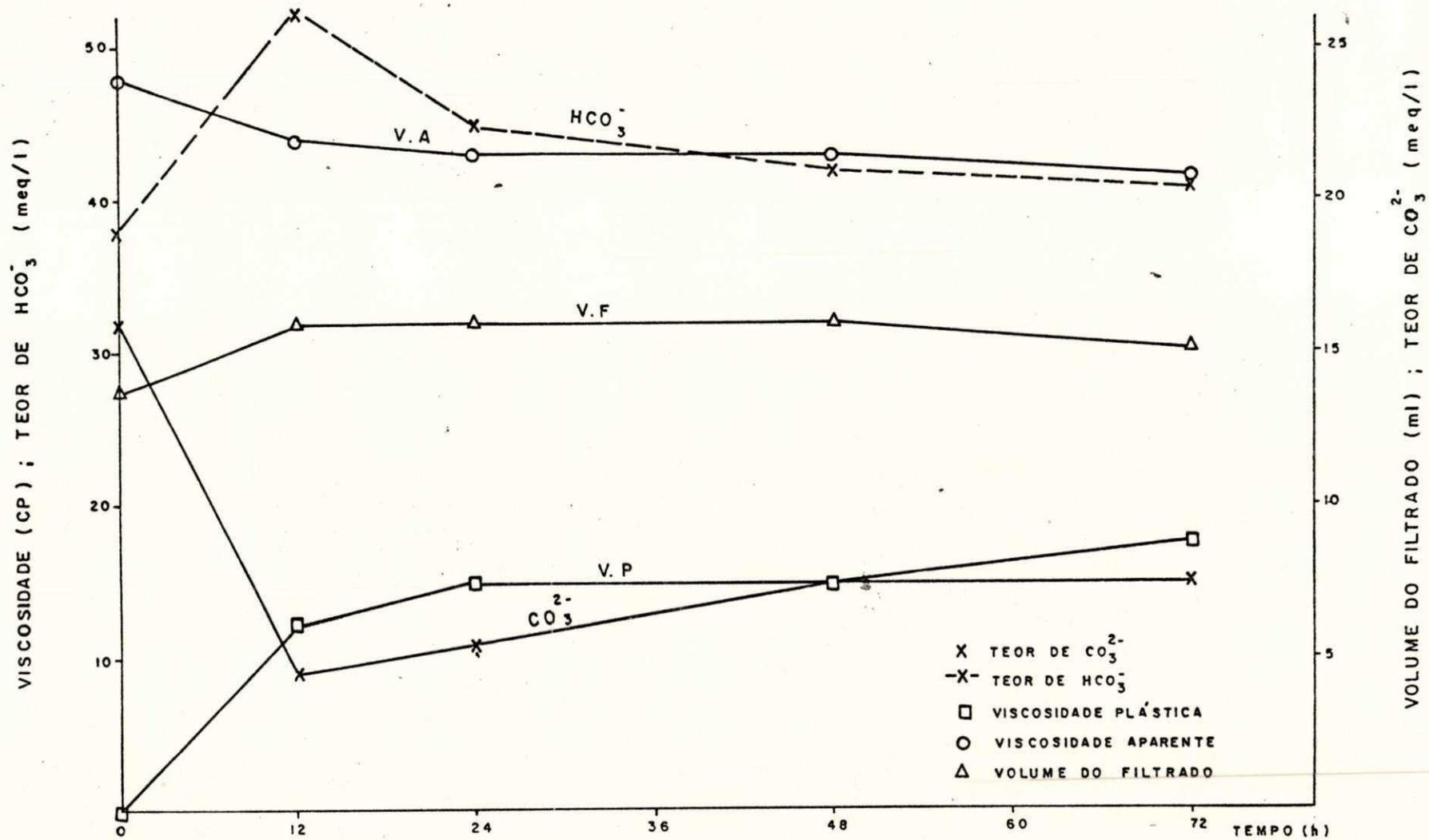


FIGURA 13- PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE ARGILA ESMECTITA DE COR VERMELHA, TRATADAS TERMICAMENTE A 90°C.

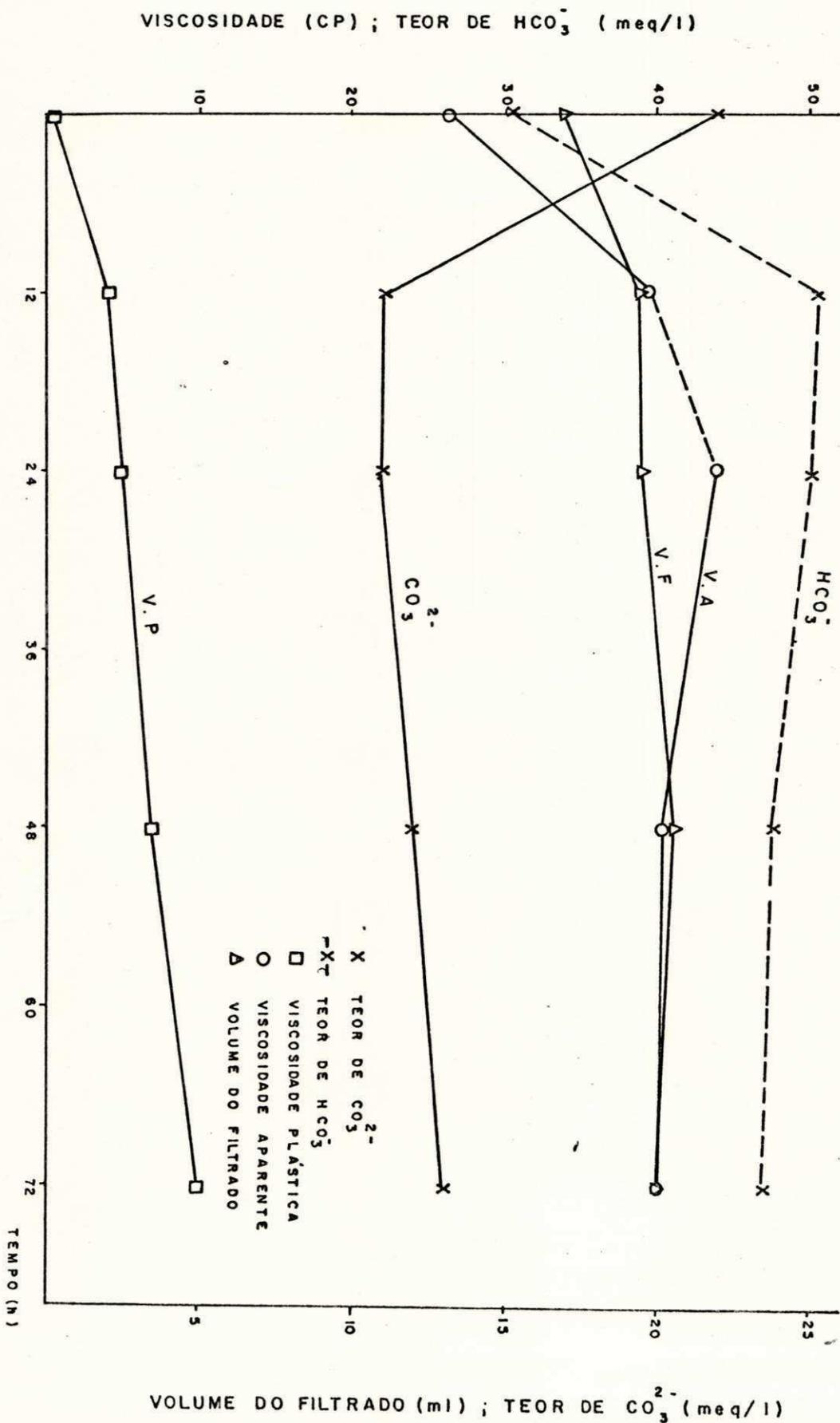


FIGURA 14 — PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE ARGILA ESMECTITA DE COR VERDE-ESCURA, TRATADA TERMICAMENTE A 90°C.

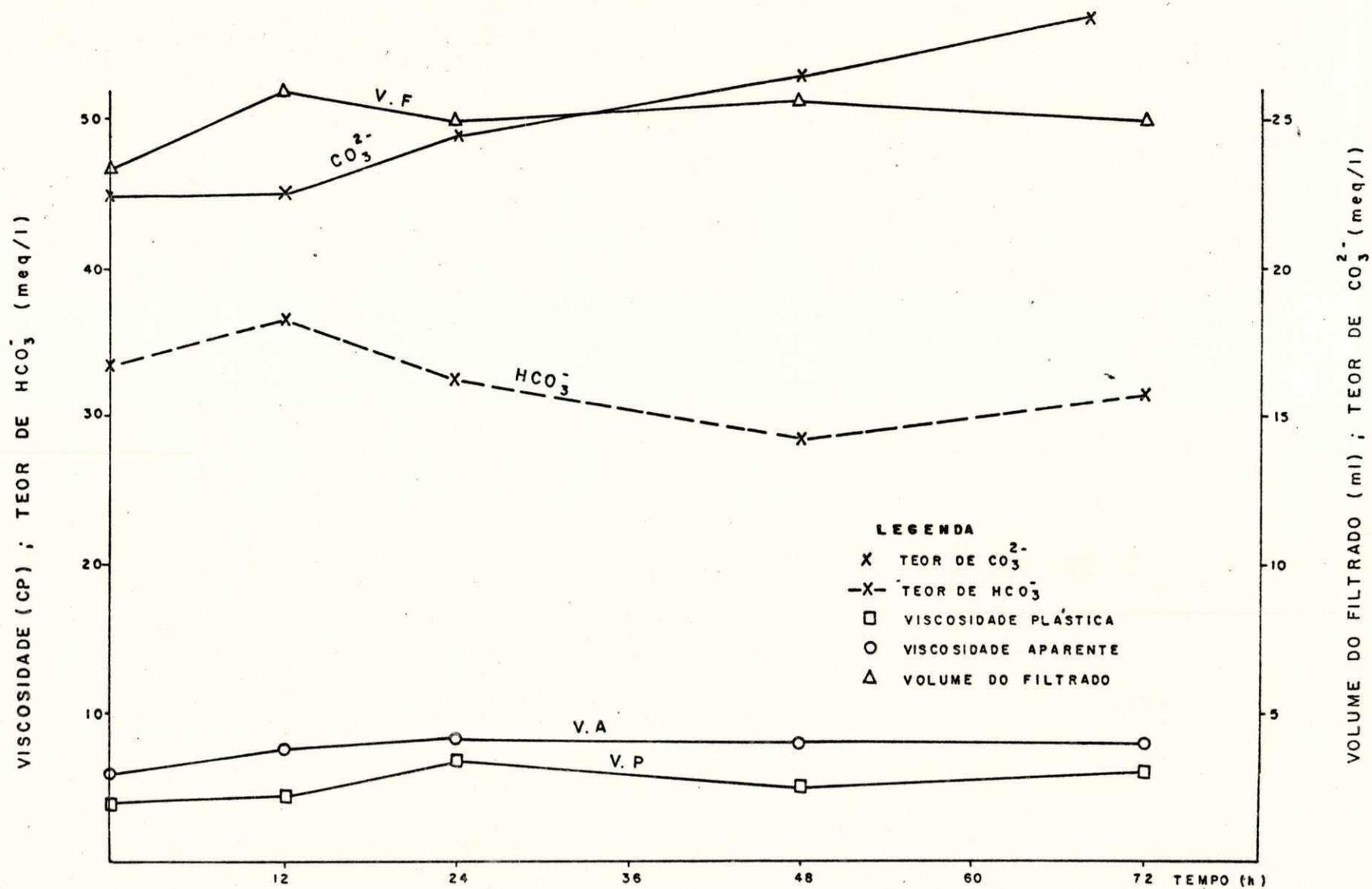


FIGURA 15 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE ARGILA ESMECTITA DO TIPO BOFE, TRATADA TERMICAMENTE A 90°C

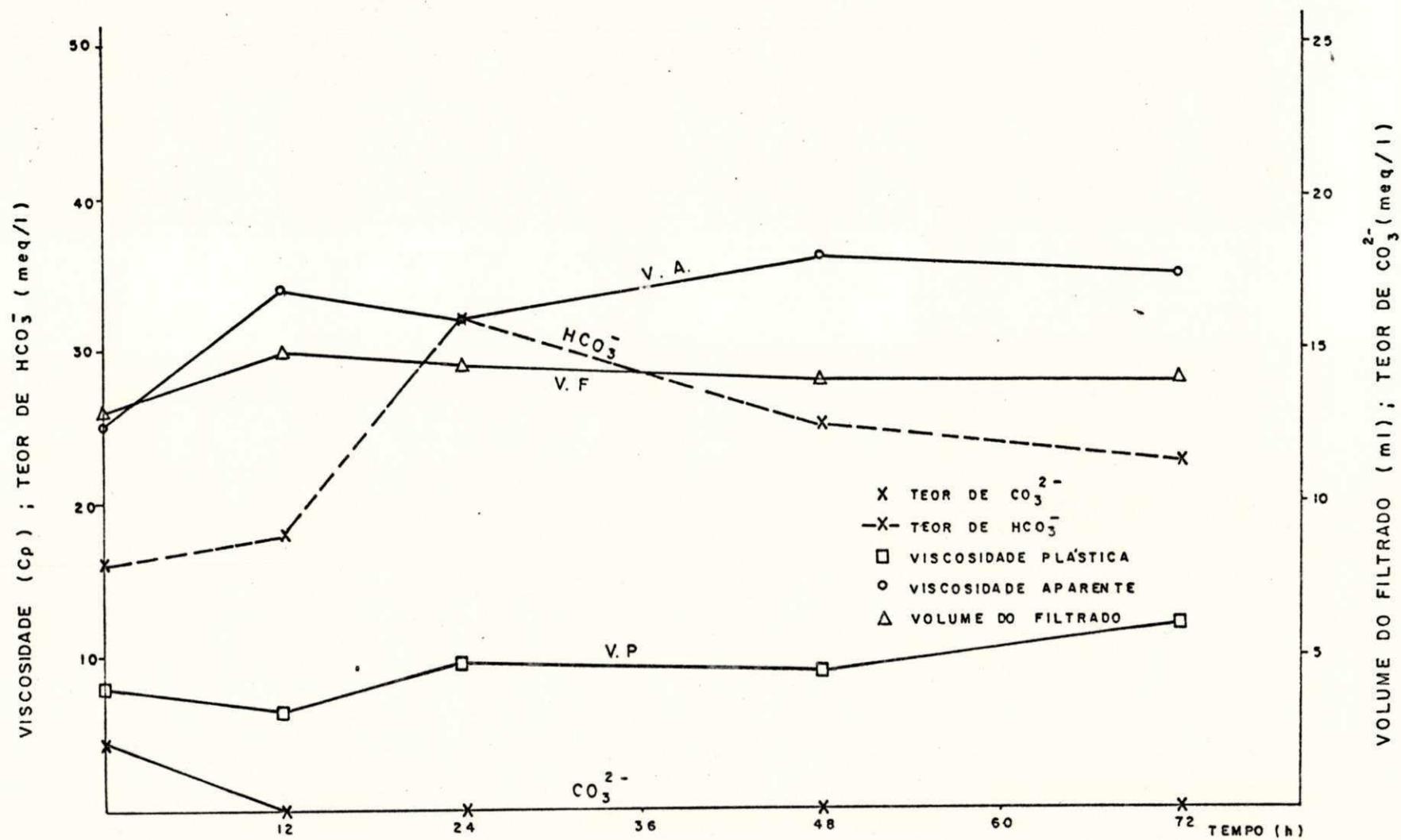


FIGURA 16 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE ARGILA ESMECTITA DE COR VERMELHA, APÓS DIÁLISE E TRATAMENTO TÉRMICO DE 90°C.

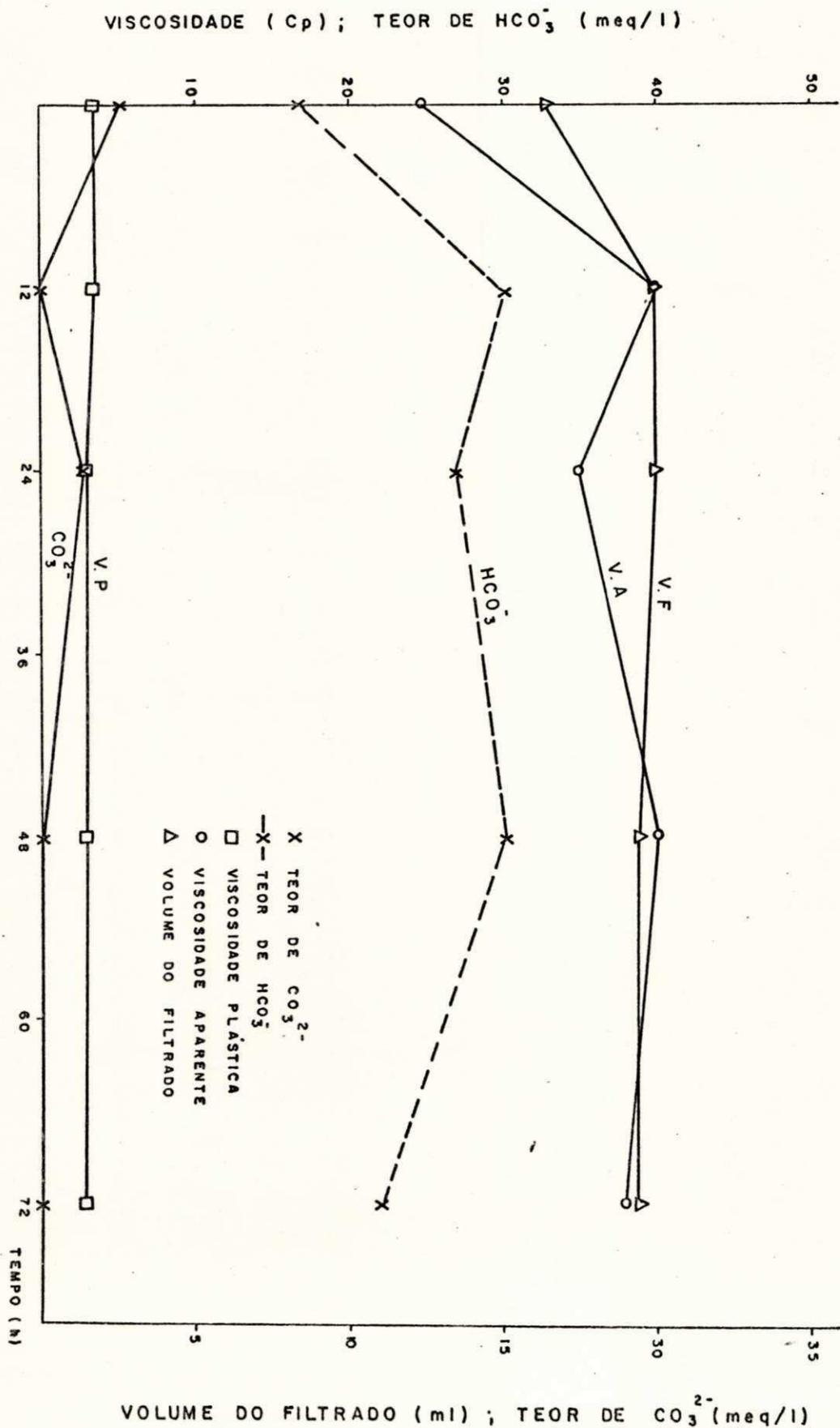


FIGURA 17 -- PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATO DE ARGILA ESMEC. TITA DE COR VERDE-ESCURA, APÓS DIÁLISE E TRATAMENTO TÉRMICO DE 90° C.

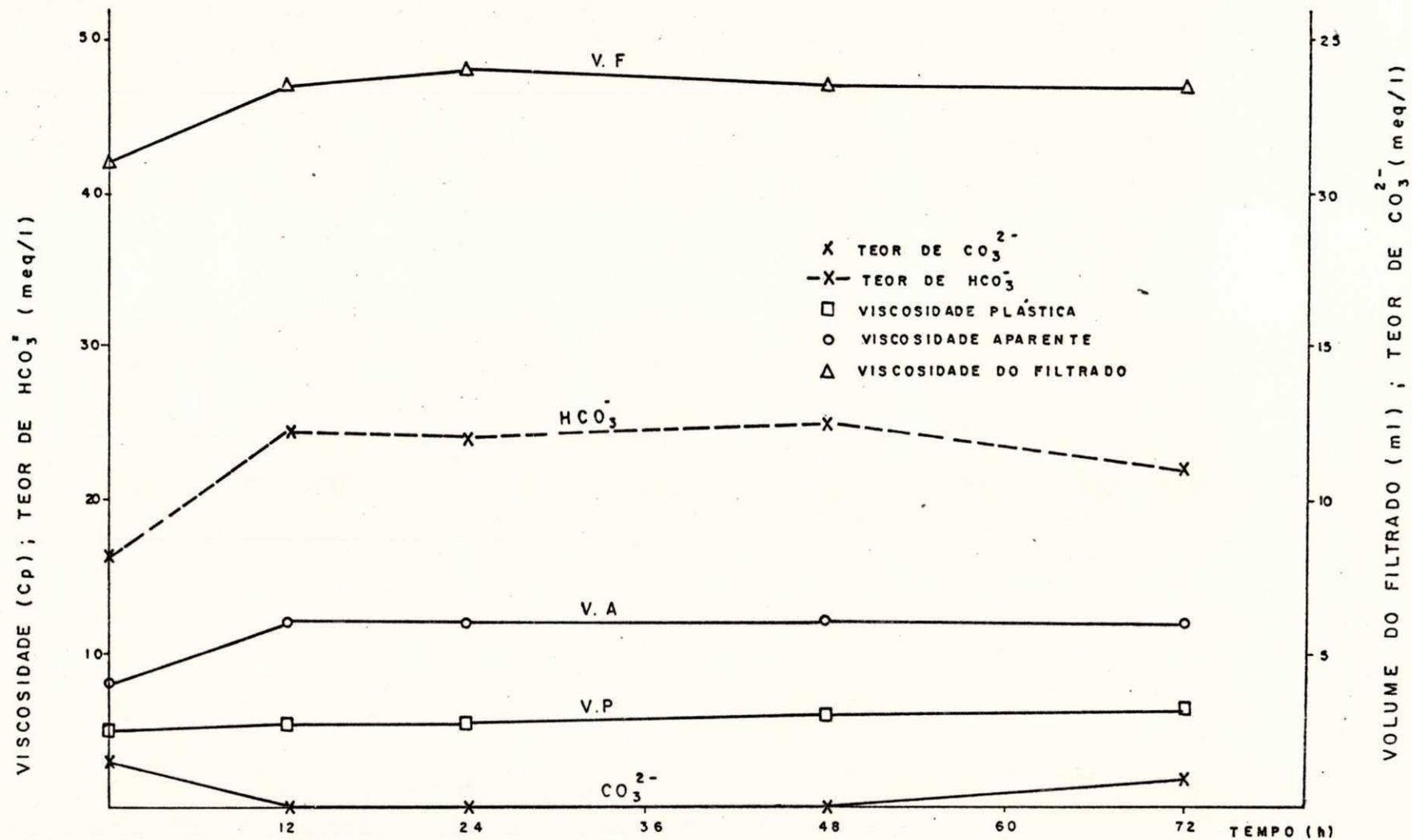


FIGURA 18 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE ARGILA ESMECTITA DE TIPO BOFÊ, APÓS DIÁLISE E TRATAMENTO TÉRMICO DE 90°C.

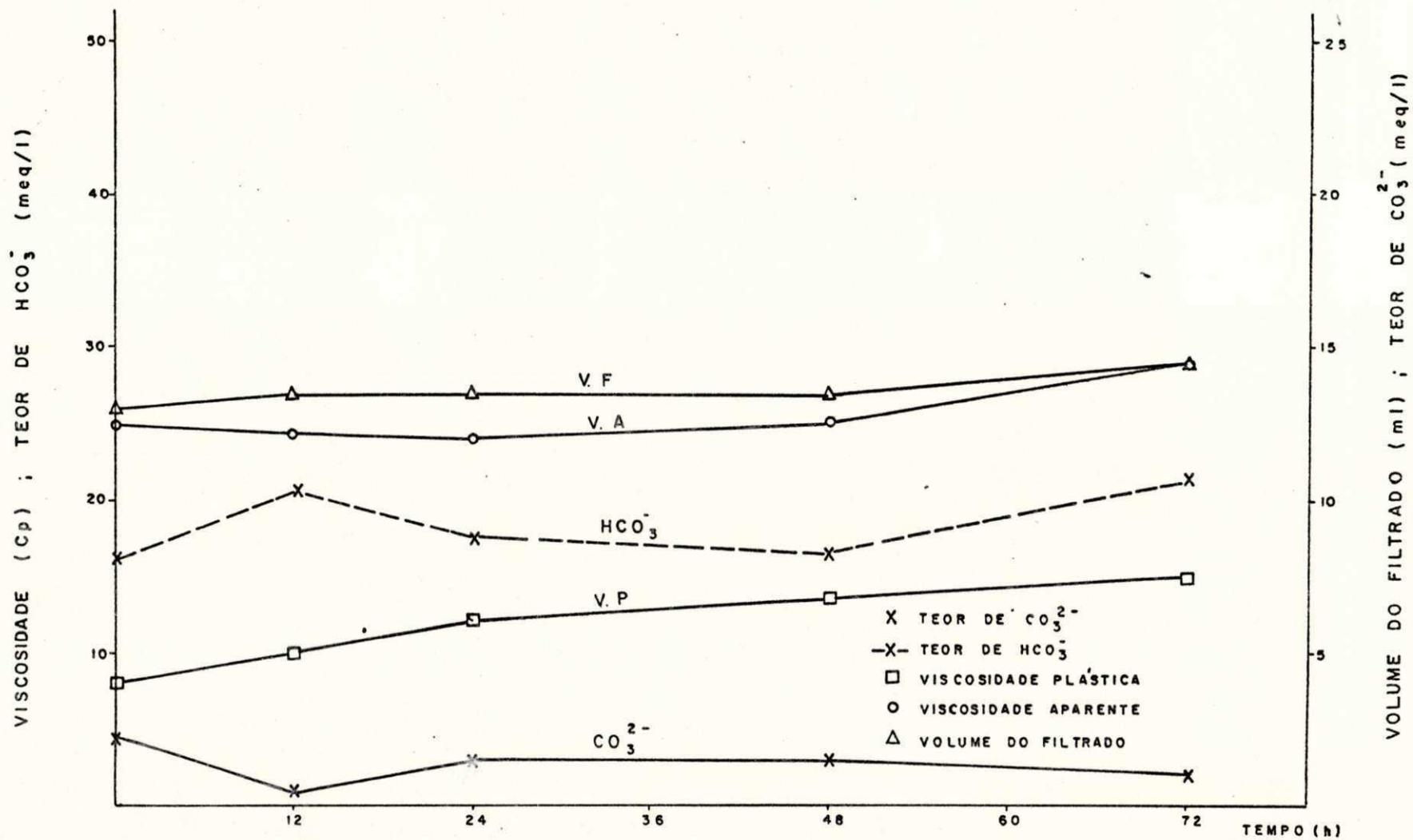


FIGURA 19 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE ARGILA ESMECTITA DE COR VERMELHA; APÓS TRATAMENTO TÉRMICO DE 90°C SEGUIDO DE DIÁLISE

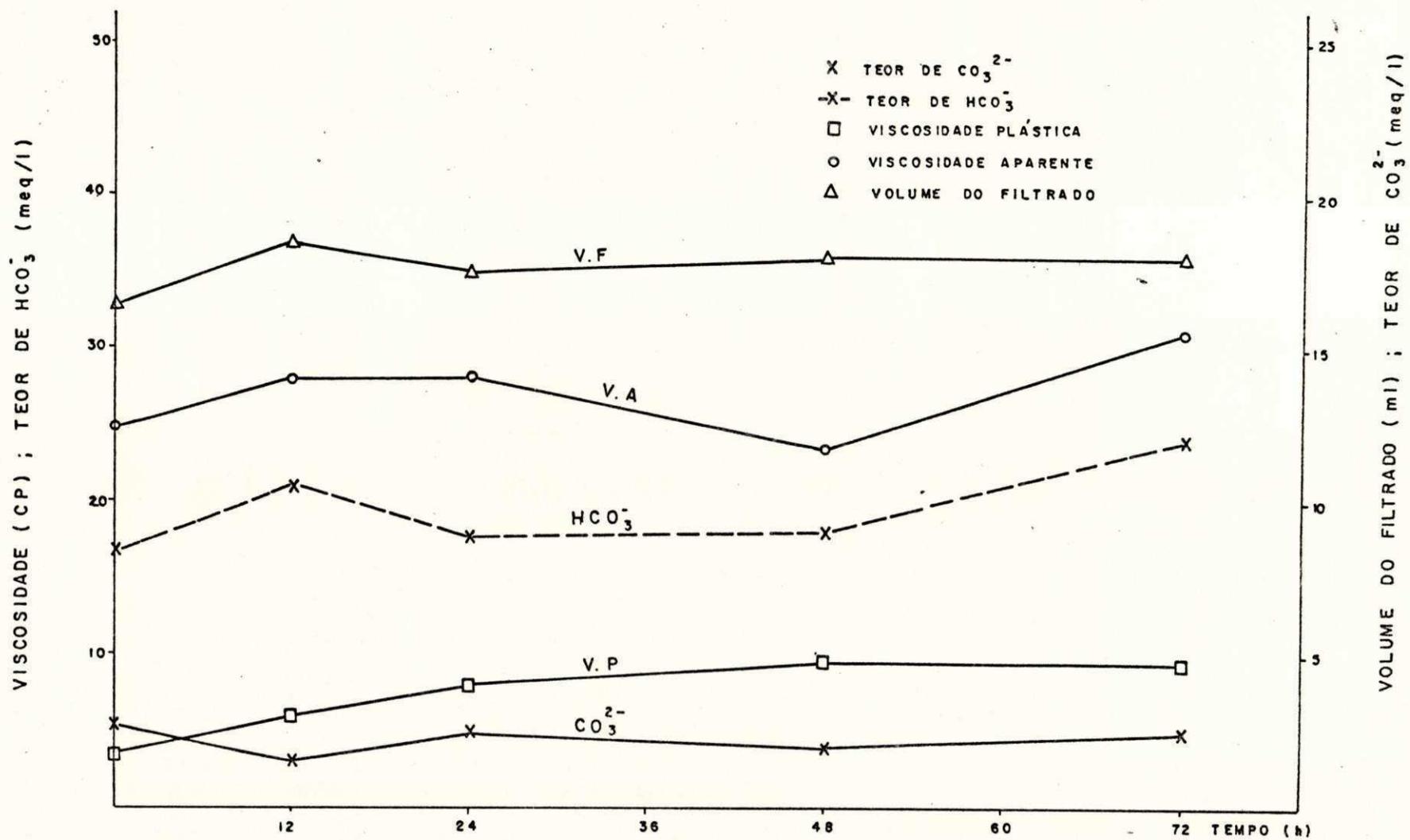


FIGURA 20 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE ARGILA ESMECTITA DE COR VERDE-ESCURA, APÓS TRATAMENTO TÉRMICO DE 90°C SEGUIDO DE DIALISE

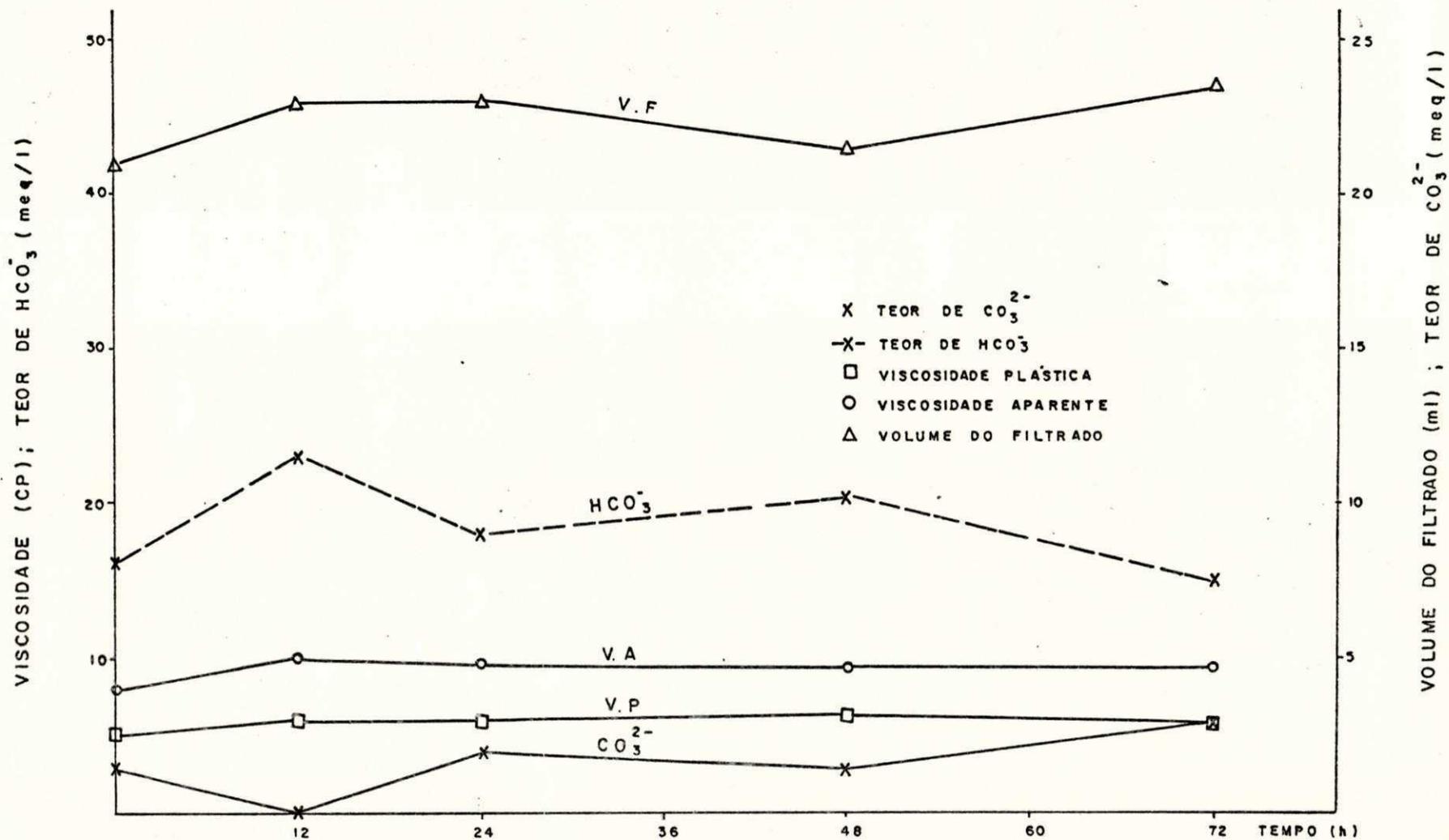


FIGURA 21 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS DE ARGILA ESMECTITA DO TIPO BOFE, APÓS TRATAMENTO TÉRMICO DE 90°C SEGUIDO DE DIÁLISE.