BIOGRAFIA DA AUTORA

ANA MARIA CORRÊA PENALBER, filha de Lourival Barata Penalber e Yoêda de Nazaré Corrêa Penalber, nasceu em Belém, Estado do Pará, em 5 de maio de 1943.

Fez o curso primário no Instituto Suiço Brasileiro, e os Cursos ginasial e científico no Colégio Estadual Paes de Carvalho, em Belém.

Em 1966, obteve o título de Químico Industrial, pela Escola Superior de Química da Universidade Federal do Pará.

Em maio de 1972, foi contratada, para o cargo Técnico, pelo Instituto do Desenvolvimento Econômico Social do Pará (IDESP), onde exerce suas atividades profissionais.

Em 1979, iniciou o curso de Mestrado em Ciência Florestal, na Universidade Federal de Viçosa. Em julho de 1983, concluiu os requisitos necessários para obtenção do grau de "Magister Scientiae".

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
EXTRATO	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Processo Sulfito Neutro	3
2.2. Efeitos dos Compostos Quinona na Polpação de madeira	8
2.2.1. Polpação com Antraquinona	8
2.2.2. Polpação com outros Compostos Quinona	16
2.2.3. Polpação NSSC (Sulfito Neutro) com aditivos Quinona	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. Dimensões de Fibras e suas Inter-relações...	25
3.2. Análise Química da Madeira	26
3.3. Densidade Básica	27
3.4. Polpação da Madeira	27
3.5. Análise Estatística	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. Dimensões das Fibras de E. grandis e suas inter-relações	31

Página

4.2. Densidade Básica da Madeira 33
4.3. Análise Química do E. grandis 33
4.4. Polpação Sulfito Neutro 35
4.4.1. Características das Polpas Sulfito Neutro 36
4.4.2. pH do Licor Residual 36
4.4.3. Propriedades de Resistências das Polpas Sulfito Neutro 39
4.4.3.1. Resistência à Tração 41
4.4.3.2. Resistência ao Rasgo 41
4.4.3.3. Resistência ao arrebentamento 46
4.4.3.4. Alongamento 46
4.4.3.5. Densidade Aparente 49
4.4.3.6. Volume Específico 49
4.5. Polpação Sulfito Neutro com Adição de Antraquinona 56
4.5.1. Deslignificação 57
4.5.2. Rendimento 59
4.5.3. pH do Licor Residual 59
4.5.4. Propriedades Físico-Mecânicas das polpas Sulfito Neutro-AQ 59
4.5.4.1. Resistência à Tração 61
4.5.4.2. Resistência ao Rasgo 64
4.5.4.3. Resistência ao Arrebentamento 68
4.5.4.4. Alongamento 73
4.5.4.5. Densidade Aparente 73
4.5.4.6. Volume Específico 73
5. RESUMO E CONCLUSÃO 87
6. LITERATURA CITADA 89
7. APÊNDICE 92

LISTA DE QUADROS

QUADRO		PÁGINA
1	Dimensões das fibras de E. grandis	32
2	Relações entre as dimensões das fibras	32
3	Análise Química do E. grandis	34
4	Resultados da Polpação Sulfito Neutro de Eucaliptus grandis	37
5	Equações Matemáticas do Rendimento e do Número kappa das Polpas Sulfito Neutro de E. grandis ..	39
6	Equações Matemáticas das Propriedades de Resistências das Polpas Sulfito Neutro de E. grandis.	40
7	Resultados da Polpação Sulfito Neutro de Eucaliptus grandis com Adição de Diferentes Níveis de Antraquinona	56
8	Equações Matemáticas do Rendimento e do Número Kappa das Polpas NSSC-AQ de E. grandis	57
9	Equações Matemáticas das Propriedades de Resistências das Polpas NSSC-AQ de E. grandis	61
10	Valores Médios do Índice de Rasgo, nos tempos de Refino de 0 a 100 minutos, das Polpas Sulfito Neutro obtidas com Adição de Antraquinona...	67

LISTA DAS FIGURAS

FIGURA		Página
1	Fórmula Estrutural da Antraquinona	9
2	Mecanismos de Reação da Antraquinona	11
3	Dianion e Radical Aniônico de Antraidroquinona	12
4	Fórmula estrutural da Tetraidroantraquinona (THA)	16
5	Fórmula Estrutural do Diidrodiidroxiantraceno (DDA)	19
6	Fórmula Estrutural do 10 Metil Antrona	21
7	Fórmula Estrutural da Antrona	22
8	Funções dos Compostos Quinona	24
9	Efeito Estimado do Sulfito de Sódio no Rendimento dos Cozimentos NSSC	38
10	Efeito Estimado do Sulfito de Sódio no número kappa das Polpas NSSC	38
11	Efeito Estimado do Grau de Refino no Comprimento de Auto-Ruptura das Polpas NSSC obtidas com 8, 10, 12 e 14% de Sulfito de Sódio	42
12	Efeito Estimado do Grau de Refino no Comprimento de Auto-Ruptura das Polpas NSSC obtidas com 16, 18, 20 e 22% de Sulfito de Sódio	43

FIGURA		Página
13	Efeito Estimado do Grau de Refino no Índice de rasgo das Polpas NSSC obtidas com 8, 10, 12 e 14% de Sulfito de Sódio	44
14	Efeito Estimado do Grau de Refino no Índice de Rasgo das Polpas NSSC obtidas com 16, 18, 20 e 22% de Sulfito de Sódio	45
15	Efeito Estimado do Grau de Refino no Índice de Arrebentamento das Polpas NSSC obtidas com 8, 10, 12 e 14% de Sulfito de Sódio	47
16	Efeito Estimado do Grau de Refino no índice de Arrebentamento das polpas NSSC obtidas com 16, 18, 20 e 22% de sulfito de sódio.....	48
17	Efeito Estimado do Grau de Refino no Alongamento das Polpas NSSC obtidas com 8, 10, 12 e 14% de Sulfito de Sódio	50
18	Efeito Estimado do Grau de Refino no Alongamento das Polpas NSSC Obtidas com 16, 18, 20 e 22% de Sulfito de Sódio	51
19	Efeito Estimado do Grau de Refino na Densidade Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 8, 10,12 e 14% de Sulfito de Sódio	52
20	Efeito Estimado do Grau de Refino na Densidade Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 16, 18, 20 e 22% de Sulfito de Sódio	53
21	Efeito Estimado do Grau de Refino no Volume Específico Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 8, 10, 12 e 14% de sulfito de sódio	54
22	Esfeito Estimado do Grau de Refino no Volume Específico aparente das Polpas NSSC Obtidas com 16, 18, 20 e 22% de Sulfito de Sódio	55

FIGURA Página

23 Efeito Estimado do Sulfito de Sódio no Número kappa, das Polpas NSSC com Adição de diferentes níveis de Antraquinona 58

24 Efeito Estimado da Antraquinona no Número kappa, em Função do Nível de Sulfito de Sódio, das Polpas NSSC 58

25 Efeito Estimado do Sulfito de Sódio no Rendimento, em Cozimentos NSSC, com Adição de Diferentes Níveis de Antraquinona 60

26 Efeito Estimado da Antraquinona no Rendimento, em Função do Nível de Sulfito de Sódio, no Processo NSSC..... 60

27 Efeito Estimado do Grau de Refino no Compri - mento de Auto-Ruptura das Polpas NSSC Obtidas com 9% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona 62

28 Efeito Estimado do Grau de Refino no Compri - mento de Auto-Ruptura das Polpas NSSC Obtidas com 13% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona 63

29 Efeito Estimado do Grau de Refino no Compri - mento de Auto-Ruptura das Polpas NSSC Obtidas com 17% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona 65

30 Efeito Estimado do Grau de Refino no Compri - mento de Auto-Ruptura das Polpas NSSC Obtidas com 21% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona 66

FIGURA Página

31 Efeito Estimado do Grau de Refino no Índice de Arrebentamento das Polpas NSSC Obtidas com 9% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona 69

32 Efeito Estimado do Grau de Refino no Índice de Arrebentamento das Polpas NSSC Obtidas com 13% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona 70

33 Efeito Estimado do Grau de Refino no Índice de Arrebentamento das Polpas NSSC Obtidas com 17% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona 71

34 Efeito Estimado do Grau de Refino no Índice de Arrebentamento das Polpas NSSC Obtidas com 21% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona 72

35 Efeito Estimado do Grau de Refino no Alongamento das polpas NSSC Obtidas com 9% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona ,,... 74

36 Efeito Estimado do Grau de Refino no Alongamento das Polpas NSSC Obtidas com 13% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona.. 75

37 Efeito Estimado do Grau de Refino no Alongamento das Polpas NSSC Obtidas com 17% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona.. 76

38 Efeito Estimado do Grau de Refino no Alongamento das Polpas NSSC Obtidas com 21% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona.. 77

FIGURA Página

39 Efeito Estimado do Grau de Refino na Densidade Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 9% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona 78

40 Efeito Estimado do Grau de Refino na Densidade Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 13% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona 79

41 Efeito Estimado do Grau de Refino na Densidade Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 17% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona 80

42 Efeito Estimado do Grau de Refino na Densidade Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 21% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona 81

43 Efeito Estimado do Grau de Refino no Volume Específico aparente das Polpas NSSC Obtidas com 9% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona 82

44 Efeito Estimado do Grau de Refino no Volume Específico Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 13% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona 83

45 Efeito Estimado do Grau de Refino no Volume Específico Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 17% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona 84

FIGURA

Página

46 Efeito Estimado do Grau de Refino no Volume Específico Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 21% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona 85

EXTRATO

PENALBER, Ana Maria Corrêa, M.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 1983. Estudos tecnológicos da polpação sulfito neutro de Eucalipto com adição de antraquinona. Professor Orientador: José Lívio Gomide. Professores Conselheiros:Rubens Chaves de Oliveira e Benedito Rocha Vital.

A antraquinona foi estudada, com o objetivo de avaliar o seu potencial como aditivo na polpação sulfito neutro de E. grandis.

Foram determinadas as características anatômicas, químicas e a densidade da madeira.

O nível de sulfito de sódio que apresentou melhores resultados para produção de polpa para papelão corrugado, foi o de 13%, enquanto o nível de 21% de sulfito demonstrou ser o mais indicado para obtenção de polpa branqueável.

De modo geral, o eucalipto respondeu bem ao processo sulfito neutro, podendo suas polpas serem usadas tanto na produção de papelão corrugado, como na obtenção de outros tipos de papeis.

A antraquinona demonstrou ação benéfica na taxa de deslignificação e nas resistências das polpas, destacando-se o

nível de 0,5% de AQ. O uso da AQ, como aditivo na polpação NSSC, é viável, podendo o seu alto custo se constituir num fator limitante. Entretanto, essa desvantagem poderá ser, pelo menos parcialmente, compensada pela obtenção de polpas com melhor qualidade e melhores propriedades de resistências.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem sido incrementado, notàvelmente, a importância dos eucaliptos como matéria prima para a fabricação de celulose de fibra curta, devido à crescente demanda de recursos fibrosos pela indústria papeleira e a escassez dos mesmos.

As boas propriedades das polpas, especialmente no que se refere à produção de papéis para escrita e impressão, somado ao rápido crescimento das árvores e sua adaptabilidade a diferentes tipos de clima e solo, tem motivado o estudo de várias espécies de eucalipto em todo o mundo.

A viabilidade do Eucaliptus grandis para a obtenção de celulose é conhecida e comprovada. Essa espécie, juntamente com o Eucaliptus saligna, formam aproximadamente 80% da matéria prima consumida pela indústria nacional (10). Essas espécies, graças aos excelentes incrementos volumétricos e às superiores propriedades físico-mecânicas de suas celuloses, são, geralmente, utilizadas para o reflorestamento no Brasil.

O processo sulfito neutro parece ser bastante viável para o eucalipto, mas não é, ainda, muito difundido, talvez pelo desconhecimento das boas características das polpas e à dificuldade de branqueamento para obtenção de altos graus de alvura. Apresenta as vantagens de não ser exigente

quanto à matéria prima,podendo inclusive usar misturas de madeiras; apresentar alto rendimento (60-80%); a polpa produzida poder ser usada para a fabricação de vários tipos de papel; necessitar custo relativamente baixo de investimento e não causar acentuada poluição atmosférica como o processo Kraft. Uma das desvantagens desse processo consiste na produção de polpa com alto teor de lignina ($>$ 10%) o que requer, para o branqueamento à altas alvuras, a utilização de onerosas sequências de branqueamento,em virtude do alto consumo de agentes alvejantes.

Considerando o potencial da antraquinona como aditivo de polpação, foi realizado este trabalho, com o objetivo de estudar os efeitos de diferentes níveis de antraquinona na polpação sulfito neutro de Eucaliptus grandis, em relação à deslignificação e às propriedades de resistências da polpa, visando obter polpa de boa qualidade com melhores propriedades de resistência.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Processo Sulfito Neutro

O processo sulfito neutro (NSSC - neutral sulphite semichemical) é o processo mais usado para a polpação semiquímica.

No processo NSSC, a madeira é submetida à um tratamento químico suave e a seguir é desfibrada mecânicamente em refinador de disco (26). A deslignificação se processa com solução ligeiramente alcalina de sulfito de sódio e carbonato de sódio. Além do carbonato de sódio usado como agente tampão o hidróxido de sódio e o bicarbonato de sódio também podem ser usados. Agente tampão consistindo de licor verde geralmente é empregado quando a indústria que utiliza esse processo possui, em anexo, uma linha de produção de polpa kraft, com recuperação do licor negro (29).

O agente tampão é usado para manter o pH do licor de cozimento em torno de 7 a 8, neutralizando os ácidos orgânicos que são formados pela reação dos constituintes da madeira com o licor, quando a madeira é aquecida à 120°C ou mais. O agente tampão também é usado para controlar a corrosão dos equipamentos e aumentar o rendimento (5).

A alcalinidade do licor é uma das variáveis do proces

so, uma vez que pH mais altos aumentam a resistência da polpa e a taxa de polpação, mas escurecem a polpa (26).

FOELKEL et alii (9), na polpação sulfito neutro de Eucaliptus urophylla, utilizaram como agentes tampões o hidróxido de sódio, o carbonato de sódio, o carbonato de magnésio, a cal (CaO) e a magnesita. Variando o agente tampão alcalino, observaram as seguintes diferenças na qualidade das celuloses: a adição de soda resultou em rendimentos e alvuras mais baixos; o uso de cal também colaborou para escurecer a polpa; as polpas mais claras foram obtidas quando o tampão usado foi uma mistura de carbonato de magnésio e carbonato de sódio, porém, nesse caso, a deslignificação foi menor. As melhores deslignificações ocorreram para os seguintes tampões: carbonato de sódio, hidróxido de sódio e carbonato de magnésio. O uso da magnesita foi aprovado como tampão.

O licor de cozimento sulfito neutro é relativamente específico para lignina. Até 170°C a principal substância removida é a lignina. Algumas hemiceluloses de baixo peso molecular são removidas, mas a maior parte da alfa celulose e hemiceluloses mais resistentes permanecem na polpa juntamente com mais da metade da lignina (5).

Durante o cozimento, a lignina é parcialmente sulfonata da havendo a formação de ácido ligno-sulfônico pela introdução do grupamento sulfônico SO_3^{--}, transformando a lignina que é de natureza hidrofóbica em substância mais hidrofilica, tornando-a mais solúvel em água. Resumindo, a dissolução da lignina consiste na hidrólise e sulfonação. Ambas as reações enfraquecem a lamela média da fibra, ajudando na separação das fibras durante o desfibramento. Além disso, a sulfonação torna as fibras mais flexíveis após o refino, contribuindo para uma melhor ligação interfibrilar, obtendo-se papéis com alta resistência (13).

As condições de polpação semiquímica variam de acordo com o tipo de produto desejado. Para polpas que se destinam à fabricação de papelão corrugado (corrugating board) usa-se de 8 a 14% de sulfito de sódio, base madeira. Para obtenção de polpas branqueáveis, a percentagem de sulfito base madeira é de 15 a 20% (5).

Ao contrário dos 3 a 7% de lignina encontrada nas polpas químicas, polpas semiquímicas representativas contém de 10 a 20% de lignina insolúvel em ácido. Essa lignina está localizada em grande parte na superfície das fibras. Polpas adequadas ao branquemaneto contém de 8 a 12% de lignina, enquanto polpas para "corrugating board" contém de 15 a 20% (26).

O principal uso da polpa NSSC é para fabricação de "corrugating board", sendo também usada para papel jornal, papel embrulho, etc. Polpa NSSC branqueada é usada para papel BOND, grease proof (fôsco), glassine (pergaminho ou cristal), papel offset, mimeógrafo, papel toalha, etc (2).

Segundo RYDHOLM (29), o processo NSSC é mais indicado para folhosas não só pelo baixo teor de lignina das folhosas como também, provavelmente, devido à maior localização da lignina na lamela média.

Polpas NSSC também são obtidas de coníferas, porém exigem mais produtos químicos para deslignificação e requerem mais energia para o desfibramento e refino, devido apresentarem maior teor de lignina em comparação às folhosas. Além disto, as coníferas têm alto teor de resinas, que não se dissolvem no licor sulfito neutro, o que acarreta problemas na máquina de papel (26).

HIGGINS et alii (21) estudaram detalhadamente o mecanismo da deslignificação de madeiras de folhosas pelo processo

NSSC. Os autores abordaram principalmente o mecanismo de deslignificação, a influência do tempo e temperatura de cozimento nas propriedades das polpas, o efeito da remoção de extrativos na deslignificação e a alteração na natureza da lignina removida durante o cozimento. Foram produzidas polpas de Eucaliptus obliqua, variando a temperatura de 150 a 190°C e o tempo de cozimento até 6 horas. A qualidade da polpa melhorou com tempos de cozimento mais longos e temperaturas mais altas, até 180°C. Entretanto, essas vantagens foram contrabalançadas por rendimentos menores, e polpas mais escuras. Mesmo as polpas pouco deslignificadas mostraram bom desenvolvimento de estouro e tração no refino, mas a resistência ao rasgo só foi alta para as polpas bem deslignificadas. O efeito do rendimento nas propriedades de resistências foi muito marcante. O estouro, por exemplo, foi dobrado para um dado grau de refino, quando o rendimento diminuiu de 80 para 70%. Para todas as polpas estudadas, o maior grau de ligação entre fibras foi alcançado a um rendimento de 60-65%. Os cozimentos realizados à 190°C mostraram alto consumo de sulfito de sódio e o pH caiu para abaixo de 7, associado com drástica remoção de carboidratos e evidências de redeposição de lignina. A alvura da polpa parecia estar associada com o teor de Na_2SO_3 residual. Madeiras mais velhas eram mais difíceis de serem deslignificadas e rendiam menos celulose, com mais lignina residual e piores propriedades de ligação. Entretanto, a resistência ao rasgo para as polpas de madeiras velhas era mais alta. A pré-extração dos cavacos com água, álcool e álcali não melhorou as propriedades das polpas.

FOELKEL et alii (9) obtiveram polpas NSSC de Eucalyptus urophylla, usando diferentes condições para os cozimentos e variando o agente tampão. O objetivo desse estudo era comparar as características da celulose NSSC de eucalipto com a celulose

kraft não branqueada. A deslignificação foi melhor quando usado o Na_2CO_3, o NaOH e o $MgCO_3$ como agentes tampões. Os rendimentos obtidos foram altos, entre 60 e 70%, para números kappa de 82 a 118. Quanto às resistências das polpas de modo geral, foram boas, em comparação com a polpa kraft, principalmente as resistências à tração, estouro, rasgo e o alongamento. A resistência às dobras duplas foi inferior para todas as polpas NSSC.

SUCATTE et alii (30) realizaram estudos da polpação sulfito neutro com 5 espécies de Eucaliptus (E. grandis, E. viminalis, E. tereticornis, E. camaldulensis e E. saligna). Dos resultados obtidos, os autores concluiram que, em geral, todas as espécies responderam normalmente ao processo sulfito neutro. As polpas obtidas a partir de E. grandis apresentaram bons valores de alvura, com rendimentos altos. Os valores mais baixos em rendimento foram apresentados pelo E. camaldulensis e os mais baixos em alvura, pelo E. tereticornis. Quanto às propriedades físico-mecânicas, o E. grandis apresentou os maiores valores de tração e arrebentamento. Os melhores valores de rasgo corresponderam ao E. viminalis. O E. tereticornis apresentou os valores mais baixos de resistência. Os autores também observaram que as propriedades físico-mecânicas das polpas tinham uma tendência a melhorar com o aumento da carga de produtos químicos e tempo de cozimento.

Tendo como objetivo a obtenção de polpas destinadas à fabricação de papelão corrugado e papelão de revestimento, VELEZ e REPETTI (32) testaram 4 espécies de Eucaliptus (E. bicostata, E. dalrymplena, E. botryoides e E. deanei) com 6 anos de idade. As polpas obtidas com as condições mais suaves de tratamento mostraram-se adequadas quanto aos rendimentos e resistências alcançados, para a fabricação de papelão corrugado. As polpas testadas para produção de papelão de revestimento, apresenta

ram propriedades aceitáveis para esse fim. Comparando as quatro espécies entre si, as polpas semi-químicas obtidas a partir do E. bicostata apresentaram as melhores resistências e alvura, tendo o E. deanei apresentado os valores mais baixos, enquanto as , resistências das polpas dos E. dalrympleana e E. bo - tryoides enquadraram-se numa faixa intermediária.

2.2. Efeitos dos Compostos Quinona na Polpação de Madeira

2.2.1. Polpação com Antraquinona

Vários aditivos tem sido propostos para melhoria dos processos convencionais de polpação da madeira. Entre esses aditivos, destaca-se a antraquinona que hoje é considerada como sendo o primeiro aditivo realmente eficaz e de valor prático, tanto industrial como comercial, para a polpação alcalina (16).

O grande obstáculo ao uso da antraquinona consistia na não liberação de seu uso pelo governo norte-americano. Porém, em 7 de março de 1980, o "Food and Drug Administration" do "Department of Health, Education and Welfare", do governo norte-americano, liberou o uso da antraquinona para a polpação de madeira. A liberação da antraquinona pelo F.D.A. resultará em grande incentivo para sua utilização, e várias indústrias que atualmente estão em fase de testes industriais deverão passar à produção comercial de polpas com o uso da antraquinona (16).

A antraquinona (AQ) é uma substância orgânica de peso molecular 208,23, apresentando coloração amarela, cristalina em agulhas rombiformes, temperatura de fusão 286°C, temperatura de ebuiição 379,8°C (760 mm Hg) e densidade 1,438. Sua fórmula molecular é $C_{14}H_8O_2$ e sua fórmula estrutural é apresentada na Fi-

gura 1.(16).

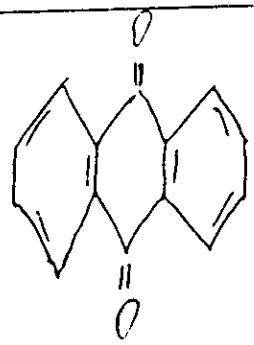


FIGURA 1 - Fórmula estrutural da AQ

Na década de 1970, a antraquinona despertou o interes se das indústrias de celulose, devido a seu grande potencial como aditivo para a polpação alcalina (16).

A adição de antraquinona (AQ) em quantidades extremamente pequenas (500 g/tonelada de madeira), acelera fortementea polpação soda ou kraft, causando, ainda, um significante aumento do rendimento (17).

A antraquinona, quando adicionada ao processo soda , torna esse processo comparável ao kraft, sem, entretanto, acarretar problemas de poluição odorifica. Outra vantagem apresentada pelo processo soda-antraquinona é que ele pode ser utilizado nos equipamentos convencionais de polpação, sem causar proble - mas de corrosão (24).

O processo kraft tem recebido menos atenção que o pro cesso soda, quanto à adição de antraquinona, mas já foi demons trado que é mais vantajoso que o processo kraft convencional. As vantagens do processo kraft—AQ estão relacionadas com a acele ração da deslignificação, o menor consumo de energia e de rea - gentes químicos e a melhoria do rendimento e da qualidade da pol pa(16).

O processo soda-AQ tem recebido grande ênfase nos ultimos anos, uma vez que poderá ser a solução ideal para as fábricas kraft que vem sofrendo grandes pressões em virtude de problemas ambientais (16).

Na deslignificação alcalina da madeira, a degradação dos carboidratos ocorre em baixas temperaturas (60°C), e em temperaturas até 150°C essa degradação é causada principalmente pela reação de descascamento (peeling). Nas temperaturas máximas do cozimento, 160 a 180°C, os carboidratos da madeira são degradados por uma hidrólise alcalina na sua ligação β-glucosidica, causando diminuição do grau de polimerização e a formação de novo grupo terminal redutor.

Vários métodos tem sido propostos para minimizar a degradação dos carboidratos durante o cozimento: 1) conversão do grupo terminal redutor (GTR) em glucosídeo; 2) redução do grupo terminal dos carboidratos e 3) oxidação do grupo terminal dos carboidratos (24).

Os mecanismos de reação da antraquinona durante a polpação alcalina ainda não estão totalmente esclarecidos, porém vários trabalhos de pesquisa em literatura especializada (7, 8, 20, 24, 25, 27, 28) procuram explicar as reações químicas envolvidas. As reações, durante a polpação soda e kraft, envolvendo a antraquinona, consistem, basicamente, na oxidação dos carboidratos da madeira e na hidrólise de ligações éter da lignina, principalmente a ligação β- éter. A antraquinona causa a oxidação do grupo terminal redutor dos carboidratos, estabilizando-os em relação às reações de despolimerização terminal (reação de descascamento). Essa estabilização resulta em proteção dos carboidratos contra reações de degradação e solubilização e, conseqüentemente, num aumento do rendimento. A ação da antraqui

nona sobre a lignina é explicada pela reação de hidrólise das ligações β- éter, ocasionando a formação de fragmentos de lignina de menor peso molecular, o que resulta numa intensificação da taxa de deslignificação. Considerando que quantidades catalíticas de antraquinona são eficazes no processo, pode-se pressumir a ocorrência de ciclos de oxidação e redução dessa quinona (27).

Na Figura 2 é apresentado um esquema dos mecanismos de reação da antraquinona durante a polpação alcalina.

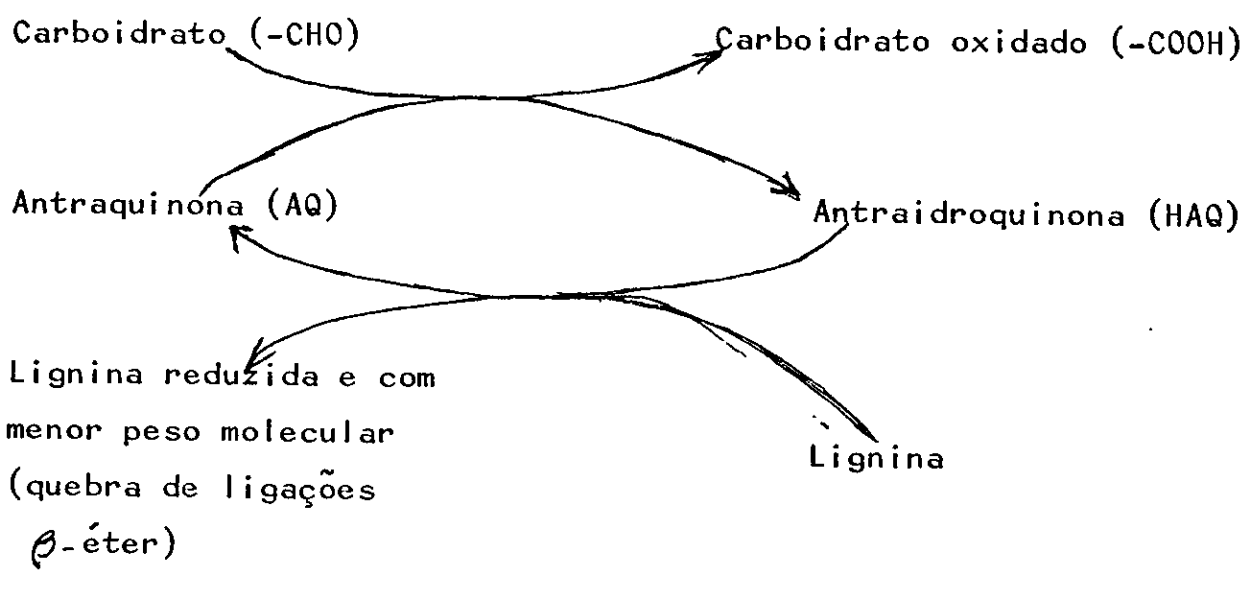
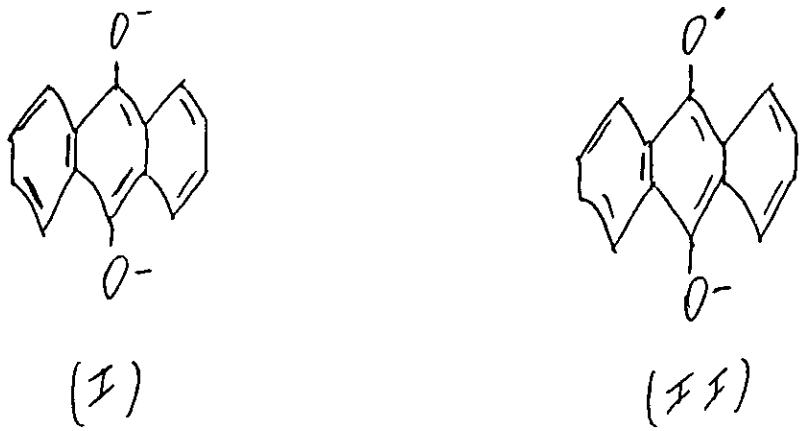


FIGURA 2 - Mecanismos de reação da AQ (27).

A antraquinona, apesar de insolúvel em solução aquosa de hidróxido de sódio a quente, dissolve-se nos licores de polpação alcalina, nos estádios iniciais do cozimento (100°C), resultando numa solução vermelho escura. Essa mesma cor é obtida quando a antraquinona é aquecida em solução aquosa de hidróxido de sódio com glucose. Essa coloração é atribuída ao dianion de

antraidroquinona (9-10 diidroxiantraceno), I, ou ao radical aniônico correspondente, II (8).



(I) (II)

FIGURA 3 - Dianion (I) e radical aniônico (II) de antraidroquinina (8).

FLEMING et alii (8) realizaram estudos para determinar a razão por que licores soda com AQ causam deslignificação mais intensa que o licor soda convencional. Para esse estudo foi utilizado lignina isolada quimicamente (Lignina Freudenberg) e diferentes níveis de glucose e de AQ. Os resultados obtidos demonstraram que ocorre um ciclo de reações de oxidação e de redução da AQ, envolvendo os carboidratos e a lignina da madeira, -

o que explica a eficiência da AQ, mesmo quando em quantidades catalíticas. Os autores sugerem uma reação entre AQ e carboidratos, que atuam como substâncias redutoras no licor de cozimento, resultando na forma reduzida da AQ (AHQ), que é oxidada de volta a AQ por meio de reações com compostos intermediários da degradação da lignina.

GOMIDE et alii (18) analisaram a influência da antraquinona na polpação soda de madeira de Eucalyptus grandis com 7,5 anos de idade. Foram utilizados diferentes níveis de álcali ativo (10, 12, 14 e 16%) e seis níveis de antraquinona (0;0,01; 0,02; 0,05; 0,10 e 0,2% base madeira). Foram realizados, também, cozimentos kraft convencionais para servirem como referência na análise do processo soda-AQ. A adição de níveis extremamente baixos de AQ (menos de 0,10%, base madeira) causou um significativo aumento da taxa de deslignificação, principalmente em níveis mais baixos de álcali ativo (10 e 12%). Para um mesmo grau de deslignificação, a adição de AQ resultou em aumento do rendimento total e em economia de álcali ativo consumido. A AQ apresentou ação benéfica sobre a viscosidade, os teores de alfa, beta e gama-celulose, a branqueabilidade e as propriedades físico-mecânicas da polpa soda. A AQ causou pronunciada melhoria nas propriedades de resistência da polpa soda, tendo a polpa soda com 0,10% de AQ apresentado resistências comparáveis às da polpa kraft.

Estudos realizados por HOLTON e CHAPMAN (22), em escala laboratorial, em escala piloto e em testes industriais, utilizando madeira de Pinus, com o objetivo de produzir polpa kraft para papelão de revestimento, demonstraram que a AQ acelera a polpação. Nos testes industriais, a adição de 0,05% de AQ (base madeira) permitiu redução de 25-30% no fator H (ou no tempo de

cozimento), além de possibilitar redução de 5% do álcali ativo, na produção de polpa com qualidade e número kappa equivalentes aos do processo kraft convencional. Os resultados dos testes laboratoriais indicaram que reduções ainda mais altas de álcali poderiam ser obtidas e que o uso de AQ, nas condições utilizadas, resultava em ganhos de 2-3% no rendimento para um mesmo número kappa.

GOMIDE e OLIVEIRA (19) estudaram a influência do nível de sulfidez (0, 5, 10 e 25%) e da adição de antraquinona (0, 0,02 e 0,10%, base madeira) na polpação de madeira de Eucaliptus grandis. Os resultados obtidos demonstraram que a sulfidez e o teor de AQ podem ser manipulados como parâmetros intercambiáveis e que a adição de AQ proporciona, nos diferentes níveis de sulfidez estudados, benefícios significativos, em termos de taxas mais altas de polpação, menores exigências de álcali, maiores rendimentos e viscosidades mais elevadas das polpas. A influência da AQ foi mais pronunciada em níveis mais baixos de sulfidez. As polpas produzidas com 5 e 10% de sulfidez e adição de AQ apresentaram valores de resistências comparáveis ou superiores aos da polpa kraft convencional.

HOLTON (23), depois de testar diferentes compostos como aditivos para o processo soda, verificou que a antraquinona era eficaz na polpação de cavacos de madeira, sendo, inclusive, superior à AMS (antraquinona monossulfonato). Os resultados obtidos demonstraram que a AQ age, basicamente, como acelerador da polpação alcalina, melhorando o rendimento e a qualidade da polpa e, ao mesmo tempo, reduzindo o consumo de reagentes e de energia. Segundo HOLTON, a AQ não é substância particularmente perigosa e sua aplicação não requer técnicas ou equipamentos especiais.

GOMIDE e OLIVEIRA (15) analisaram a eficiência da antraquinona na polpação soda e kraft de Eucaliptus urophylla de origem híbrida. Foram testados 6 níveis de antraquinona (0 - 0,01-0,05-0,10-0,20 e 0,50%, em relação ao peso da madeira) em 3 condições de álcali ativo (10, 13 e 14%). Os resultados obtidos demonstraram eficiente ação deslignificadora da AQ, principalmente quando em concentrações extremamente baixas (menos de 0,1%). A ação deslignificadora da AQ foi mais eficiente no processo soda que no kraft e em condições mais baixas de álcali ativo. As resistências das polpas foram beneficiadas pela adição da AQ, sendo as resistências ao rasgo e ao arrebentamento as que apresentaram melhores resultados. À exceção da resistência ao rasgo, as resistências da polpa soda-AQ, obtidas com a adição de 0,05% de AQ, não atingiram os níveis da polpa kraft convencional, embora a AQ tenha sido bastante eficiente na melhoria das resistências da polpa soda.

GOEL et alii (14) realizaram estudos em escala laboratorial e industrial para verificar a influência da AQ no rendimento e qualidade da polpa kraft para produção de papelão de revestimento. Os resultados obtidos indicaram que com adição de 0,05% de AQ (base madeira) houve redução de 11% na carga de álcali ativo e aumento de 1,7% no rendimento, para um mesmo número kappa, sem afetar a qualidade da polpa.

BLAIN, citado por GOMIDE (16), estudou a eficiência da AQ na polpação alcalina de madeiras de folhosas, em níveis de sulfidez que variaram de 0 a 25%. Os resultados indicaram que em qualquer sulfidez, dentro desse limite, a presença de AQ proporciona benefícios significativos, em termos de taxas mais altas de polpação, menores exigências de álcali, maiores rendimentos e viscosidades das polpas mais elevadas. Segundo BLAIN, a

sulfidez e o teor de AQ podem ser manipulados como variáveis intercambiáveis do processo, ou seja, a diminuição da sulfidez pode ser compensada pelo aumento do teor de AQ.

2.2.2. Polpação com outros Compostos Quinona

Menor atenção tem sido dada a compostos quimicamente semelhantes à antraquinona.

A tetraidroantraquinona (THA) apresenta características químicas semelhantes às da antraquinona e, possivelmente, apresenta potencial comparável, ou mesmo superior, como aditivo para a polpação alcalina de madeira (17).

Na Figura 4 é apresentada a fórmula estrutural da THA.

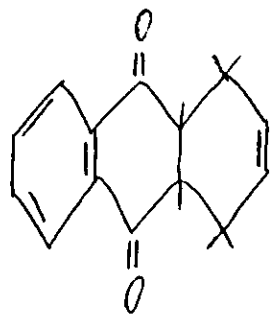


FIGURA 4 - Fórmula estrutural da THA.

Pesquisas efetuadas com THA em diversos processos de polpação (24), demonstraram que a adição de 0,02 - 0,05% dessa quinona ao cozimento kraft resulta em ganhos de 1,5-3% no rendimento e numa redução de 3-5°C na temperatura de cozimento.

Estudos realizados pela Kawasaki Kasei Chemicals (24) demonstraram que a adição de 0,02-0,05% do THA ao cozimento soda resultou em aumento de rendimento e aceleração da deslignificação. A adição de 0,02% de THA ao cozimento soda causou sensível melhoria nas propriedades de resistência da polpa, sem, entre

tanto, atingir os níveis de resistência da polpa kraft. As resistências da polpa soda-THA apresentaram, para um mesmo número kappa, valores médios entre os das polpas soda e kraft convencionais.

GOMIDE et alii (17) analisaram a influência da antraquinona e da tetraidroantraquinona, na polpação soda e kraft de madeira de Eucalyptus grandis com 7,5 anos de idade. Foram utilizados diferentes níveis de álcali ativo (10, 12, 14 e 16%), de quinona (0-0,01-0,02-0,05-0,10 e 0,20%, base madeira) e de sulfidez (0,5,10 e 25%). Foram realizados, também, cozimentos kraft convencionais para servirem de referência na análise dos processos Soda-Quinona. A adição de níveis extremamente baixos de AQ ou de THA (menos de 0,10%) causou significante aumento da taxa de deslignificação, principalmente nos níveis mais baixos de álcali ativo (10 e 12%). Para um mesmo grau de deslignificação, a adição de AQ ou de THA resultou em aumento do rendimento total e em economia de alcali ativo consumido. A AQ e a THA apresentaram ação benéfica na viscosidade, nos teores de beta e gama-celulose, na branqueabilidade e nas propriedades físico-mecânicas das polpas soda. A AQ e a THA causaram pronunciada melhoria nas propriedades de resistência da polpa soda, tendo a polpa soda com 0,10% de AQ ou de THA apresentado resistências comparáveis ou superiores às da polpa kraft. A THA mostrou-se ligeiramente mais eficiente que a AQ. Os resultados obtidos demonstraram que a sulfidez e o teor de AQ podem ser manipulados como parâmetros intercambiáveis e que a adição de AQ proporciona, nos diferentes níveis de sulfidez estudados, benefícios significativos, em termos de taxas mais altas de polpação, menores exigências de álcali, maiores rendimentos e viscosidades mais elevadas das polpas. A influência da AQ foi mais pro

nunciada nos níveis mais baixos de sulfidez. As polpas produzidas com 5 e 10% de sulfidez e adição de AQ apresentaram valores de resistências comparáveis ou superiores aos da polpa kraft convencional.

NOMURA (27), em 1974, pesquisou 26 diferentes compostos com características potenciais para utilização como aditivo na polpação kraft. A escolha do aditivo mais eficaz foi baseada em 2 critérios: potencial redox do aditivo e aditivo contendo estrutura enediol. Nessa pesquisa foi verificado que o hidroxiantraquinona, o diidroxiantraquinona, o tetraidroxiantraquinona e o diidrodiidroxiantraceno , com potenciais redox inferiores ao da antraquinona, apresentavam ligeira superioridade, em relação à antraquinona, na deslignificação e no rendimento e os mesmos resultados quanto às resistências das polpas. Pelos resultados obtidos, NOMURA concluiu que qualquer aditivo da polpação kraft, capaz de causar um significante aumento do rendimento e intensificar a deslignificação, deverá ter um potencial redox (E_o) entre 0,1 e 0,2V e apresentar estrutura enediol.

O diidrodiidroxiantraceno (DDA), segundo NOMURA (27), apresenta as seguintes vantagens sobre a AQ: 1) potencial redox inferior ao da AQ, resultando em melhores rendimentos, melhor taxa de cozimento e qualidade superior da polpa, mesmo utilizando pequena quantidade de DDA; 2) maior solubilidade no licor de cozimento, sendo, portanto, mais fácil de ser utilizado nas instalações industriais existentes; 3) a AQ é produzida, principalmente, por meio de um processo de oxidação do antraceno, que permanece parcialmente não oxidado; embora o antraceno remanescente ocorra em quantidades desprezíveis, ainda assim não é desejável, por ser considerado uma substância com características cancerígenas.

A fábrica japonesa Kushiro, desde 1975, utiliza o 1,4 diidro 9,10 diidroxiantraceno (DDA), como aditivo, na produção de

polpa kraft - para papelão (1.700 t/dia) e de polpa branqueada (200 t/dia). Para produção do DDA, essa fábrica utiliza a rea - ção de Diels Alder, reagindo naftoquinona com butadieno (27).

Na Figura 5 é apresentada a fórmula estrutural do DDA.

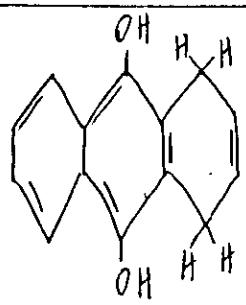


FIGURA 5 - Fórmula estrutural do DDA.

Estudos realizados com diidrodiidroxiantraceno (27), demonstraram que a adição de 0,05% desse aditivo ao cozimento soda e a adição de 0,02% ao cozimento kraft de baixa sulfidez (menos de 5%), faz com que o rendimento, a taxa de cozimento e a qualidade dapolpa alcancem os níveis da polpa kraft convencio - nal.

GHOSH et alii (12), em 1977, estudaram o efeito da adição de antraquinona (AQ) e antraquinona monossulfonato (AMS) na polpação soda de madeira de folhosa (Quercus nigra), tendo verificado que esses aditivos são mais eficazes para madeiras de folhosas que para madeiras de coníferas. A adição de pequenas quantidades dessas antraquinonas (0,05-0,2%, base madeira) resulta em aumentos significativos da taxa de deslignificação e do rendimento e em redução dos rejeitos, sem perda significativa de resistência. Os autores consideram que a polpação soda-quinona, seguida de uma deslignificação com oxigênio, poderá ser

alternativa viável para o processo kraft. O rendimento, a alvura e as propriedades de resistência da polpa soda-AMS, submetida a um tratamento de deslignificação com oxigênio e branqueada pela sequência DED, indicaram que o estádio de cloração poderia ser eliminado para obtenção de alvuras de até cerca de 85% (Fotovolt). As propriedades de resistência da polpas soda-AMS (ou AQ) e soda-AMS (ou AQ)—O_2 foram semelhantes ou mesmo superiores às da polpa kraft ou soda convencionais. Tanto a AQ como a AMS agiram como eficientes aditivos na polpação, tendo a AQ sido superior à AMS.

2.2.3. Polpação NSSC (Sultifo Neutro) com Aditivos Quinona

CAMERON e colaboradores (4) realizaram estudos para analisar as reações que envolvem os compostos quinona durante a polpação sulfito neutro. Nessa pesquisa, utilizaram compostos modelo de carboidratos e lignina, reagindo-os com a tetraidroantraquinona (THA). Todas as reações da THA com os compostos modelo foram realizadas mediante aquecimento à 180°C, por uma hora, numa solução contendo 4,8% de sulfito de sódio e 1,2% de bicarbonato de sódio. Esses experimentos indicaram que a fração carboidrato da madeira é que dá origem ao grupo metil. Compostos representativos da fração carboidrato da madeira, como glucose, manose, xilose, gliceraldeido e celulose em pó, apresentaram baixo rendimento de 10 metil antrona (Figura 6), enquanto sorbitol, "milled wood lignin" e compostos relacionados com a lignina (álcool coniferil, guaiacol, vanilina) apresentaram pouco ou nenhum rendimento desse composto.

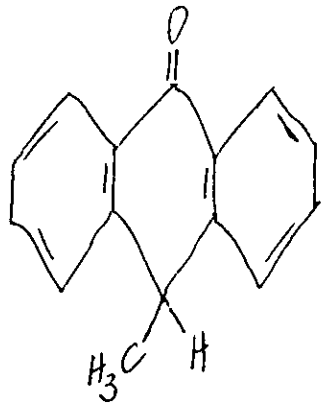


FIGURA 6 - Fórmula estrutural do 10 metil antrona

Embora ainda não esteja bem definido até que ponto o 10 metil antrona possa estar envolvido na deslignificação, experiências efetuadas (.4) com pinho e eucalipto, sob condições de polpação sulfito neutro, demonstraram que o 10 metil antrona acelera a deslignificação do pinho, porém com muito menos eficiência que a antraquinona ou tetraidroantraquinona. Seu efeito na taxa de deslignificação do eucalipto foi pequeno.

Em princípio,as quantidades significantes de 10 metil antrona, formadas durante a polpação NSSC, podem estar envolvidas num ciclo catalítico redox, análogo aquele proposto para a AQ na polpação soda. Alternativamente, o 10 metil antrona pode ser lentamente convertido de novo à antraquinona, e desse modo fazer parte de uma série mais complexa de ciclos redox sob condições de polpação sulfito neutro. Essas possibilidades estão sendo pesquisadas (4).

Experiências preliminares tem demonstrado que a AQ é reduzida lentamente à antrona (7% de conversão após uma hora à 180°C),na polpação NSSC de pinho,ao passo que a THA (um compos-

to com 2 níveis de oxidação mais baixo do que a AQ) é eficientemente convertida (70%) à antrona, nas mesmas condições. A THA também tem mostrado ser um eficaz acelerador da polpação NSSC de pinho (4).

Na Figura 7 é apresentada a fórmula estrutural da antrona.

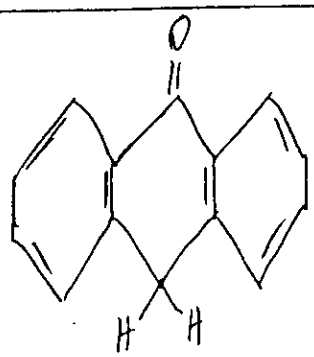


FIGURA 7 - Fórmula estrutural da antrona.

CAMERON et alii (4) estudaram a influência dos aditivos quinona na polpação NSSC de Pinus radiata e Eucalyptus. Esses estudos foram realizados em escala laboratorial e industrial, empregando os seguintes aditivos: antraquinona (AQ), antraidroquinona (HAQ), tetraidroantraquinona (THA) e o diidrodiidroxi antraceno (DDA). Como agente tampão foram usados o bicarbonato de sódio, carbonato de sódio e hidróxido de sódio.

Na polpação NSSC de Pinus radiata, a ação da AQ foi altamente dependente do tampão usado. O uso de 0,1% de aditivo, base madeira, permitiu que o tempo de cozimento, à 65% de rendimento, fosse reduzido pelos fatores 2, 4 e 6, quando bicarbonato de sódio, hidróxido de sódio e carbonato de sódio foram usados como tampão, respectivamente. O uso do aditivo também contri

buiu para um significante aumento na taxa de deslignificação. Os derivados de AQ foram tão eficientes quanto a própria AQ para promover a deslignificação. Quanto às resistências da polpa, a polpa NSSC de Pinus radiata apresentou resistência ao rasgo inferior à da polpa kraft, porém seu índice de estouro e comprimento de auto-ruptura foram comparáveis aos da polpa kraft.

A aplicação de 0,1% de AQ na polpação NSSC de eucalipto possibilitou a diminuição do tempo de cozimento em cerca de 20% (2,5 h para 2 h), para a obtenção de um mesmo número kappa. Quando foi usado o mesmo tempo de cozimento, a adição de 0,1% de AQ base madeira resultou numa redução de 6 a 7 unidades no número kappa.

Os autores verificaram que a AQ foi visivelmente mais eficaz na polpação NSSC de Pinus radiata que na do eucalipto. Com madeira jovem de E. regnans, a adição de 0,1% de AQ permitiu uma moderada redução no tempo de cozimento (cerca de 20%) e diminuição no número kappa, para um mesmo tempo de cozimento, de cerca de 7 unidades. Entretanto, quando foi usada madeira adulta de E. regnans, o uso de AQ não contribuiu para um aumento notável na taxa de polpação. A ação da AQ não melhorou com o aumento da percentagem de tampão, temperatura de cozimento ou carga de sulfito de sódio.

Pesquisas realizadas (27) com diidrodiidroxiantraceno (DDA) na polpação sulfito neutro demonstraram que a adição de 0,02% desse aditivo resulta num amolecimento uniforme dos cavacos, economizando energia para o posterior desfibramento. Os resultados obtidos indicaram que com adição de 0,02% de DDA (base madeira) houve uma economia de 10% no consumo de energia, uma redução no teor de "shives" e um au-

mento de 6% nas propriedades de resistências da polpa. O uso do DDA também contribuiu para melhorar a alvura e a branqueabilidade da polpa NSSC.

Na Figura 8 são apresentados as reações e os efeitos dos compostos quinona durante a polpação.

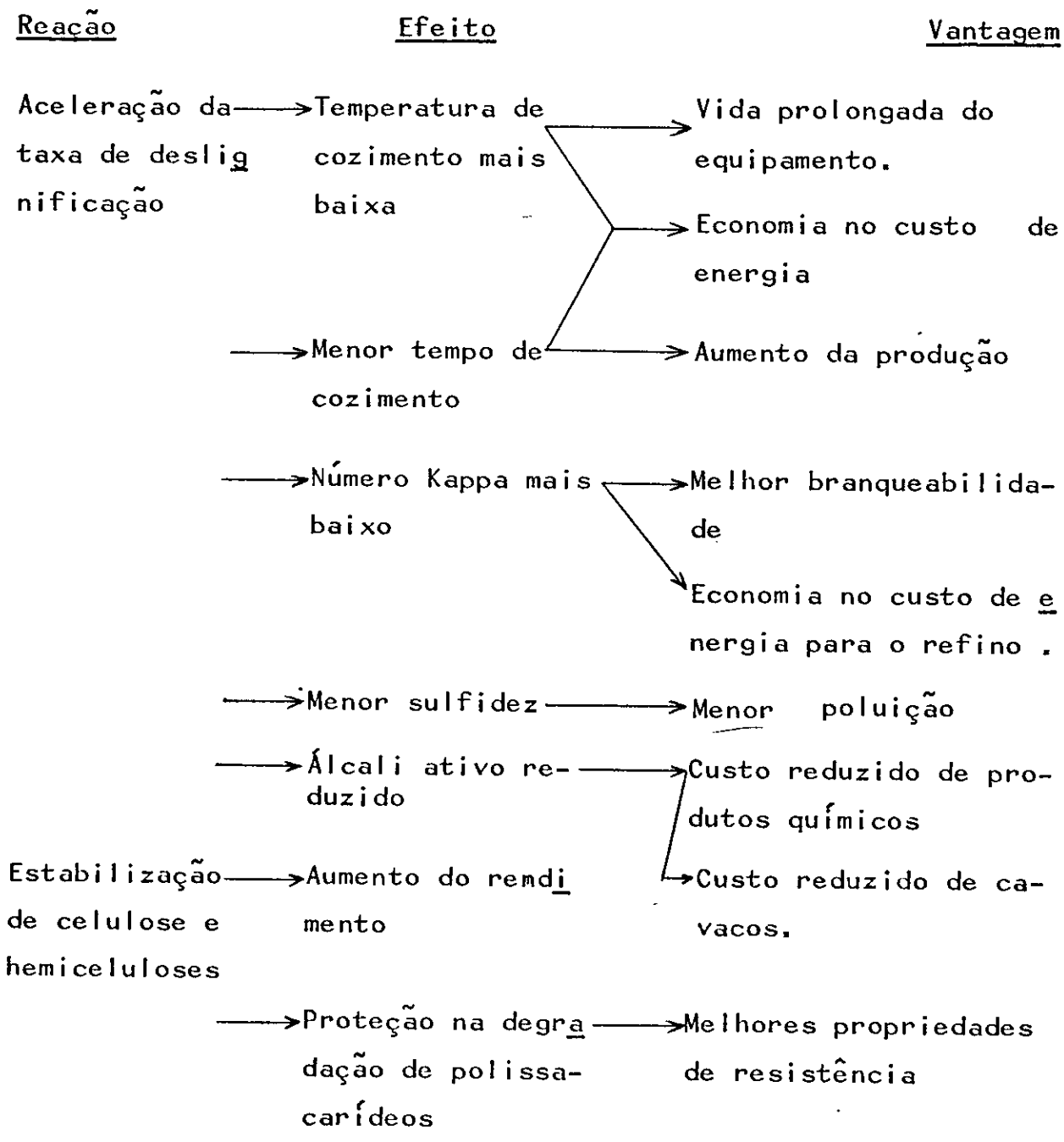


FIGURA 8 - Funções dos compostos quinona (24).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Nesse estudo foi utilizada madeira de Eucalyptus grandis, com 8 anos de idade, proveniente de uma área de produção de sementes localizada em Viçosa, Minas Gerais. As árvores de E. grandis foram obtidas a partir de sementes oriundas de Coff's Harbour, Austrália. Foram derrubadas 6 árvores do povoamento , que apresentavam altura média de 24,3 m e diâmetro médio de 29 cm. As árvores foram seccionadas em toras de 2m de comprimento, descascadas manualmente e transformadas em cavacos por meio de um picador industrial. Após classificação e eliminação de pedaços de casca e de cavacos defeituosos (cavacos com nós e com defeitos de corte), os cavacos foram secados ao ar e armazenados, em sacos de polietileno, para uniformização e conservação do teor de umidade.

Foram efetuadas medições de fibras, análise química da madeira, determinação da densidade básica e polpação da madeira.

3.1. Dimensões de Fibras e suas Inter-relações

Para a determinação das dimensões das fibras, pequenos palitos de madeira foram tratados com solução macerante cons

tituida por ácido acético glacial e água oxigenada 130 V (1:1), a 60°C, por 20 horas, para separação das fibras. As fibras foram medidas com auxílio de microscópio ótico, tendo sido determinado o comprimento, a largura, o diâmetro do lúmen e a espessura da parede celular de 200 fibras.

Também foram determinadas as seguintes relações entre as dimensões das fibras:

- Coeficiente de flexibilidade: relação percentual entre o diâmetro do lúmen e a largura da fibra;
- Índice de enfeltramento: relação entre o comprimento e a largura da fibra;
- Índice de Runkel: relação entre duas vezes a espessura da parede celular e o diâmetro do lúmen;
- Fração parede: relação percentual entre duas vezes a espessura da parede celular e a largura da fibra.

3.2. Análise Química da Madeira

As solubilidades em água fria, água quente, álcool - benzeno, soda a 1% e os teores de lignina e cinzas, foram determinados segundo normas da Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel (.1).

A determinação de holocelulose foi realizada pelo método da deslignificação com dióxido de cloro, utilizando solução de clorito de sódio e ácido acético.

O teor de pentosanas foi determinado pelo método do brometo-bromato, segundo BROWNING (3).

3.3. Densidade Básica

A densidade básica da madeira foi determinada utilizando-se o método do máximo teor de umidade de acordo com a norma da TAPPI T 258 OF-76 (31).

3.4. Polpação da Madeira

O processo de polpação usado foi o sulfito neutro, sendo todos os cozimentos realizados com uma repetição.

Foram adotadas condições de cozimento para polpas que se destinam à fabricação de papelão corrugado (corrugating board) e para obtenção de polpas branqueáveis.

As condições de cozimento para obtenção de polpa para papelão, foram as seguintes:

- % Na_2SO_3, base madeira a.s. 8,10, 12 e 14
- % Na_2CO_3, base madeira a.s. 4,5, 6 e 7
- Temperatura máxima, °C 170
- Tempo até temperatura, minutos 100
- Tempo à temperatura, minutos 180
- Relação licor/madeira 5/1

Para polpas branqueáveis, foram empregadas as seguintes condições:

- % Na_2SO_3, base madeira a.s. 16, 18, 20 e 22
- % Na_2CO_3, base madeira a.s. 3,2 , 3,6 , 4,0, e 4,4
- Temperatura máxima, °C 170
- Tempo até temperatura, minutos 100

- Tempo à temperatura,minu - tos 180
- Relação licor/madeira 5/1

Também foram realizados cozimentos sulfito neutro com adição de antraquinona (AQ), para verificar a influência dêsse aditivo nas características das polpas produzidas. Foram usados 4 níveis de sulfito de sódio, com 4 níveis de antraquinona para cada nível de sulfito adotado. Para a polpação sulfito neutro com antraquinona, foram empregadas as seguintes condições:

- % Na_2SO_3, base madeira a.s. 9, 13, 17 e 21
- % Na_2CO_3, base madeira a.s. 4,5. 6,5. 3,4 e 4,2
- % AQ, base madeira a.s. 0,0, 0,05, 0,10 e 0,50
- Temperatura máxima, ^oC 170
- Tempo até temperatura, minutos 100
- Tempo à temperatura, minutos 180
- Relação licor/madeira 5/1

Os cozimentos foram realizados em autoclave rotativa, com capacidade de 20 litros, aquecida eletricamente, dotada de 4 compartimentos individuais, com capacidade de 2 litros cada um, possibilitando a realização de 4 cozimentos simultâneos. A sequência de realização dos cozimentos foi préviamente estabelecida por meio de sorteio dos compartimentos.

Foi determinado o pH do licor de cozimento e,ao final do cozimento,foram retiradas amostras dos licores residuais para determinação do pH.

Terminado o cozimento, os cavacos foram desfibrados em moinho de discos Bauer, passando 3 vêzes no moinho,usando abertura entre discos de 1,17, 0,75 e 0,32 mm. A depuração das polpas obtidas com 8 a 22% de sulfito de sódio foi feita em depu-

rador Voith, dotado de tela com fendas de 0,2 mm de abertura. Os rejeitos foram desfibrados em moinho de discos, com abertura entre os discos de 0,21 mm. Devido essas polpas terem apresentado uma quantidade considerável de rejeitos, as polpas obtidas com adição de antraquinona, sofreram uma ação mecânica mais forte no desfibramento, o que diminuiu bastante o teor de rejeitos. A depuração das polpas NSSC-AQ também foi realizada em depurador Voith e os rejeitos desfibrados em moinho de discos, passando 2 vezes no moinho, usando abertura entre discos de 0,21 e 0,11 mm.

Nas polpas produzidas foi determinado o número kappa, segundo norma da Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel (. 1).

O rendimento em celulose foi calculado com base nas quantidades de celulose produzida e madeira utilizada.

O refino das polpas, para desenvolvimento das resistências, foi realizado em moinho centrifugal tipo Jokro à uma consistência de 6%. As polpas foram refinadas nos tempos de refino 0, 25, 50, 75 e 100 minutos. A confecção das folhas para testes de resistência foi feita em formador tipo Köthen-Rapid.

O acondicionamento das folhas e os testes de resistências físico-mecânicas foram realizados de acôrdo com normas da Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel (1).

3.5. Análise Estatística.

Os resultados dos cozimentos e as propriedades físico-mecânicas das polpas foram analisados estatisticamente, por meio de análise de regressão, tendo sido estabelecidas equações matemáticas, considerando a significância dos coeficientes individuais da regressão (α = 0,05), a redução do quadrado médio do

erro, o coeficiente de determinação (R^2) e a análise dos resíduos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Dimensões das fibras de E. grandis e suas inter-relações.

A determinação das dimensões das fibras é muito importante na avaliação da qualidade de uma madeira a ser utilizada na produção de celulose. Através do conhecimento dessas dimensões, pode-se estimar as propriedades que a polpa de celulose deverá apresentar. Vale salientar, que a análise do dimensionamento das fibras apenas permite uma estimativa geral das resistências que a celulose terá, uma vez que essas resistências também dependem de outros fatores, como a constituição química e o processo de polpação.

As dimensões fundamentais das fibras são o comprimento, a largura, o diâmetro do lúmen e a espessura da parede celular. Essas dimensões podem ser relacionadas entre sí, estabelecendo-se relações que possuem grande importância nas interpretações das propriedades de resistência da celulose.

Nos Quadros 1 e 2 são apresentados os resultados das dimensões das fibras e as relações principais entre essas dimensões.

Analisando-se êsses quadros, verifica-se que, de modo geral, os resultados obtidos estão de acôrdo com os limites

QUADRO 1 - Dimensões das fibras de E. grandis

Determinações	Comprimento (mm)	Largura (μm)	Lúmen (μm)	Espessura da parede (μm)
Valor médio	0,91	18,16	9,07	4,54
Valor mínimo	0,59	10,80	3,60	~~2,70~~ 3,60
Valor máximo	1,21	25,20	16,20	~~7,20~~ 4,50
Desvio padrão	0,11	2,51	2,41	0,91
Coeficiente de variação,%	12,09	13,82	26,57	20,04

QUADRO 2 - Relações entre as dimensões das fibras

Relações	Valores
Coeficiente de flexibilidade	50%
Índice de enfeltramento	50
Fração parede	50%
Índice de Runkel	1,0

25,20 - 16,20 = 4,5

normais para eucalipto, segundo FOELKEL e BARRICHELO (11).

4.2. Densidade Básica da Madeira

A densidade é um dos parâmetros utilizado na avaliação da qualidade da madeira que se destina à produção de celulose. É um parâmetro importante, uma vez que influencia as propriedades físico-mecânicas da celulose assim como o rendimento e a qualidade da mesma.

Outras considerações sobre a densidade básica, indicam ser ela o mais importante fator a influir no comprimento de auto-ruptura, na resistência ao arrebentamento e às dobras, visto que influencia tanto a flexibilidade das fibras como o grau de ligações inter-fibras (6).

O valor encontrado para a densidade básica do E. grandis foi 0,508 g/cm^3, referindo-se êsse valor à média de cinco repetições. Êsse valor da densidade está condizente para a madeira de eucalipto utilizada comercialmente para produção de celulose.

4.3. Análise Química do E. grandis.

O conhecimento da composição química da matéria prima destinada à produção de celulose é de grande valia, uma vez que esses dados fornecerão condições para estabelecer melhor os parâmetros durante o processo de polpação.

No Quadro 3 são apresentados os resultados das análises químicas do E. grandis.

Observando-se esse Quadro, verifica-se que o E. grandis apresenta alto teor de holocelulose (77,6%), sendo que essa holocelulose apresenta um teor relativamente alto de hemiceluloses (pentosanas). Êsse teor de hemiceluloses é vantajoso,

QUADRO 3 - Análise química do E. grandis

Análises		%
Holocelulose		77,60
Pentosanas		18,07
Lignina		25,00
Cinzas		0,15
Solubilidade em:	água fria	1,80
	água quente	2,70
	NaOH 1%	13,10
	álcool/benzeno	3,10

visto que influe positivamente nas operações de refino, pois polpas com alto teor de hemiceluloses são mais facilmente refinadas.

O teor de lignina determinado (25%) foi relativamente elevado, situando-se no limite superior para eucaliptos.

O teor de cinzas, representando os compostos minerais da madeira, foi baixo (0,15%). Parte dêsses compostos são solubilizados no processo de polpação.

Os extrativos são muito importantes na avaliação da madeira para produção de polpa celulósica, uma vez que êles influem no consumo de reagentes químicos, no rendimento, no branqueamento e ocasionam incrustações na polpa e nos equipamentos, assim como acarretam problemas de corrosão. Assim sendo, altos teores de extrativos conduzem a baixo rendimento em celulose, maior consumo de reagentes no cozimento, e também trarão problemas na operação de branqueamento, em virtude de causarem incrustações na polpa, exigindo um maior consumo do agente de branqueamento.

No Quadro 3 verifica-se que o teor de extrativos solúveis em água fria, água quente, soda 1% e álcool/benzeno, estão coerentes com a faixa de valores normalmente apresentados pelo eucalipto.

De modo geral, os resultados obtidos para análise química do E. grandis, estão de acordo com os limites normais para eucalipto.

4.4. Polpação Sulfito Neutro

Com o objetivo de avaliar o comportamento da madeira de E. grandis no processo de polpação sulfito neutro, foram realizados cozimentos visando a obtenção de polpas para papelão e polpas adequadas ao branqueamento. Os resultados re-

ferentes à polpação, constam do Quadro 4.

Com base nos valores apresentados nêsse Quadro, foram estabelecidas equações metemáticas (Quadro 5), em função do nível de sulfito de sódio, para o rendimento e o número kappa.

4.4.1. Características das Polpas Sulfito Neutro

Aumentos da dosagem de Na_2SO_3, apesar de causarem diminuição no número kappa, não resultaram em decréscimos acentuados do rendimento, o que é demonstrado nas Figuras 9 e 10.

As polpas destinadas à produção de papelão corrugado, apresentaram alto teor de lignina (nº kappa), o que é imprescindível à êsse tipo de produto, já que a presença da lignina confere rigidez aos produtos feitos com essas polpas.

4.4.2. pH do Licor Residual

O pH do licor ao final do cozimento, reflete o consumo tanto de sulfito como de carbonato de sódio. Um pH alcalino deve prevalecer, pois em meio ácido, há um aumento na taxa de remoção dos carboidratos como consequência da quebra das ligações glucosídicas e, também, haveria tendência da lignina

QUADRO 4 - Resultados da polpação sulfito neutro de Eucalyptus grandis

Na_2SO_3	Na_2CO_3	Rendimento	Número	pH do Licor	
%	%	%	kappa	Inical	Final
8	4,0	72,1	135	11,35	7,01
10	5,0	72,5	122	11,35	7,02
12	6,0	71,4	111	11,37	7,30
14	7,0	70,4	103	11,37	7,75
16	3,2	69,3	94,1	11,17	7,75
18	3,6	68,5	87,0	11,20	7,95
20	4,0	68,8	83,7	11,20	8,32
22	4,4	68,0	82,6	11,22	8,52

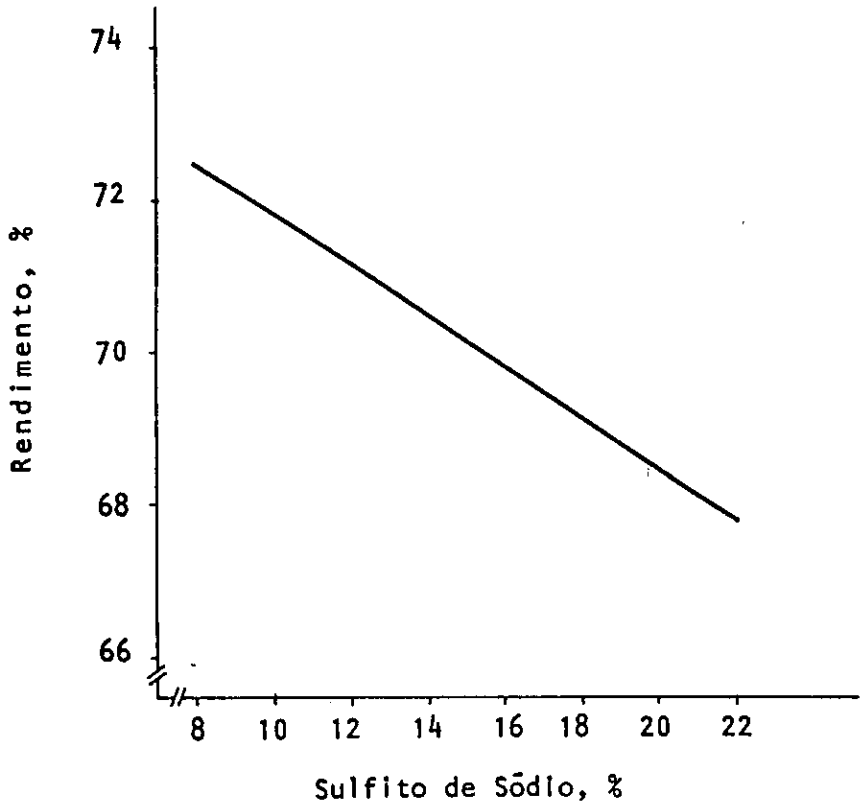


FIGURA 9 - Efeito Estimado do Sulfito de Sódio no Rendimento dos Cozimentos NSSC

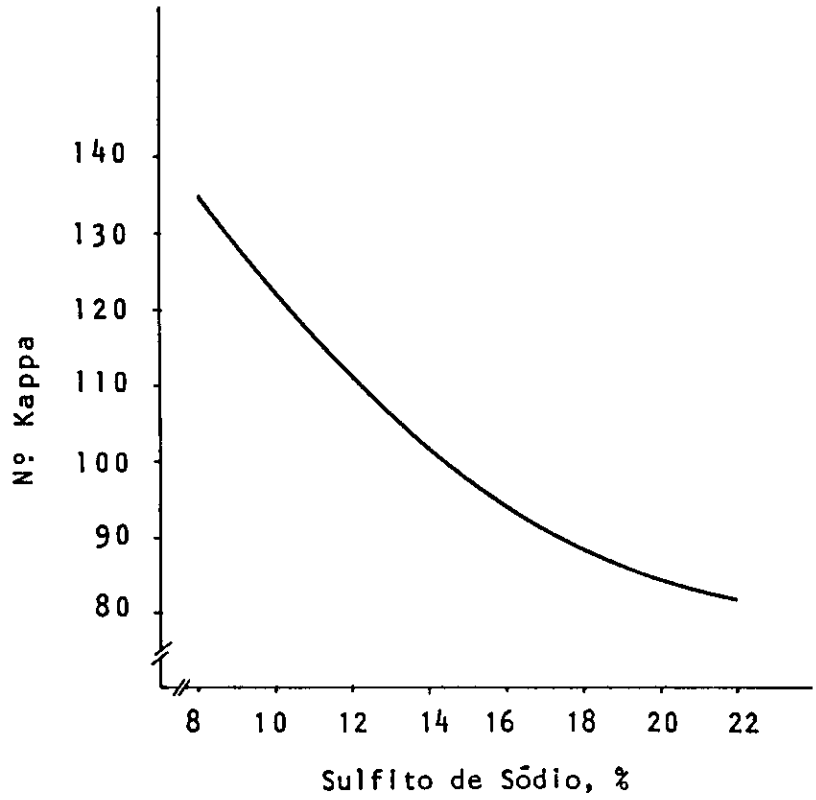


FIGURA 10 - Efeito Estimado do Sulfito de Sódio no Número Kappa das Polpas NSSC

dissolvida no licor precipitar e se depositar nas fibras. A taxa de sulfonação e remoção da lignina também é reduzida, quando a maior parte do sulfito já foi consumida, o que geralmente ocorre a um pH pouco acima de 6 (21).

Como pode ser observado no Quadro 4, o pH inicial do licor utilizado variou de 11,17 a 11,37 porém, durante o cozimento, êsse valor foi reduzido, pela reação entre o licor e os constituintes ácidos da madeira, a valores variando de 7 a 8,5. Os valores de pH do licor residual estão coerentes com a faixa de pH desejado, que deve ser de 7 a 9, indicando que as quantidades de sulfito e carbonato empregadas na polpação foram adequadas.

QUADRO 5 - Equações matemáticas do rendimento e do número kappa das polpas sulfito neutro de E. grandis

Equação*	R^2	Sy.x **
$R = 75,23 - 0,339SS$	0,78	0,86
$K = 204,912 + 0,2234SS^2 - 10,506\ SS$	0,97	3,00

* R = rendimento; K = número Kappa; SS = percentagem de sulfito de sódio.

** Sy.x = Erro padrão de estimativa da regressão

4.4.3. Propriedades de Resistências das Polpas Sulfito Neutro

No Quadro 6 são apresentadas as equações matemáticas das propriedades de resistências, em função do tempo de refino e nível de sulfito de sódio. Para obtenção dos valores das resistências em função do grau de refino, foram substituídos os níveis de sulfito de sódio na equação do grau de refino, estabele

QUADRO 6 - Equações matemáticas das propriedades de resistências das polpas sulfito neutro de E. grandis, em função do tempo de refino e nível de sulfito.

Equação*	R^2	Sy.x**
$CAR = 2,66+1,884\times10^{-3}SS.TM+0,0828TM-6,15\times10^{-4}TM^2$	0,77	1,06
$IR = 33,276+1,759TM-0,0354TM^2+1,66\times10^{-4}TM^3+$ $+0,0333SS.TM$	0,55	16,90
$IA =-7,702+1,232TM-0,0161TM^2+7,66\times10^{-5}TM^3+$ $+4,34\times10^{-3}SS.TM+0,645SS$	0,91	5,06
$VEA = 2,685-0,0256TM+3,34\times10^{-4}TM^2-1,6\times10^{-6}TM^3-$ $-0,0214SS+5,95\times10^{-5}.SS.TM$	0,95	0,06
$AL = -0,175+0,0512TM-5,56\times10^{-4}TM^2+2,44\times10^{-6}TM^3+$ $+0,0317SS$	0,78	0,37
$DA = 0,358+4,998\times10^{-3}TM-6,26\times10^{-5}TM^2+2,92\times10^{-7}TM^3+$ $1,63\times10^{-5}SS.TM+4,41\times10^{-3}SS$	0,94	0,01
$SR = 13,504+0,101TM+8,08\times10^{-3}TM^2-4,43\times10^{-7}TM^4+$ $9,59\times10^{-3}SS.TM$	0,98	3,12

*CAR = comprimento de auto-ruptura, em km; IR = índice de rasgo; IA = índice de arrebentamento; VEA = volume específico aparente, em cm^3/g; AL = alongamento, em%; DA = densidade aparente, em g/cm^3; SR = grau de refino; SS = percentagem de sulfito de sódio; TM = tempo de refino, em minutos.

** Sy.x = Erro padrão de estimativa da regressão.

cendo-se equações para cada nível de sulfito. A partir dessas equações, foi elaborado um programa para obtenção das resistências nos graus de refino determinados.

4.4.3.1. Resistência à Tração

Os valores experimentais, expressos pelo comprimento de auto-ruptura, constam dos Quadros 1A e 5A (Apêndice).

Nas Figuras 11 e 12 são apresentados os valores estimados do comprimento de auto-ruptura, em função do grau de refino, das polpas obtidas com 8 a 22% de sulfito de sódio.

Analisando a Figura 11, pode-se observar que as polpas apresentaram bom desenvolvimento da resistência à tração, principalmente no início do refino. Acima de 60°SR, as resistências das polpas obtidas com 8, 10 e 12% de sulfito tendem a diminuir, enquanto a resistência da polpa de 14% continua a evoluir.

As polpas obtidas com 16 a 22% de sulfito de sódio demonstraram melhor desenvolvimento da resistência à tração, o que pode ser observado na Figura 12. Essas polpas apresentaram melhores valores para o comprimento de auto-ruptura com o prolongamento da ação do refino.

4.4.3.2. Resistência ao Rasgo

Nos Quadros 3A e 7A (Apêndice) são apresentados os valores experimentais da resistência ao rasgo, expressos pelo índice de rasgo.

Os valores estimados do índice de rasgo em função do grau de refino podem ser vistos nas Figuras 13 e 14.

Observando essas Figuras, verifica-se que os valores para a resistência ao rasgo foram baixos. As polpas obtidas com 8 e 10% de sulfito (Figura 13), apresentaram valores máximos para essa resistência a 33 e 36°SR, respectivamente, havendo decréscimo acentuado dessa resistência em níveis mais altos de refino.

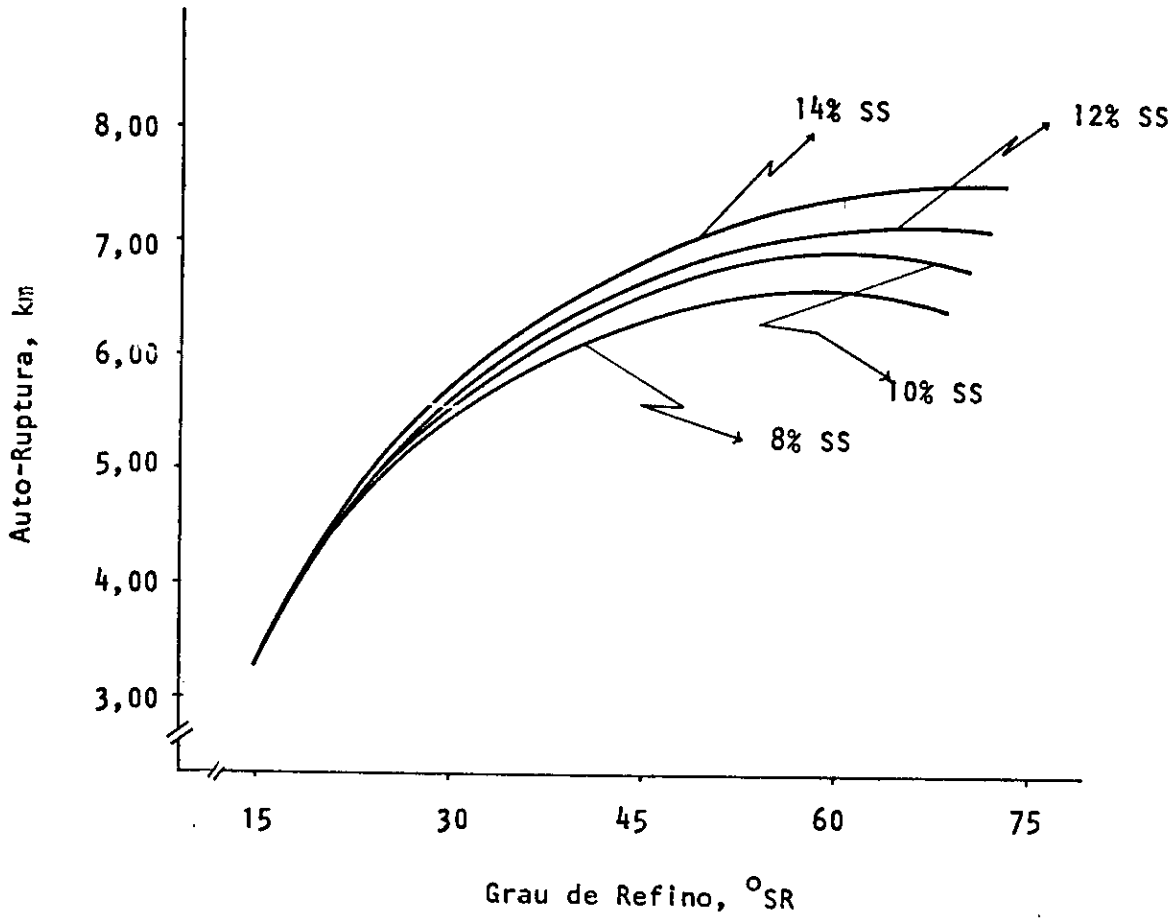


FIGURA 11 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Comprimento de Auto-Ruptura das Polpas NSSC Obtidas com 8,10, 12 e 14% de Sulfito de Sódio

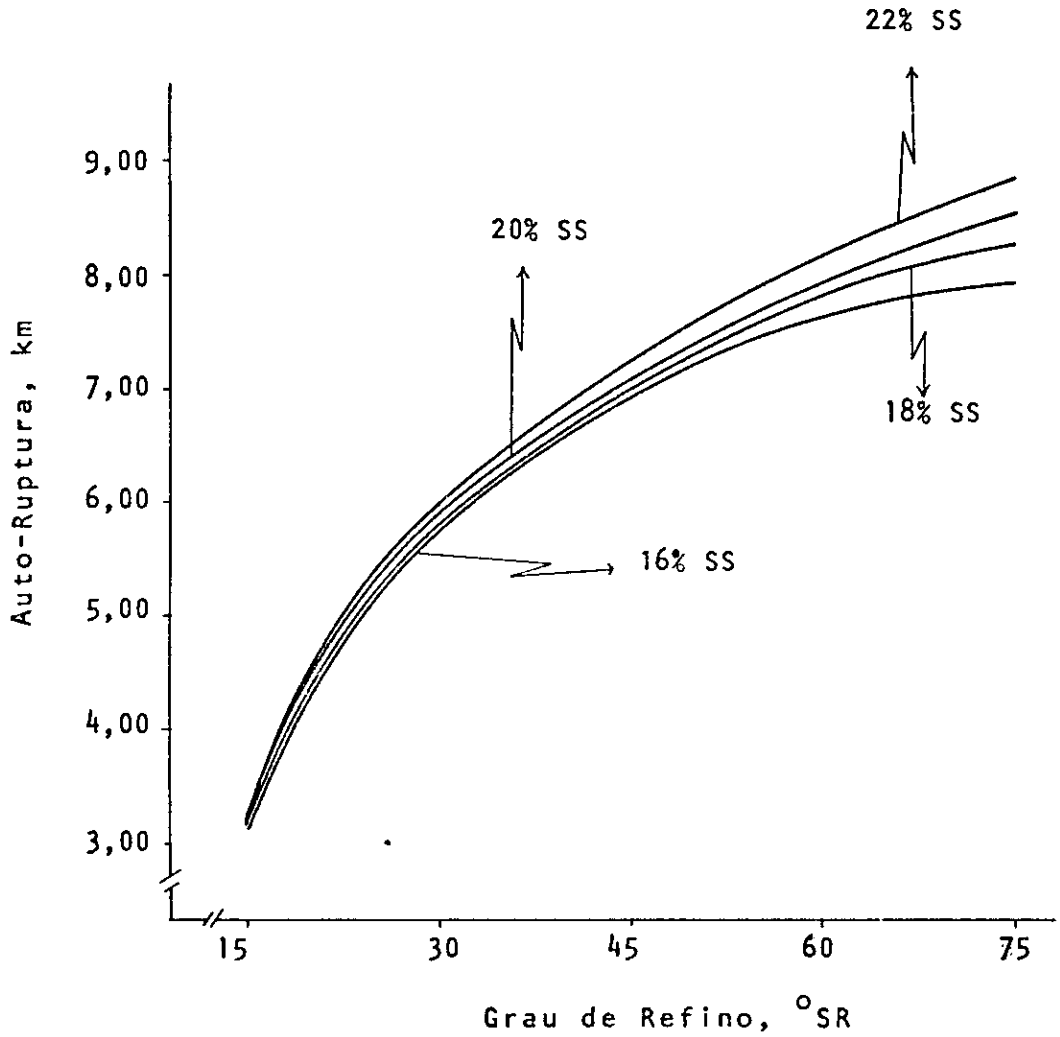


FIGURA 12 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Comprimento de Auto-Ruptura das Polpas NSSC obtidas com 16, 18, 20 e 22% de Sulfito de Sódio

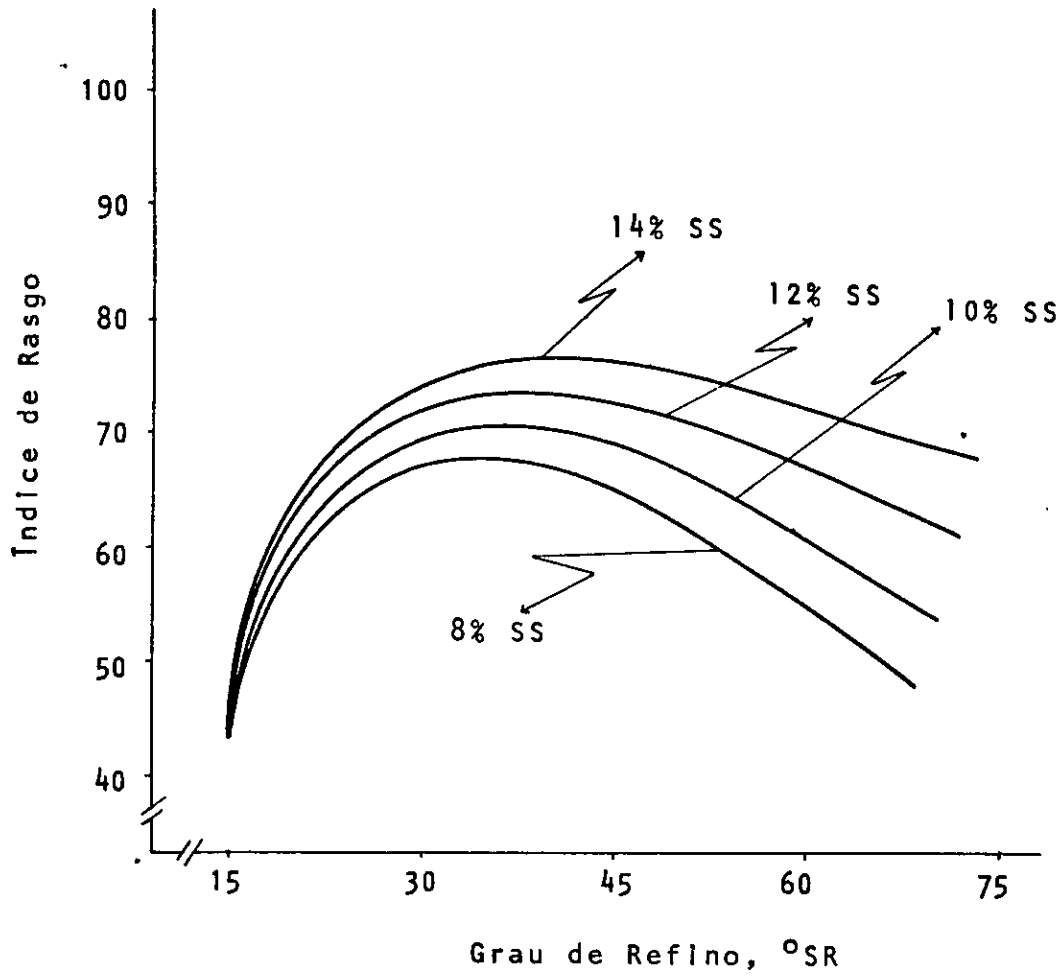


FIGURA 13 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Índice de Rasgo das Polpas NSSC Obtidas com 8, 10, 12 e 14% de Sulfito de Sódio

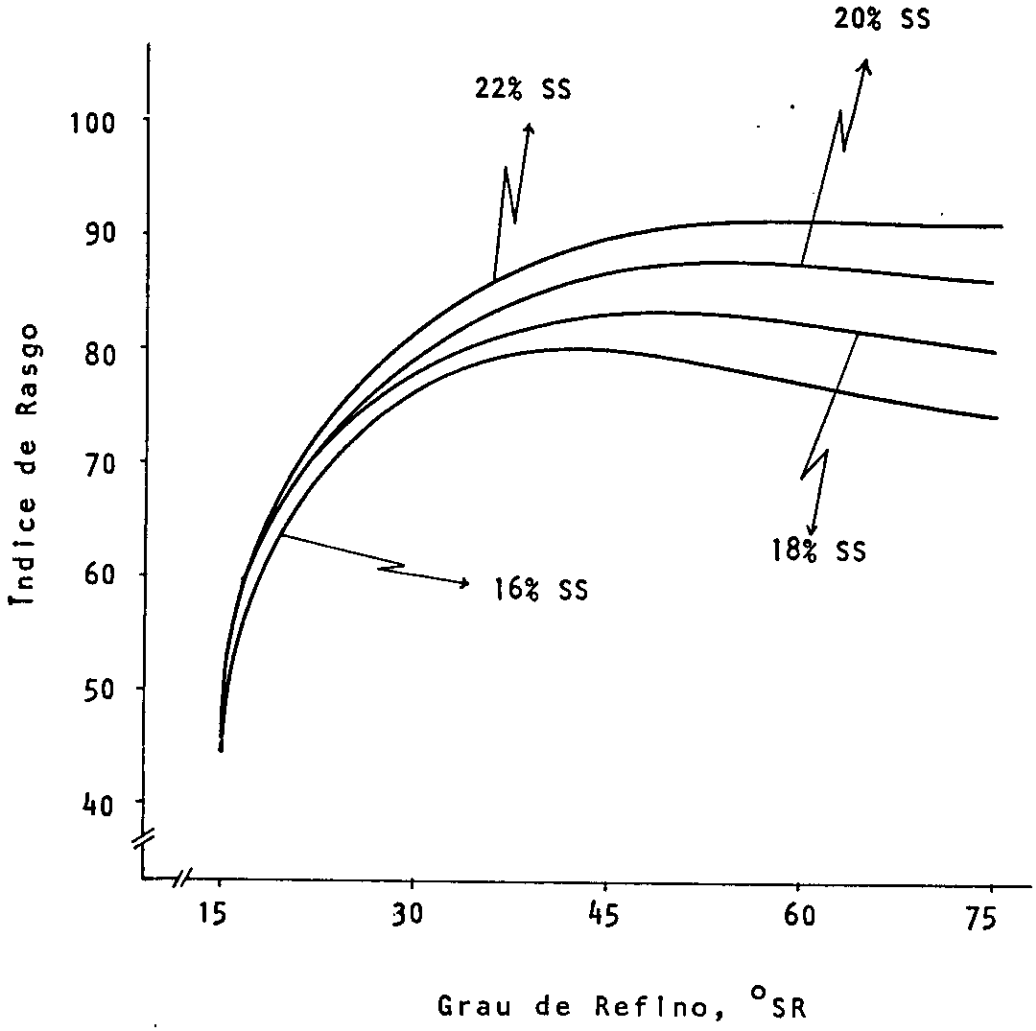


FIGURA 14 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Índice de Rasgo das Polpas NSSC Obtidas com 16, 18, 20 e 22% de Sulfito de Sódio

Observando
Analisando a Figura 13, é possível observar que a resistência ao rasgo para as polpas de 12 a 14% de sulfito, alcançaram valores máximos a 39 e 42°SR, respectivamente, havendo redução dêsses valores à partir de 45°SR.

As polpas obtidas com 16 a 22% de sulfito (Figura 14), atingiram a resistência máxima a 42, 48, 51 e 54°SR, respectivamente, havendo, a partir daí, diminuição nos valores dessa resistência para as polpas de 16 e 18%, enquanto os valores para as polpas de 20 e 22% apresentaram tendência de estabilização. Verifica-se, também, que em níveis mais altos de refino não houve redução tão acentuada da resistência ao rasgo, em comparação com as polpas produzidas com 8 a 14% de sulfito de sódio.

4.4.3.3. Resistência ao Arrebentamento

Nos Quadros 2A e 6A (Apêndice) encontram-se os valores experimentais referentes à essa resistência.

Nas Figuras 15 e 16 são apresentados os valores estimados para a resistência ao arrebentamento das polpas produzidas com 8 a 22% de sulfito, em relação ao grau de refino. Analisando essas Figuras, verifica-se que a resistência ao arrebentamento apresentou significativo aumento de 15 para 30°SR, havendo a partir daí, menor acréscimo nos valores dessa resistência. Os valores obtidos foram baixos, sendo 50 o maior valor alcançado.

Tanto as polpas de 8 a 14%, como as de 16 a 22% de sulfito, mantiveram a mesma proporção de aumento para a resistência ao arrebentamento, com a intensificação do refino.

4.4.3.4. Alongamento

Os valores experimentais para o alongamento, são apresentados nos Quadros 4A e 8A (Apêndice).

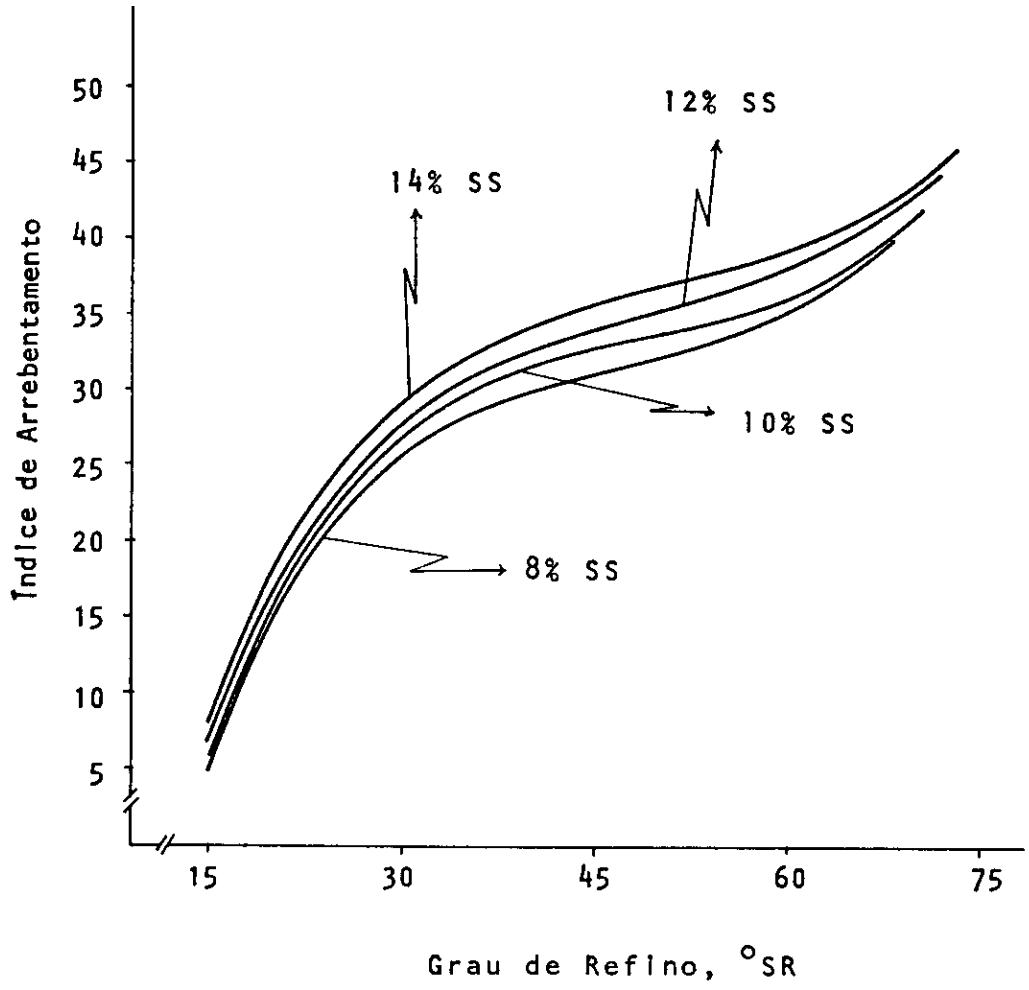


FIGURA 15 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Índice de Arrebentamento das Polpas NSSC Obtidas com 8, 10, 12 e 14% de Sulfito de Sódio

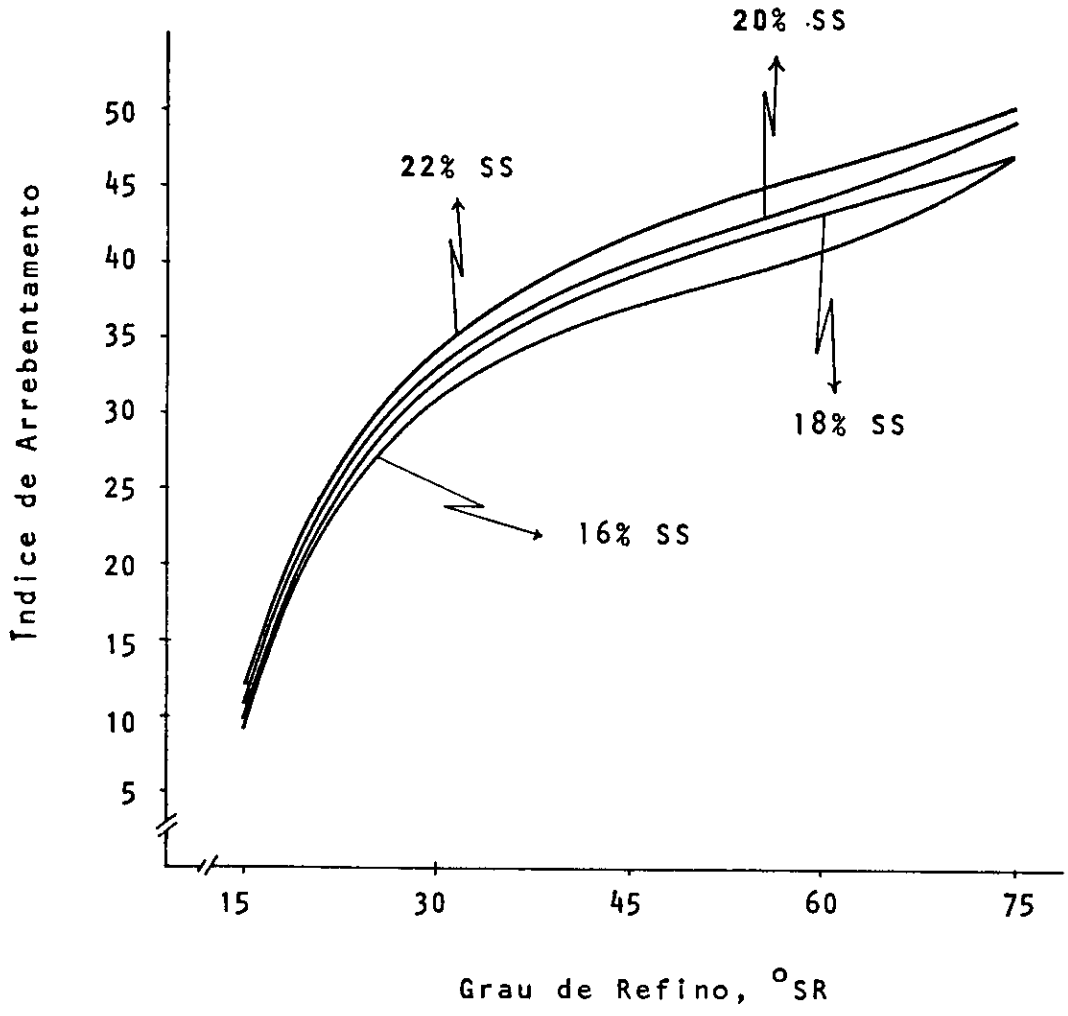


FIGURA 16 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Índice de Arrebentamento das Polpas NSSC Obtidas com 16, 18, 20 e 22% de Sulfito de Sódio

Nas Figuras 17 e 18 pode ser observado o efeito estimado do grau de refino no alongamento para as polpas obtidas com 8 a 22% de sulfito de sódio. Com o prolongamento do refino, as polpas apresentaram bom desenvolvimento do alongamento, principalmente no início do refino.

4.4.3.5. Densidade Aparente

A densidade está relacionada com a porosidade e resistência do papel, influenciando, também, as propriedades físicas e óticas do papel.

Nas Figuras 19 e 20 observa-se a influência estimada do grau de refino na densidade aparente das polpas produzidas com 8 a 22% de sulfito. As polpas demonstraram aumento da densidade aparente com a intensificação do refino, principalmente nos níveis mais baixos de refino.

4.4.3.6. Volume Específico

A influência estimada do grau de refino no volume específico é demonstrada nas Figuras 21 e 22. As polpas produzidas com 8 a 14% de sulfito apresentaram maiores valores para o volume específico, ou seja menor densidade que as polpas de 16 a 22%.

De modo geral, as polpas NSSC apresentaram resistências razoàvelmente baixas, condizentes com o processo de polpação empregado.

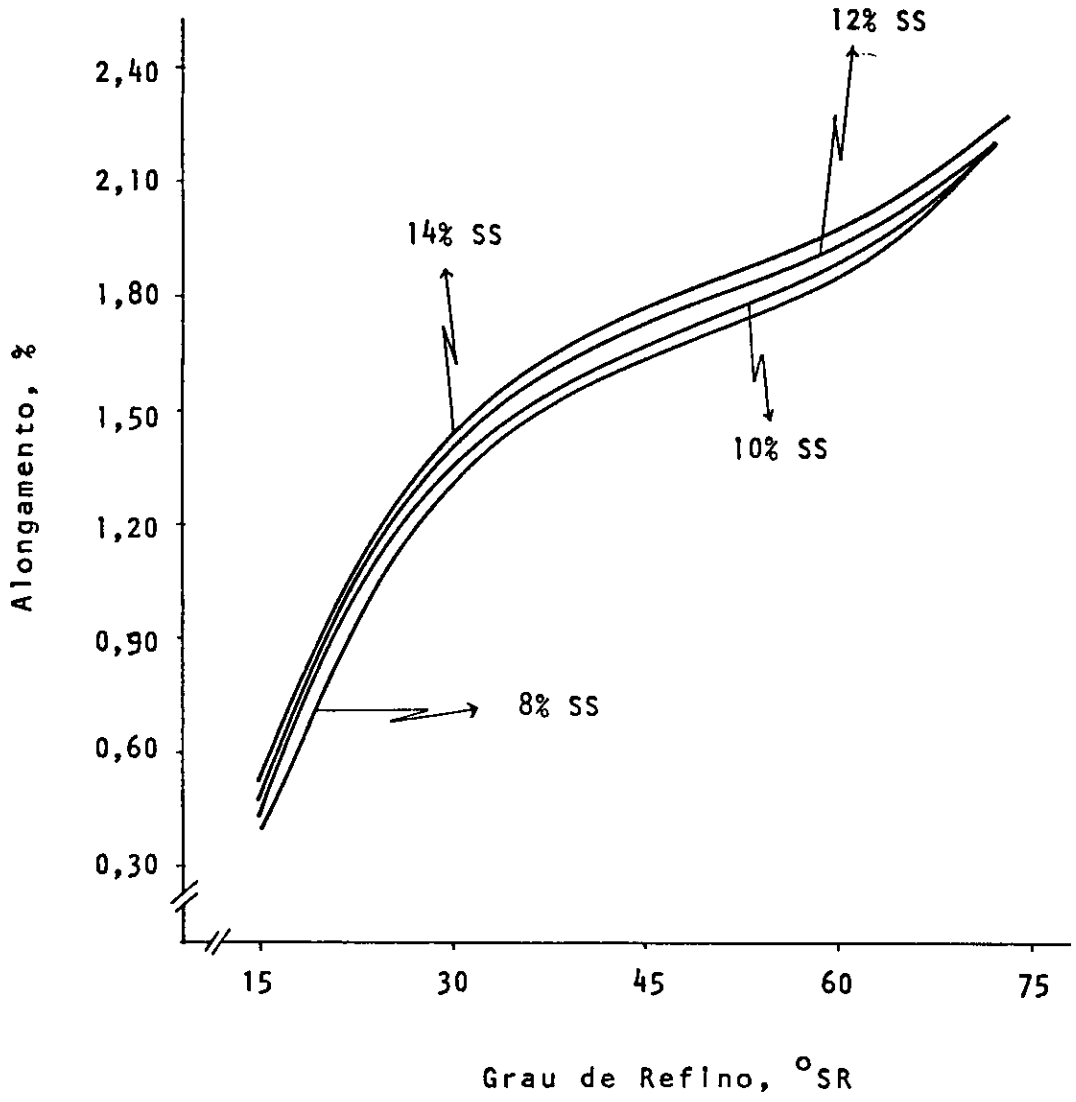


FIGURA 17 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Alongamento das Polpas NSSC Obtidas com 8, 10, 12 e 14% de Sulfito de Sódio

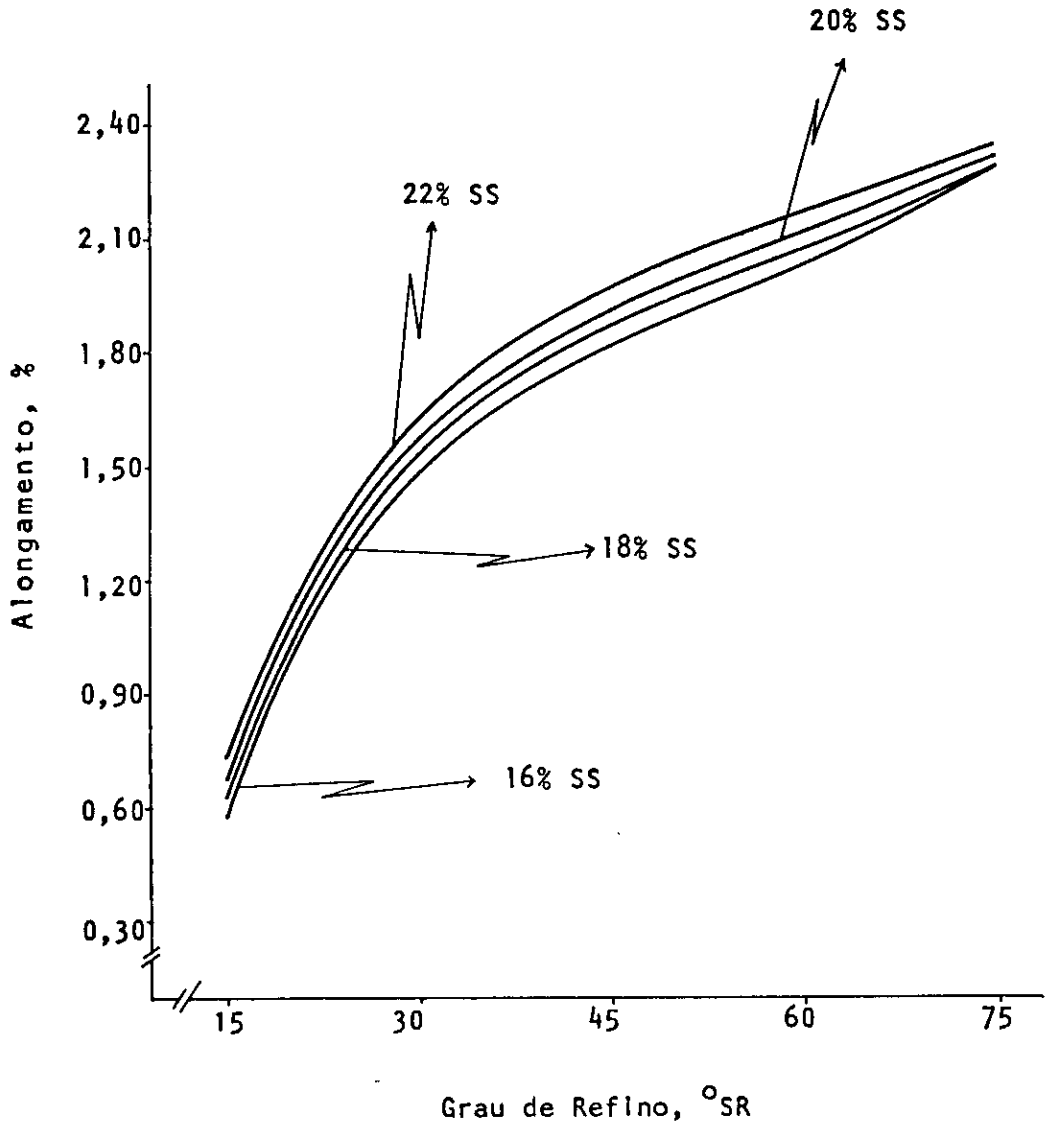


FIGURA 18 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Alongamento das Polpas NSSC Obtidas com 16, 18, 20 e 22% de Sulfito de Sódio

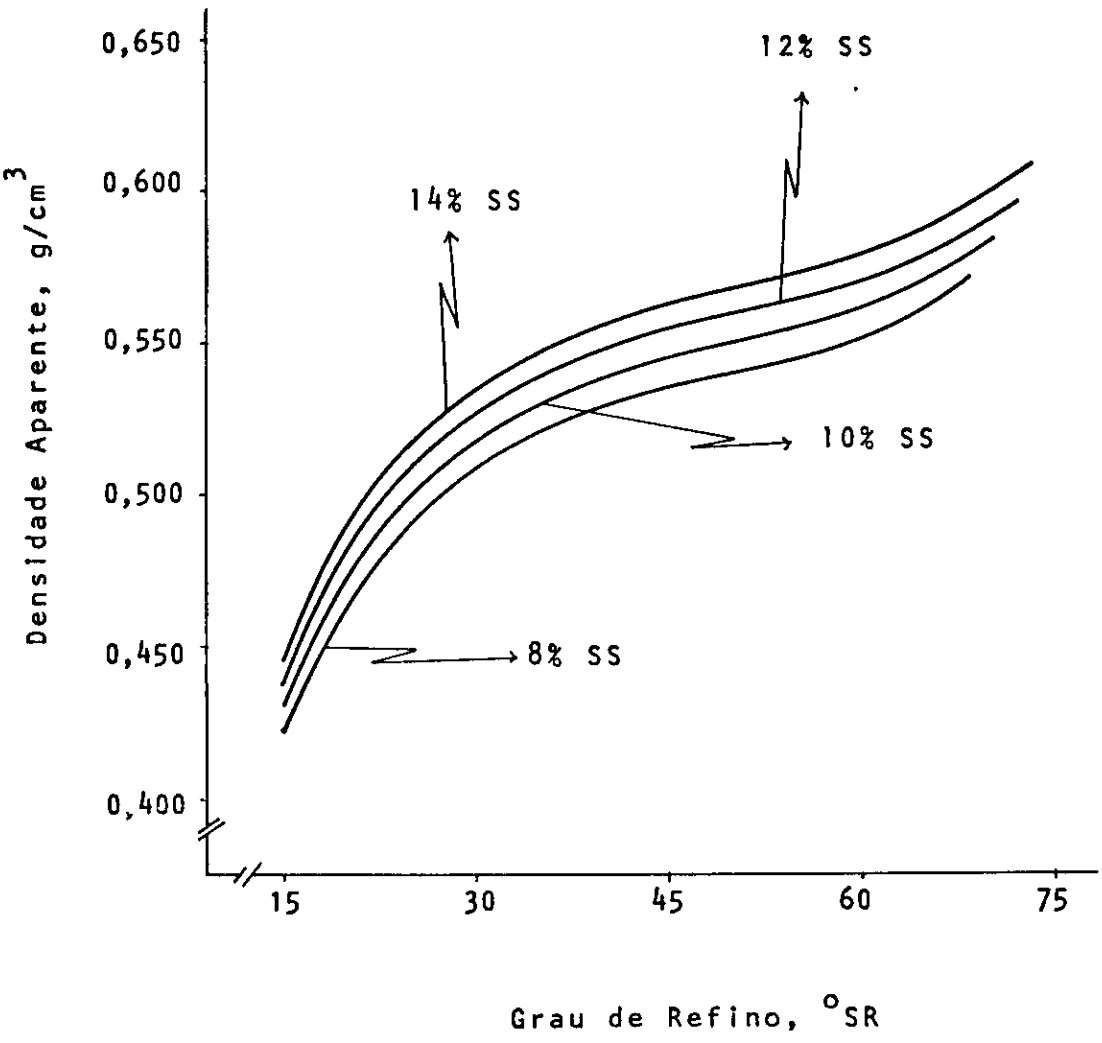


FIGURA 19 -Efeito Estimado do Grau de Refino na Densidade Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 8, 10, 12 e 14% de Sulfito de Sódio

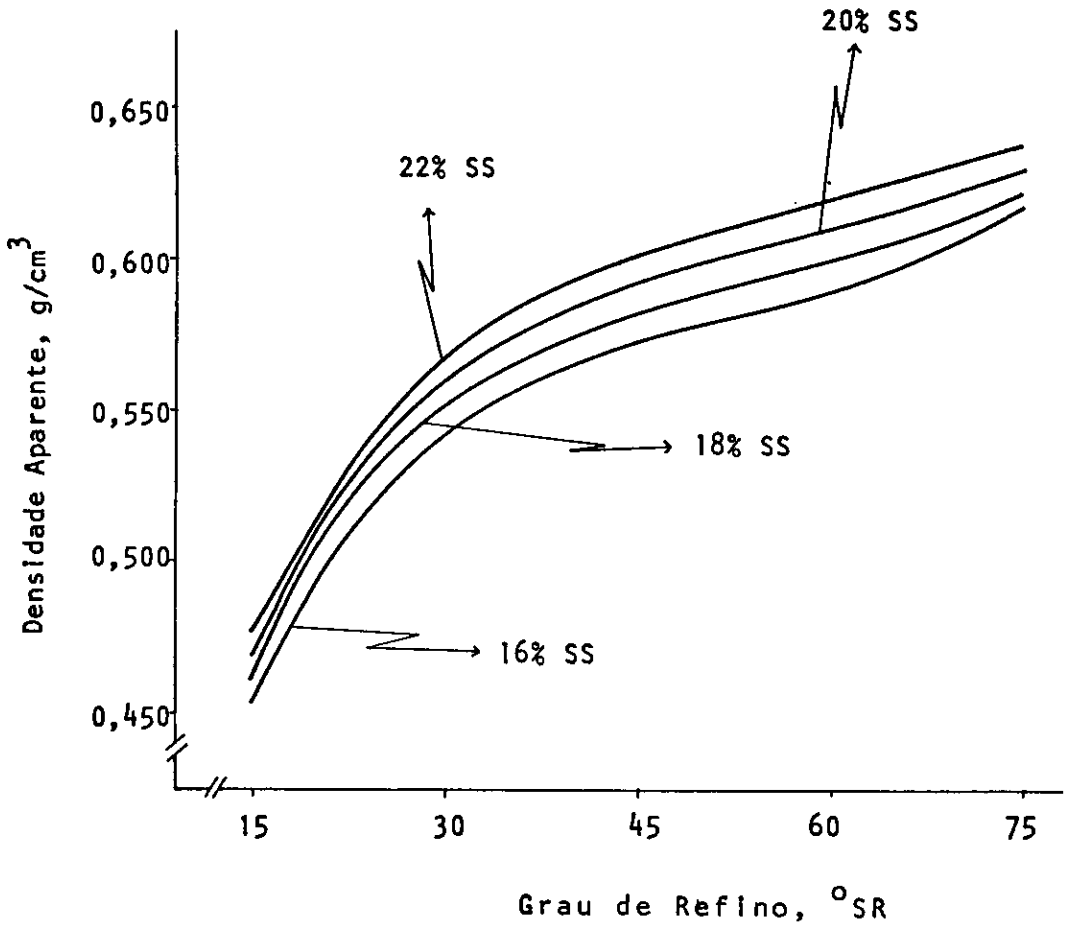


FIGURA 20 - Efeito Estimado do Grau de Refino na Densidade Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 16, 18, 20 e 22% de Sulfito de Sódio

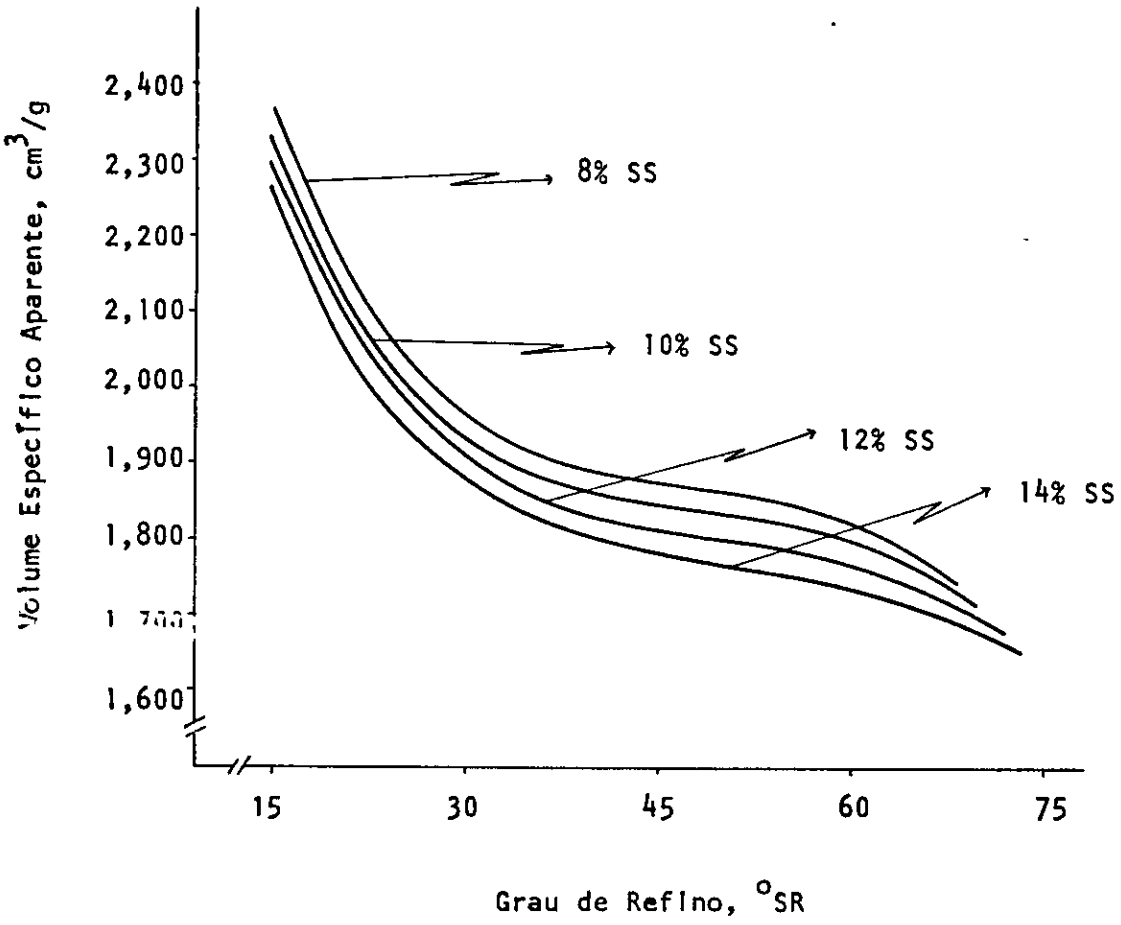


FIGURA 21 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Volume Específico Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 8, 10, 12 e 14% de Sulfito de Sódio

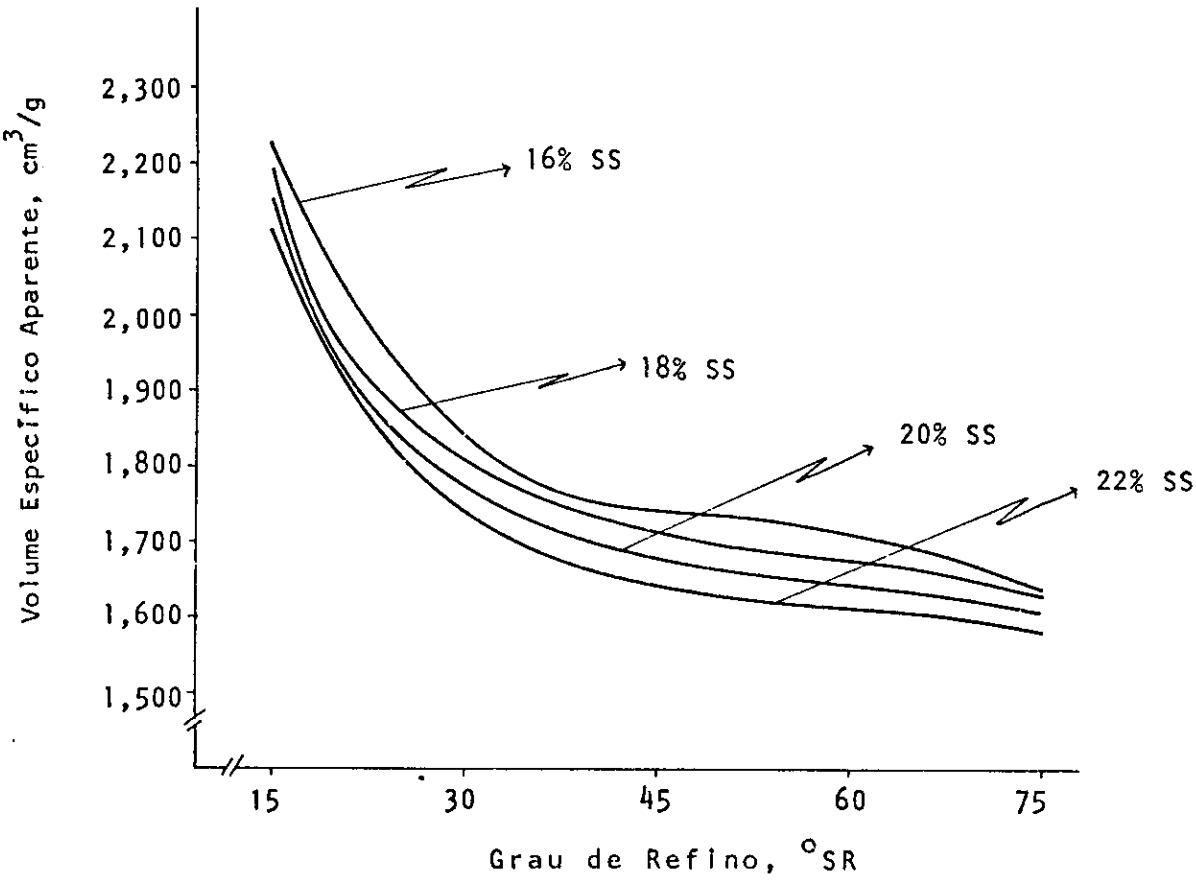


FIGURA 22 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Volume Específico Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 16, 18, 20 e 22% de Sulfito de Sódio

4.5. Polpação Sulfito Neutro com Adição de Antraquinona

Foram realizados cozimentos NSSC, com adição de diferentes dosagens de antraquinona (AQ), utilizando 9, 13, 17 e 21% de sulfito de sódio. O objetivo foi verificar a eficiência dêsse aditivo na deslignificação, rendimento e resistências físico-mecânicas das polpas produzidas. Os resultados referentes à polpação NSSC-AQ, encontram-se no Quadro 7.

A partir dos valores apresentados nêsse Quadro, foram estabelecidas equações matemáticas (Quadro 8), em função dos níveis de sulfito de sódio e de antraquinona, para o rendimento e o número kappa.

QUADRO 7 - Resultados da polpação sulfito neutro de Eucalyptus grandis com adição de diferentes níveis de antraquinona

Na_2SO_3	Na_2CO_3	Antraquinona	Rendimento	Número	pH do Licor	
%	%	%	%	kappa	Inicial	Final
9	4,5	0,00	76,7	118	11,30	7,58
9	4,5	0,05	75,8	117	11,35	7,01
9	4,5	0,10	73,5	112	11,72	7,50
9	4,5	0,50	73,2	108	11,40	7,87
13	6,5	0,00	74,3	102	11,40	8,49
13	6,5	0,05	73,3	98,4	11,32	8,44
13	6,5	0,10	72,8	97,1	11,55	8,26
13	6,5	0,50	72,0	93,7	11,50	8,28
17	3,4	0,00	72,8	97,1	11,10	7,75
17	3,4	0,05	72,6	92,4	11,20	8,44
17	3,4	0,10	72,2	88,8	11,67	8,40
17	3,4	0,50	71,2	88,3	11,20	8,23
21	4,2	0,00	72,6	92,5	11,15	8,32
21	4,2	0,05	72,8	89,6	11,17	8,00
21	4,2	0,10	72,4	88,7	11,00	8,55
21	4,2	0,50	70,7	78,5	11,20	8,65

QUADRO 8 - Equações matemáticas do rendimento e do número kappa das polpas NSSC-AQ de E. grandis.

Equação *	R^2	Sy.x**
$R = 82,815-14,333AQ+37,808AQ^3-0,9904SS+0,0256SS^2$	0,82	0,70
$K = 173,396-60,221AQ+158,974AQ^3-7,791SS+0,188SS^2$	0,96	2,34

* R = rendimento; K= número Kappa; AQ = percentagem de antraquinona, base madeira a.s.; SS=percentagem de sulfito de sódio , base madeira a.s..

** Sy.x = Erro-padrão de estimativa da regressão.

4.5.1. Deslignificação

A adição de antraquinona causou aumento uniforme na taxa de deslignificação, em todos os níveis de sulfito adotados na polpação, o que é demonstrado nas Figuras 23 e 24.

Analisando essas Figuras, verifica-se que o uso de 0,05% de AQ permitiu uma redução de 3 unidades no número kappa, enquanto a adição de 0,1% de AQ, causou uma diminuição de cerca de 6 unidades. O uso de 0,5% dêsse aditivo demonstrou ação deslignificadora mais intensa, proporcionando uma redução de 10 unidadesno número kappa.

A maior eficiência demonstrada pela AQ, quando da aplicação de 0,5%, provàvelmente, se deve ao fato do licor de cozimento NSSC ser levemente alcalino, e para que haja maior ação da antraquinona como agente de deslignificação, torna-se necessário o uso de maiores dosagens que as normalmente usadas nos processos alcalinos de polpação.

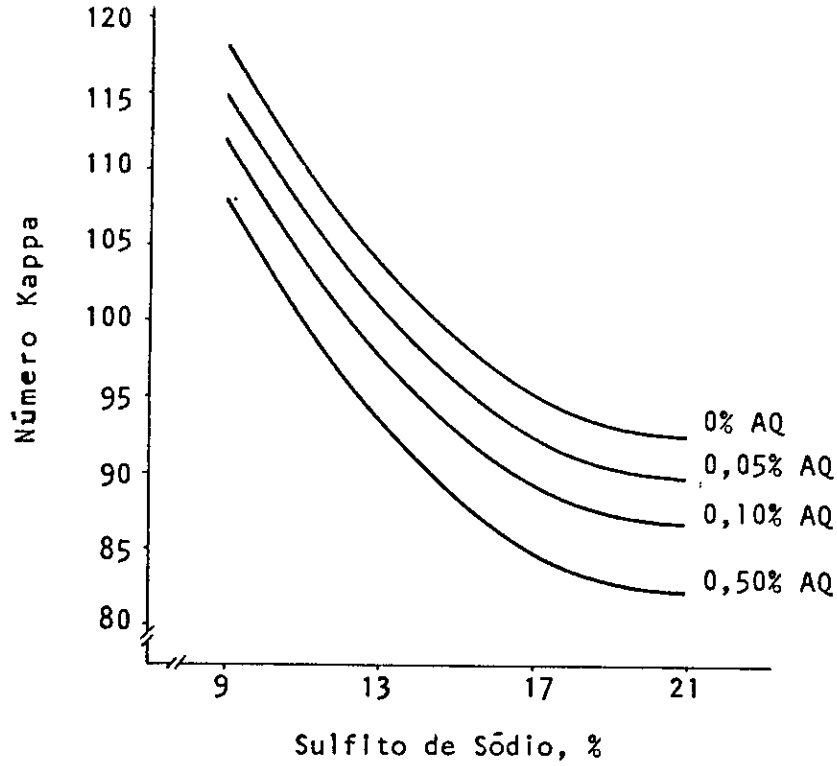


FIGURA 23 - Efeito Estimado do Sulfito de Sódio no Número Kappa, das Polpas NSSC, com Adição de Diferentes Níveis de Antraquinona

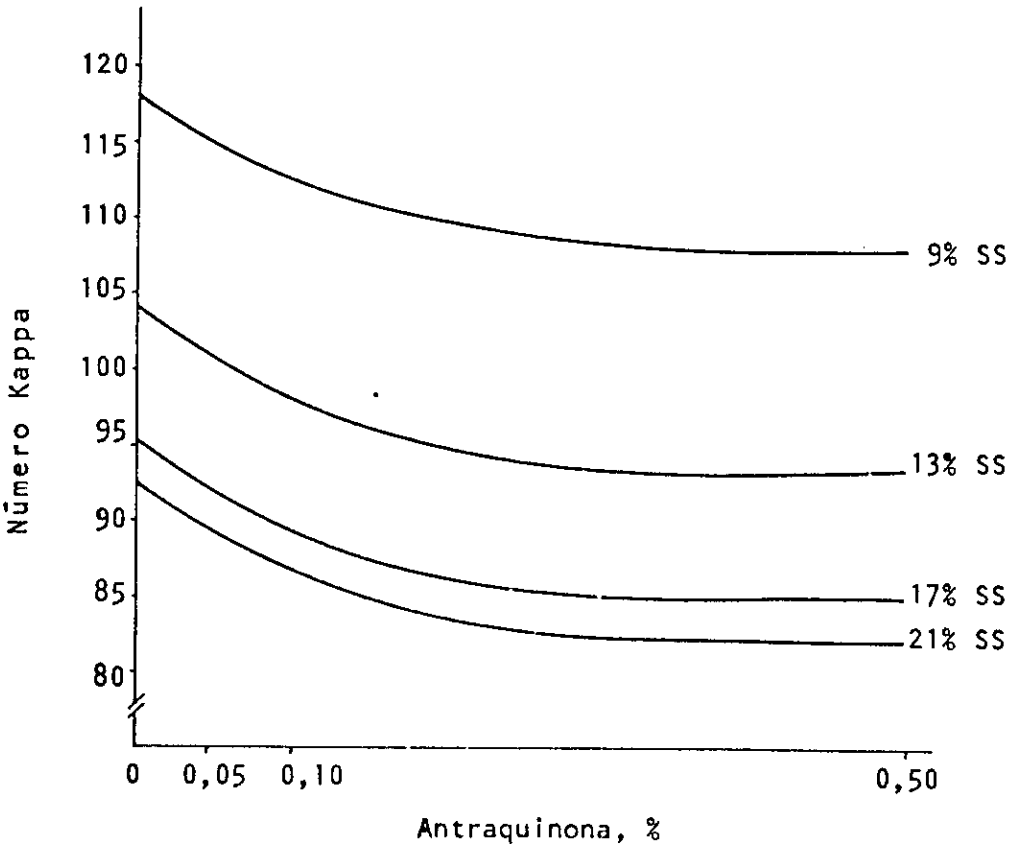


FIGURA 24 - Efeito Estimado da Antraquinona no Número Kappa em Função do Nível de Sulfito de Sódio, das Polpas NSSC

Na Figura 24 pode ser observado que em dosagens acima de cerca de 0,30% a ação deslignificadora da AQ apresentou tendência de estabilização.

4.5.2. Rendimento

O aumento da doagem de AQ contribuiu para decréscimo no rendimento, o que pode ser explicado pela ação deslignificadora da AQ (Figuras 25 e 26). Observando essas Figuras, é possível notar que a diminuição no rendimento ocorreu de modo uniforme, para todos os níveis de sulfito de sódio usados na deslignificação da madeira. Verifica-se que houve redução mais pronunciada, quando foi usado o nível de 0,5% de AQ, tendo, entretanto, sido observada uma tendência de estabilização do rendimento em dosagens de AQ acima de cerca de 0,30%.

4.5.3. pH do Licor Residual

Os valores para o pH do licor residual são apresentados no Quadro 7. Êsses valores foram coerentes com a faixa de pH desejado (7 a 9).

4.5.4. Propriedades Físico-mecânicas das Polpas Sulfito Neutro-AQ.

No Quadro 9 são apresentadas as equações matemáticas das propriedades de resistências em função do tempo de refino , nível de sulfito e nível de AQ. Para obtenção dos valores das resistências em função do grau de refino, foram substituidos os níveis de sulfito de sódio e de AQ na equação do grau de refino, estabelecendo-se equações para cada nível de sulfito com o respectivo nível de AQ. A partir dessas equações, foi elaborado um programa para obtenção das resistências nos graus de refino determinados.

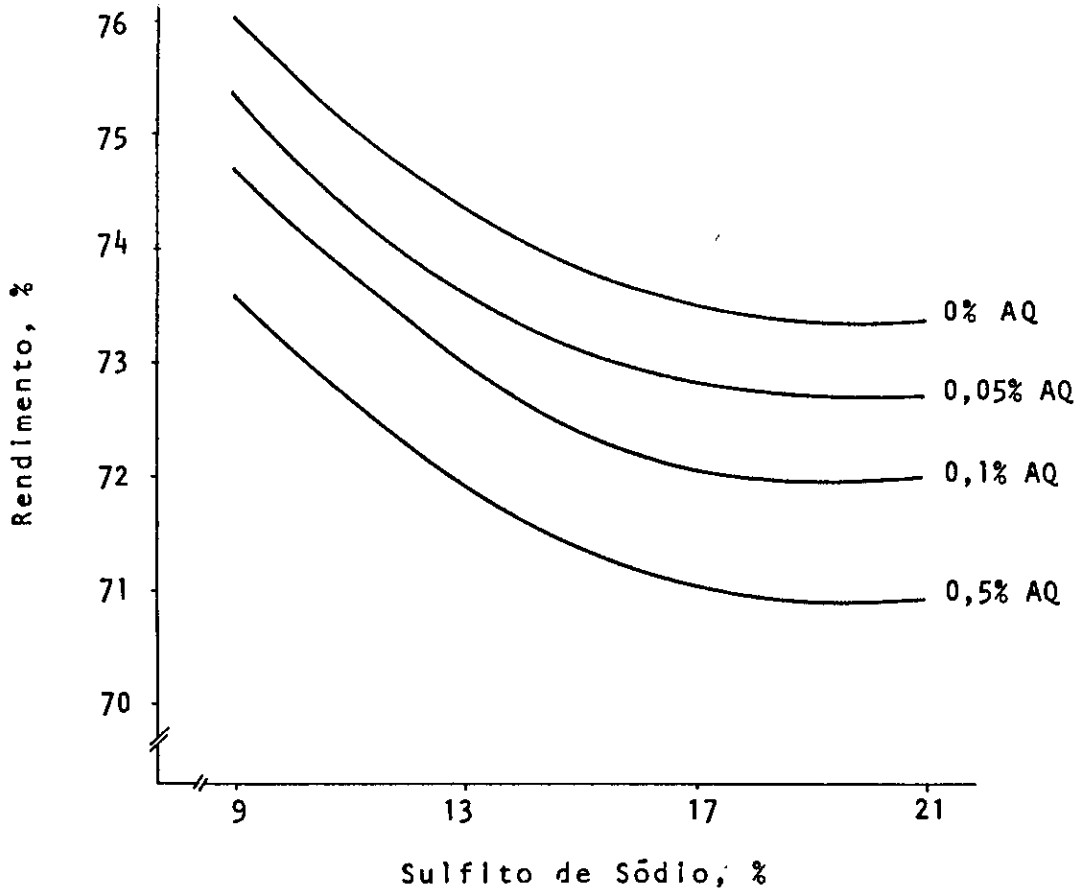


FIGURA 25 - Efeito Estimado do Sulfito de Sódio no Rendimento, em Cozimentos NSSC, com Adição de Diferentes Níveis de Antraquinona

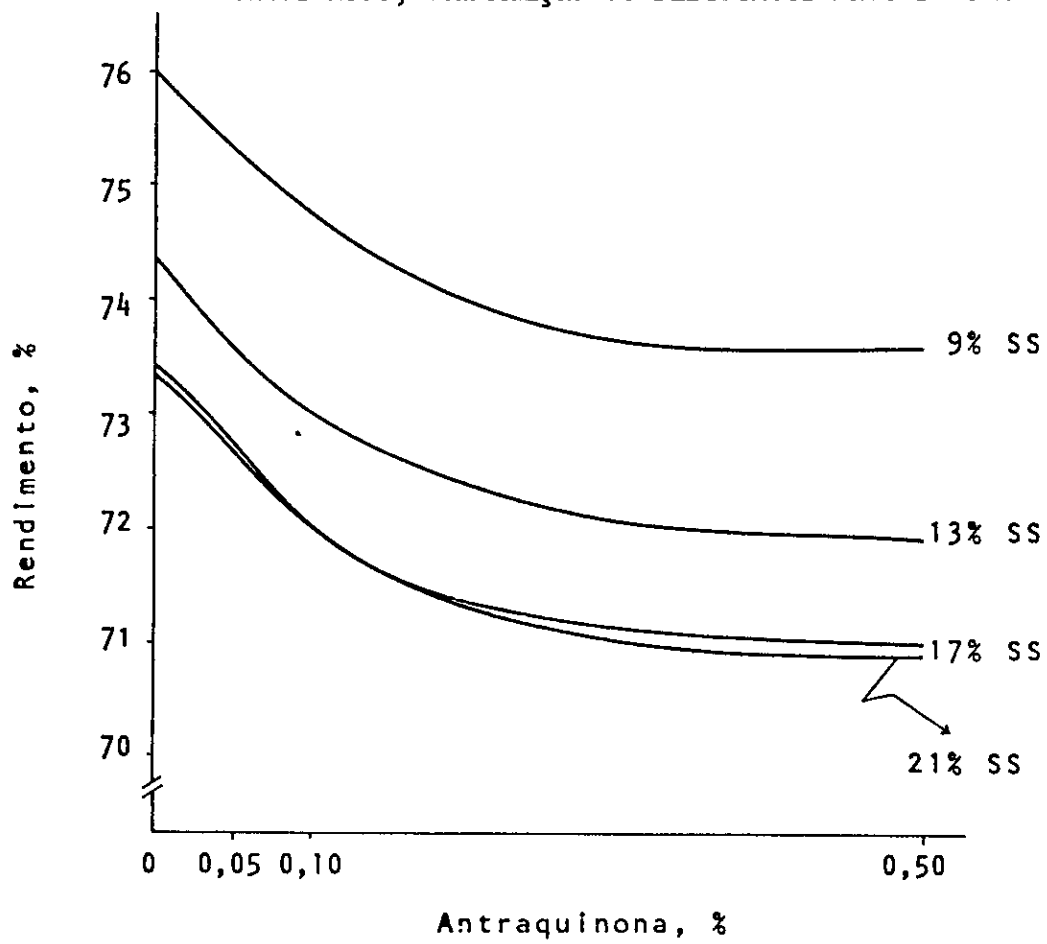


FIGURA 26 - Efeito Estimado da Antraquinona no Rendimento, em Função do Nível de Sulfito de Sódio, no pro-

QUADRO 9 - Equações matemáticas das propriedades de resistências das polpas NSSC—AQ de E. grandis

Equação*	R^2	Sy.x**
$CAR = 0,958+0,189TM-2,582\times10^{-3}TM^2+1,29\times10^{-5}TM^3+$ $+0,1047.SS+9\times10^{-3}TM.SS.AQ$	0,85	0,91
$IA = -11,449+1,447TM-0,0186TM^2+9,31\times10^{-5}TM^3+$ $+1,033.SS-4,534.AQ+4,85\times10^{-3}.TM.SS.AQ$	0,91	6,05
$VEA = 2,482-0,026TM+3,56\times10^{-4}TM^2-1,76\times10^{-6}TM^3-$ $-0,0102.SS-0,0747AQ$	0,96	0,05
$DA = 0,386+5,84\times10^{-3}TM-7,29\times10^{-5}TM^2+3,69\times10^{-7}TM^3+$ $+2,93\times10^{-3}.SS+0,0125AQ+1,47\times10^{-5}TM.SS.AQ$	0,96	0,01
$AL = 0,522+0,0638TM-8,35\times10^{-4}TM^2+3,9\times10^{-6}TM^3+$ $+3,76\times10^{-4}.TM.SS.AQ$	0,77	0,39
$SR = 13,734+9,72\times10^{-3}TM^2-4,18\times10^{-5}TM^3-2,767.AQ+$ $+4,46\times10^{-3}.TM.SS.AQ$	0,97	3,26

*CAR=comprimento de auto-ruptura em km; IA=índice de arrebentamento; VEA=volume específico aparente, em cm^3/g; DA = densidade aparente, em g/cm^3; AL = alongamento, em %; SR=grau de refino; TM=tempo de refino, em minutos; SS=percentagem de sulfito de sódio; AQ = percentagem de antraquinona.

** Sy.x = Erro-padrão de estimativa da regressão.

4.5.4.1. Resistência à Tração

Os valores experimentais, expressos pelo comprimento de auto-ruptura, encontram-se nos Quadros 9A, 13A, 17A e 21A (Apêndice).

Nas Figuras 27 e 28 pode ser observado o efeito estimado do grau de refino no comprimento de auto-ruptura das polpas para papelão, obtidas com 9 e 13% de sulfito e diferentes níveis

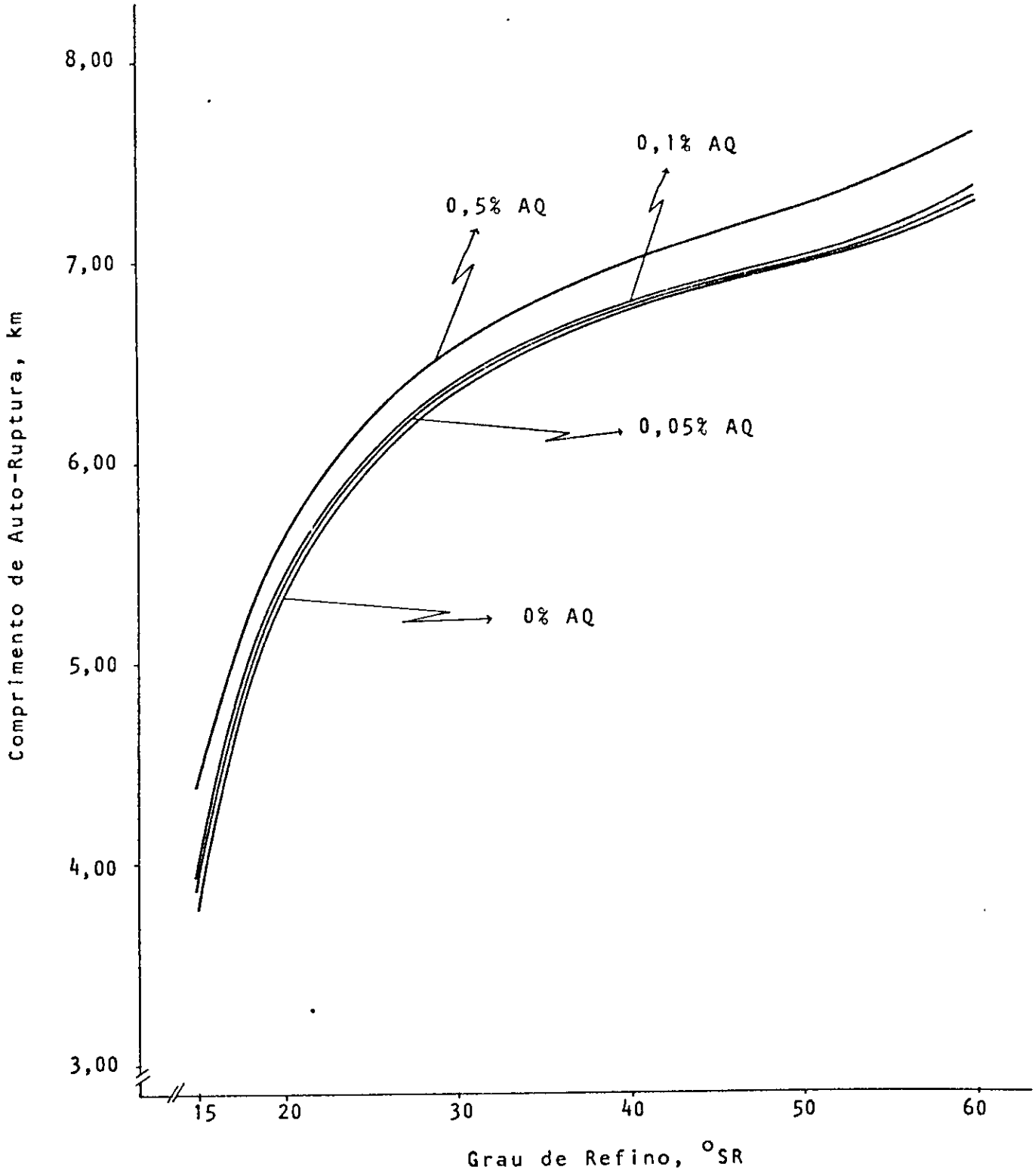


FIGURA 27 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Comprimento de Auto-Ruptura das Polpas NSSC Obtidas com 9% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona

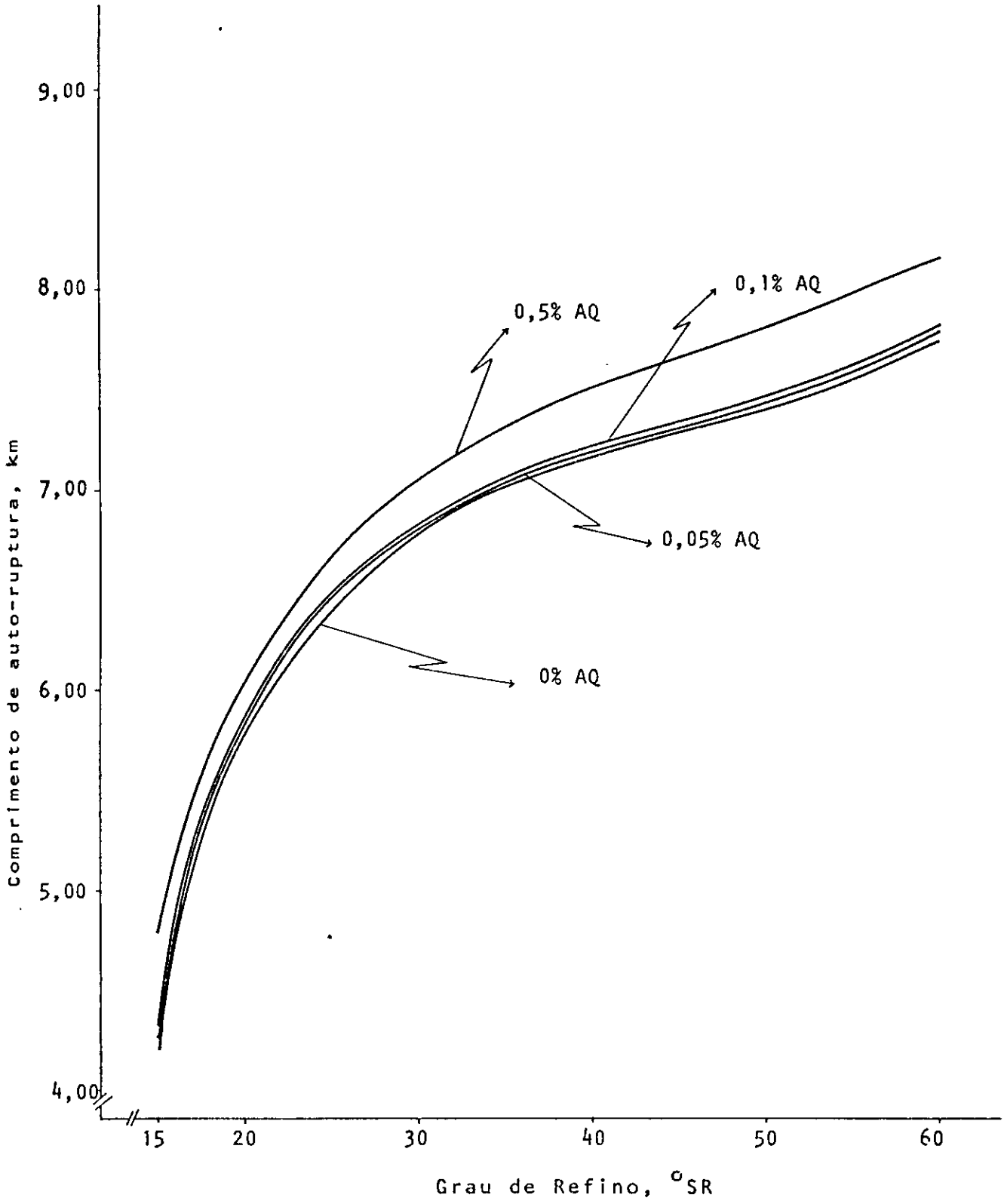


FIGURA 28 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Comprimento de Auto-Ruptura das Polpas NSSC Obtidas com 13% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona

Analisando a Figura 27, verifica-se que as polpas produzidas com 9% de sulfito e 0, 0,05 e 0,1% de AQ, apresentaram práticamente o mesmo comportamento ao longo de todo o refino. A polpa de 9% de sulfito e 0,5% de AQ demonstrou maior desenvolvimento da resistências à tração com o prolongamento da ação do refino.

As polpas de 13% de sulfito e 0, 0,05 e 0,1% de AQ (Figura 28) mostraram superioridade, em relação às polpas de 9%, quanto à resistência à tração. A polpa produzida com 13% de sulfito e 0,5% de AQ apresentou os melhores valores para essa resistência, valores êsses superiores aos apresentados pela polpa de 9%.

Nas Figuras 29 e 30 são apresentados os valores estimados do comprimento de auto ruptura em função do grau de refino, para as polpas obtidas com 17 e 21% de sulfito e diferentes níveis de AQ. Observando essas Figuras, é possível notar que essas polpas responderam bem melhor ao refino, em comparação com as polpas anteriores (Figuras 27 e 28), inclusive nos níveis mais baixos de AQ, havendo um desenvolvimento mais pronunciado da resistência à tração para o nível de 0,5% de AQ.

4.5.4.2. Resistência ao Rasgo

Para essa propriedade, não foi possível encontrar um modelo de regressão, dentre os testados, que se ajustasse, com precisão, aos dados experimentais.

Os valores experimentais da resistência ao rasgo, expressos pelo índice de rasgo, constam dos Quadros 11A, 15A, 19A e 23A (Apêndice).

No Quadro 10 são apresentados os valores médios expe-

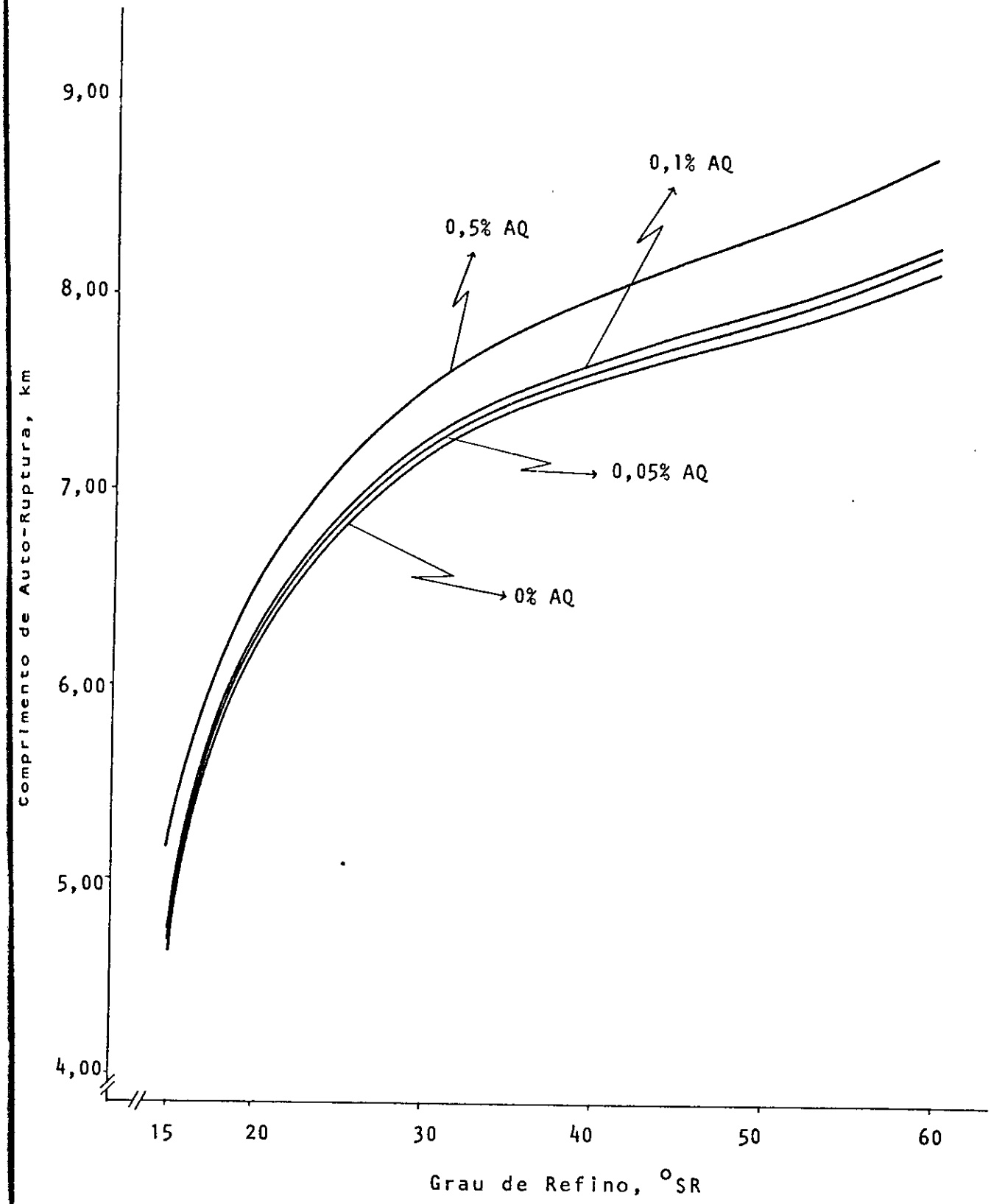


FIGURA 29 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Comprimento de Auto-Ruptura das Polpas NSSC Obtidas com 17% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona

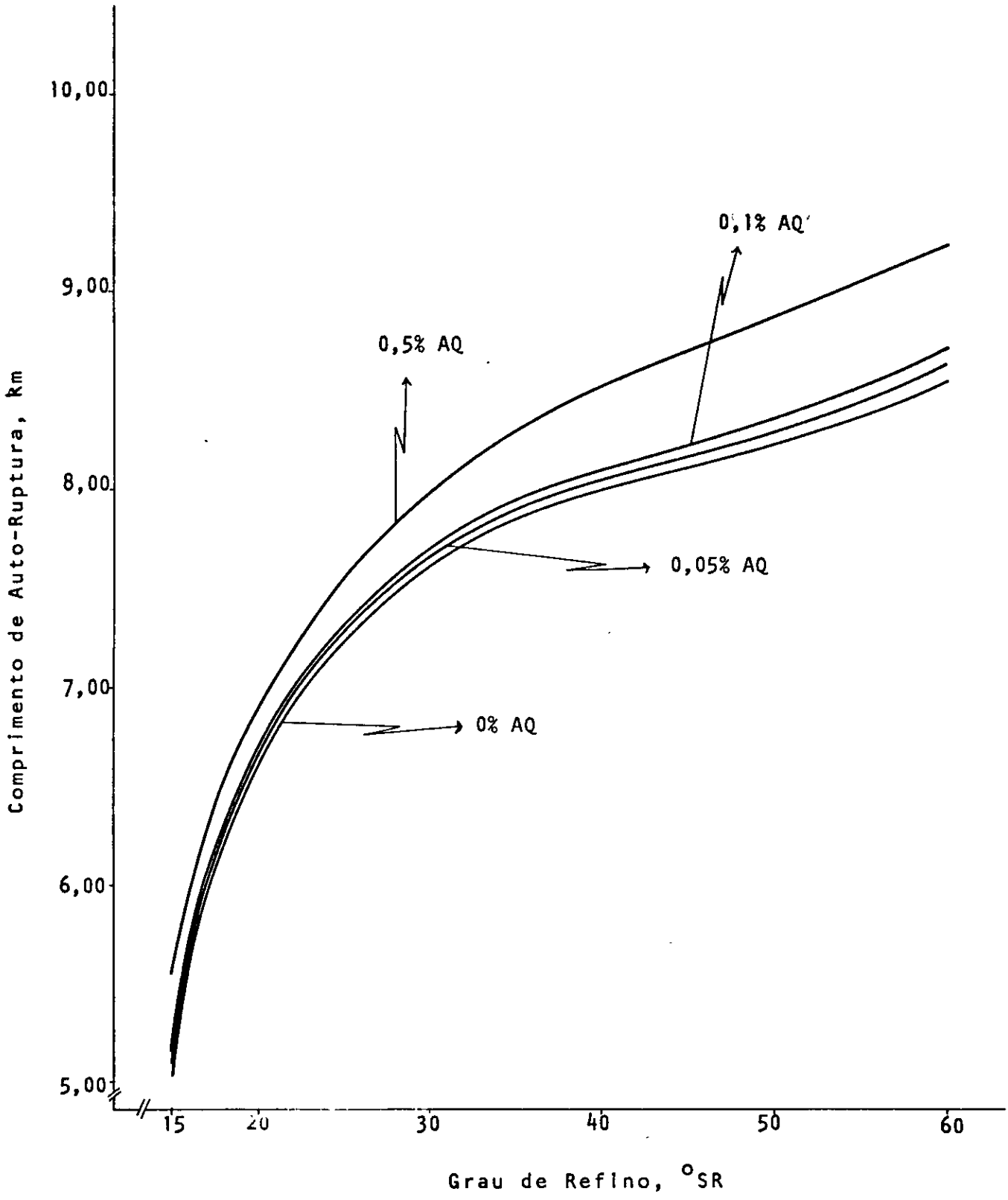


FIGURA 30 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Comprimento de Auto-Ruptura das Polpas NSSC Obtidas com 21% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona

QUADRO 10 - Valores médios do índice de rasgo, nos tempos de refino de 0 a 100 minutos, das polpas sulfito neutro obtidas com adição de antraquinona.

Sulfito de sódio (%)	Antraquinona (%)	Tempo de Refino (minutos)				
		0	25	50	75	100
9	0,00	42	77	79	99	89
	0,05	44	80	82	110	96
	0,10	50	90	98	100	99
	0,50	46	77	85	90	81
13	0,00	53	98	105	85	82
	0,05	50	82	93	101	104
	0,10	53	83	110	84	84
	0,50	46	100	101	95	93
17	0,00	48	86	98	98	78
	0,05	52	89	104	90	76
	0,10	54	89	100	93	83
	0,50	58	93	100	99	89
21	0,00	57	94	109	91	83
	0,05	55	87	104	94	93
	0,10	52	89	99	89	82
	0,50	57	88	94	97	75

rimentais dessa resistência, para os tempos de refino de 0 à 100 minutos.

A dificuldade de estabelecimento de modelo matemático é consequência da influência não definida da ação da AQ na resistência ao rasgo, conforme demonstrado no Quadro 10.

4.5.4.3. Resistência ao Arrebentamento

Os valores experimentais, expressos pelo índice de arrebentamento, encontram-se nos Quadros 10A, 14A, 18A e 22A (Apêndice).

Nas Figuras 31, 32, 33 e 34, são apresentados os valores estimados da resistência ao arrebentamento, em função do grau de refino, para as polpas produzidas com 9, 13, 17 e 21% de sulfito e diferentes dosagens de AQ.

Na Figura 31, verifica-se que as polpas obtidas com 9% de sulfito e 0, 0,05, 0,1 e 0,5% de AQ apresentaram valores semelhantes para o arrebentamento no decorrer do refino, havendo ligeira inferioridade para a dosagem de 0,5% de AQ, a partir de 20°SR.

Analisando a Figura 32, pode-se observar a semelhança das resistências das polpas produzidas com 13% de sulfito e 0, 0,05, 0,1 e 0,5% de AQ, com ligeira inferioridade para a dosagem de 0,5% de AQ, a 30 e 40°SR.

As polpas produzidas com 17% de sulfito e 0, 0,05, 0,1 e 0,5% de AQ alcançaram os mesmos valores para a resistência ao arrebentamento, com o prolongamento da ação do refino, tendo sido detectada uma diferença insignificante apenas no início do refino, para o nível de 0,5% de AQ (Figura 33).

Na Figura 34, verifica-se que o refino exerceu igual influência na resistência ao arrebentamento, para as polpas obtidas com 21% de sulfito e 0, 0,05, 0,1 e 0,5% de AQ. Diferenças mínimas foram notadas somente a 15, 50 e 60°SR, para o nível de 0,5% de AQ.

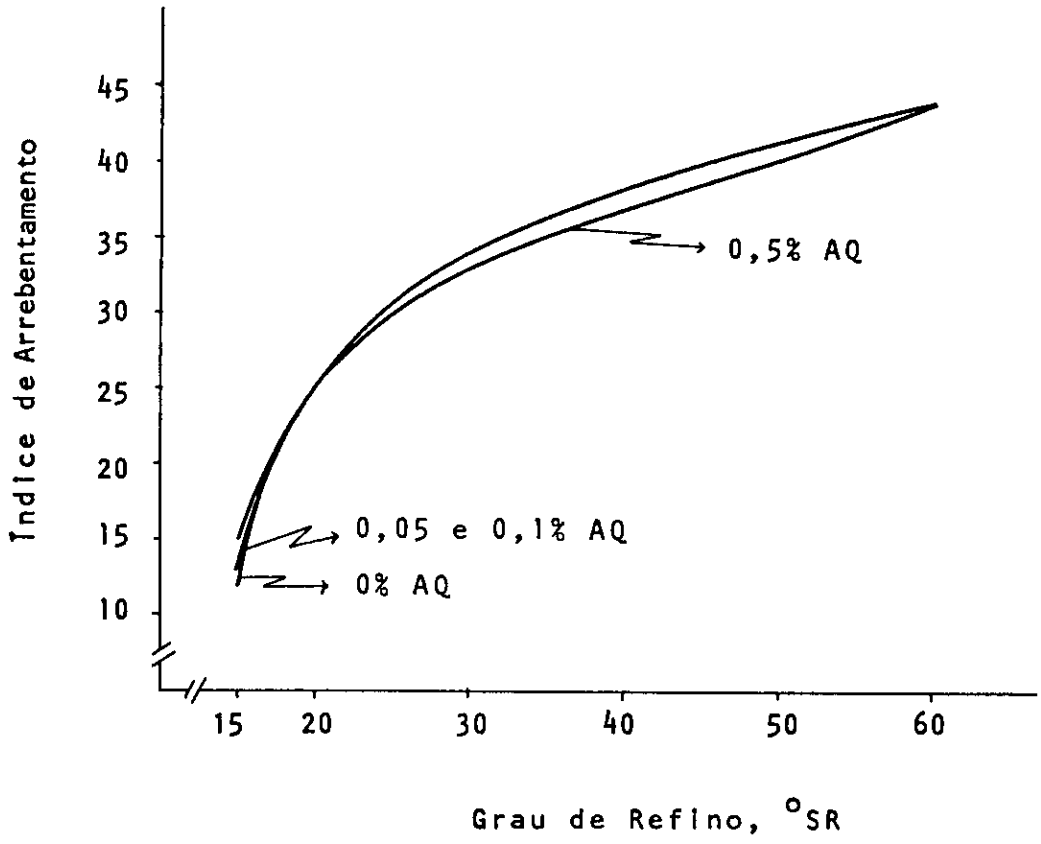


FIGURA 31 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Índice de Arrebentamento das Polpas NSSC obtidas com 9% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona

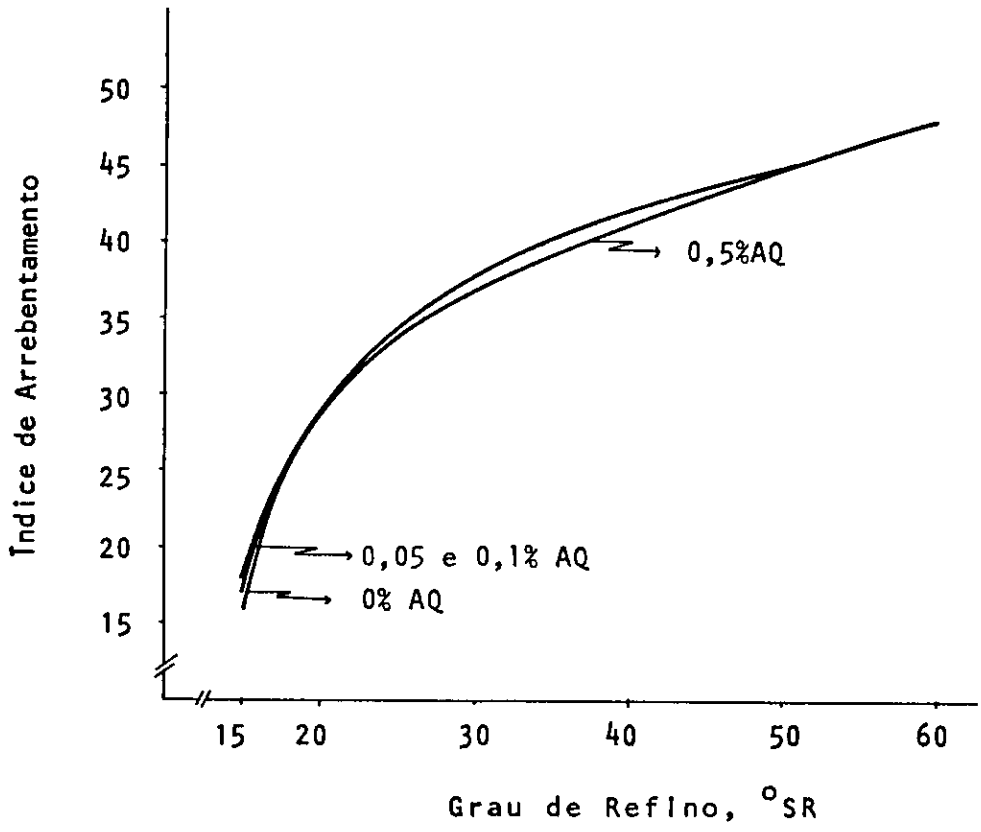


FIGURA 32 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Índice de Arrebentamento das Polpas NSSC Obtidas com 13% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona

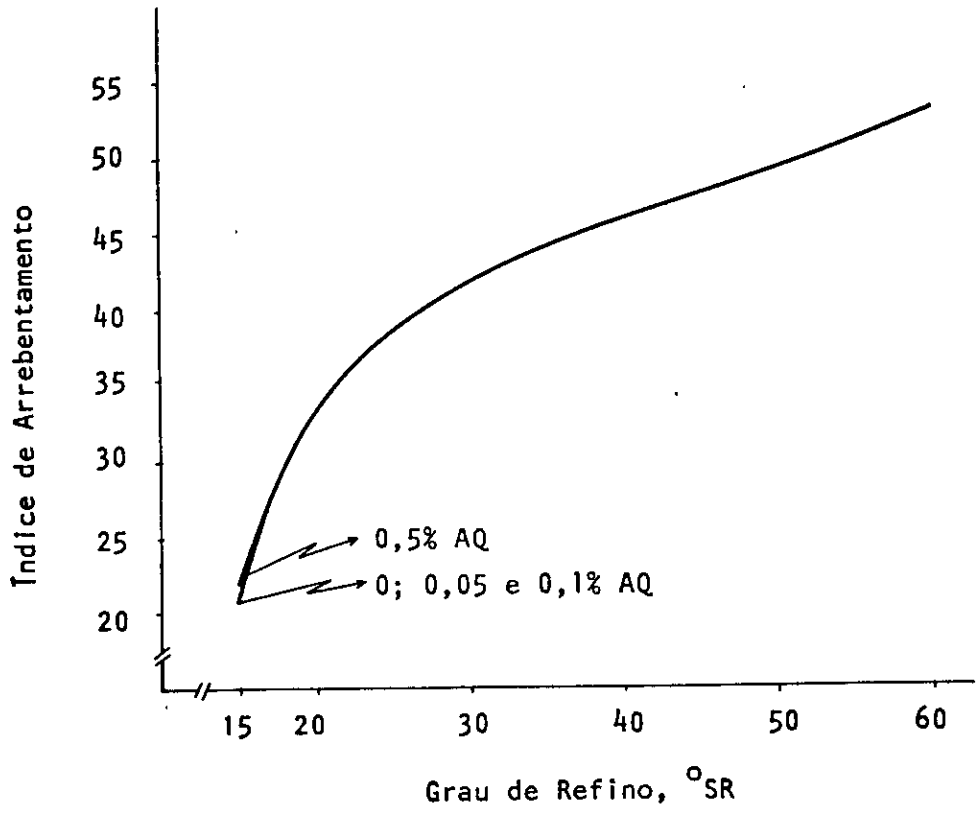


FIGURA 33 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Índice de Arrebentamento das Polpas NSSC Obtidas com 17% de Sulfito e Diferentes Níveis de Antraquinona

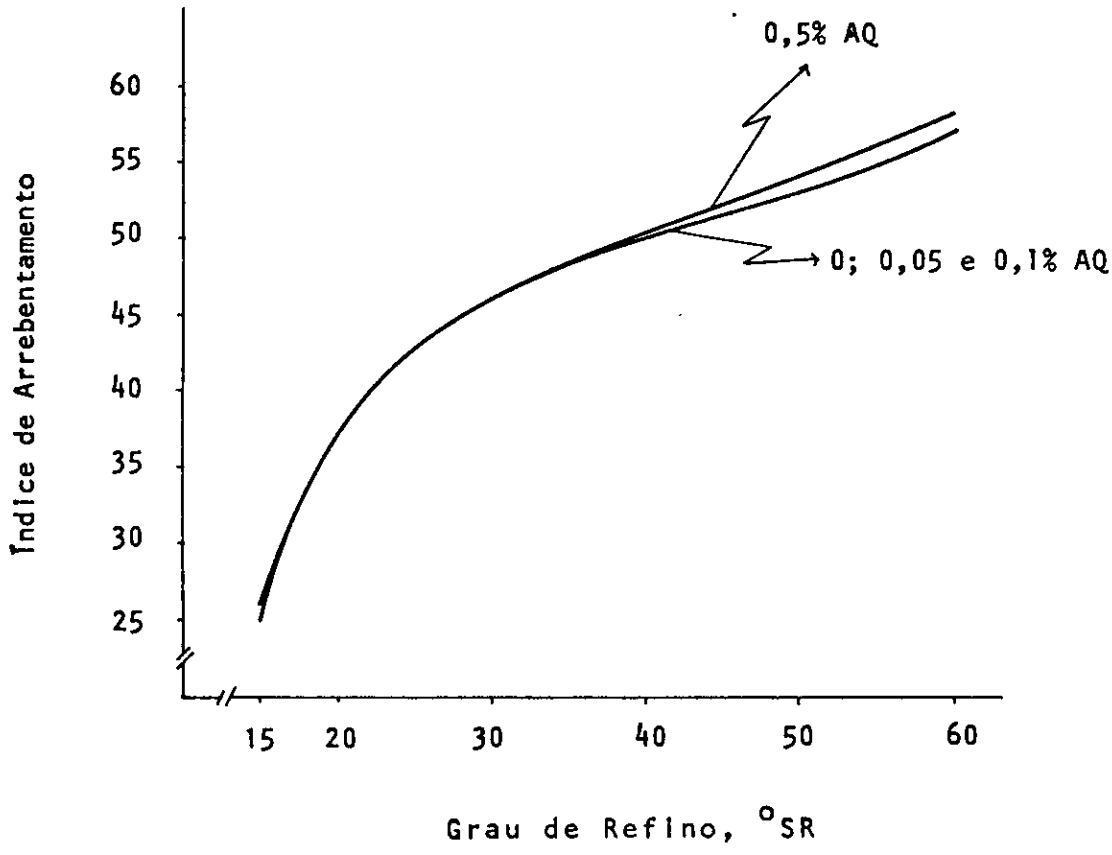


FIGURA 34 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Índice de Arrebentamento das Polpas NSSC Obtidas com 21% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona

A análise global dos resultados demonstra que para um mesmo nível de sulfito, a adição de AQ, práticamente, não alterou os valores da resistência ao arrebentamento.

4.5.4.4. Alongamento

Nos Quadros 12A, 16A, 20A e 24A (Apêndice) encontram-se os valores experimentais referentes ao alongamento das polpas obtidas com 9, 13, 17 e 21% de sulfito e diferentes níveis de AQ. Nas Figuras 35, 36, 37 e 38 é demonstrada a influência estimada do grau de refino no alongamento dessas polpas.

Observando essas Figuras, verifica-se que todas as polpas demonstraram o mesmo desenvolvimento dessa propriedade, ao longo de todo o refino. Os valores do alongamento foram pràticamente iguais para todas as polpas, até o nível de 0,1% de AQ. Verifica-se,também, que as polpas obtidas com 0,5% de AQ apresentaram os melhores valores para o alongamento.

4.5.4.5. Densidade Aparente

Nas Figuras 39, 40, 41 e 42, observa-se o efeito estimado do grau de refino na densidade aparente das polpas produzidas com 9, 13, 17 e 21% de sulfito e diferentes níveis de AQ.

Analisando essas Figuras, observa-se que as polpas mostraram aumento da densidade com a intensificação do refino e que as polpas obtidas com 0,5% de AQ apresentaram as densidades mais elevadas.

4.5.4.6. Volume Específico

A influência estimada do grau de refino no volume específico é demonstrada nas Figuras 43, 44, 45 e 46. Os maiores valores foram apresentados pelas polpas produzidas com 9% de

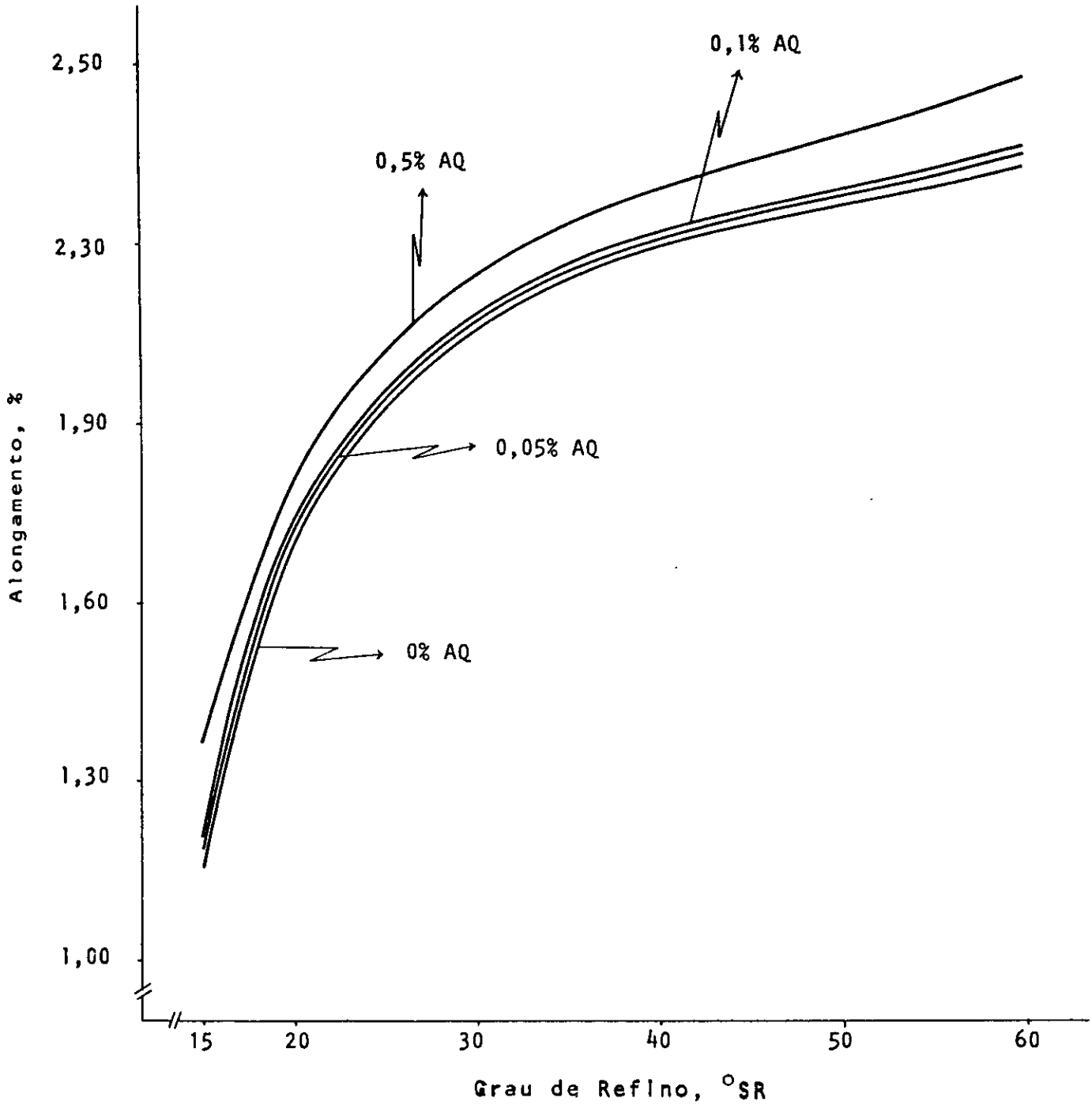


FIGURA 35 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Alongamento das Polpas NSSC Obtidas com 9% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona

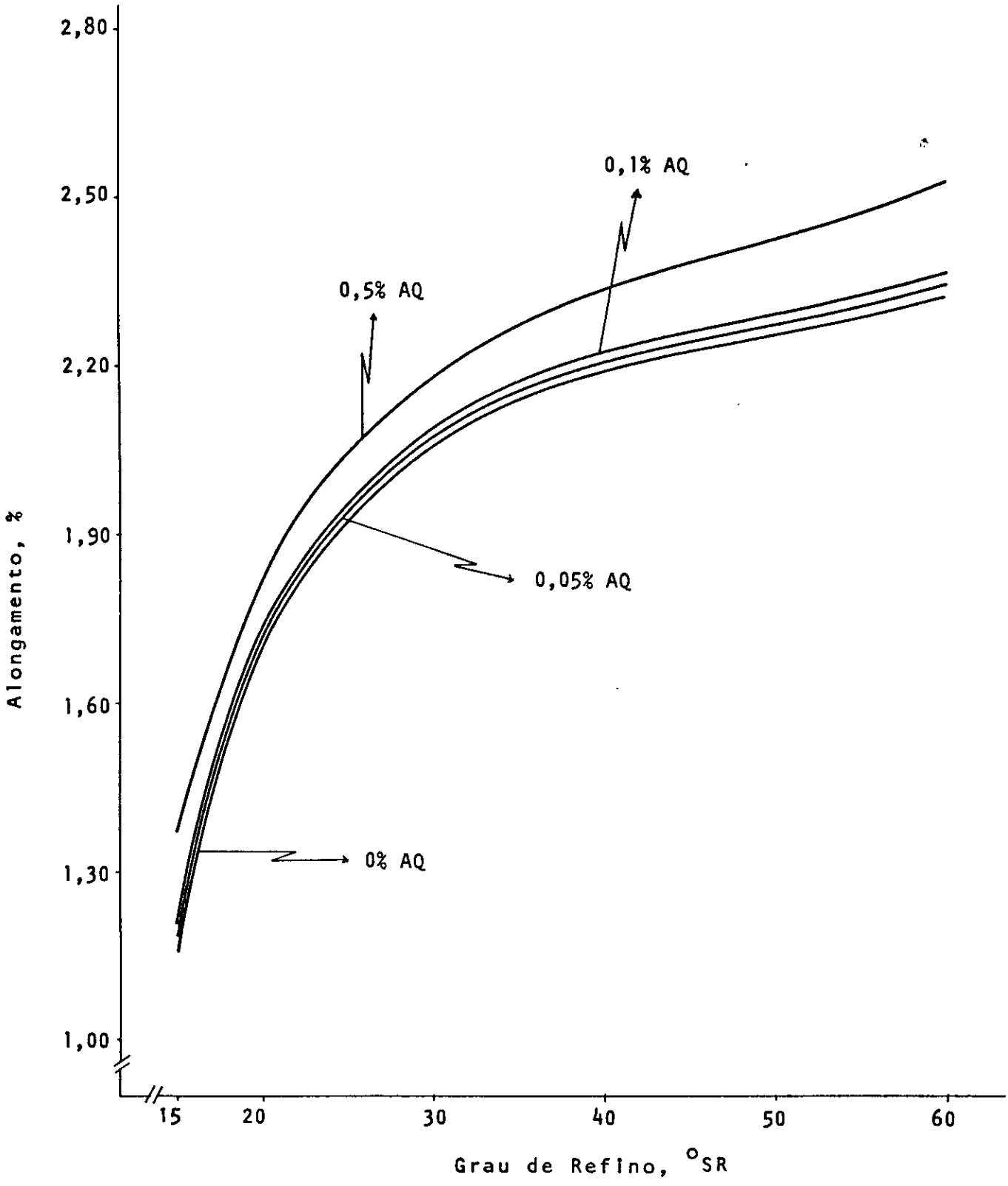


FIGURA 36 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Alongamento das Polpas NSSC Obtidas com 13% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona

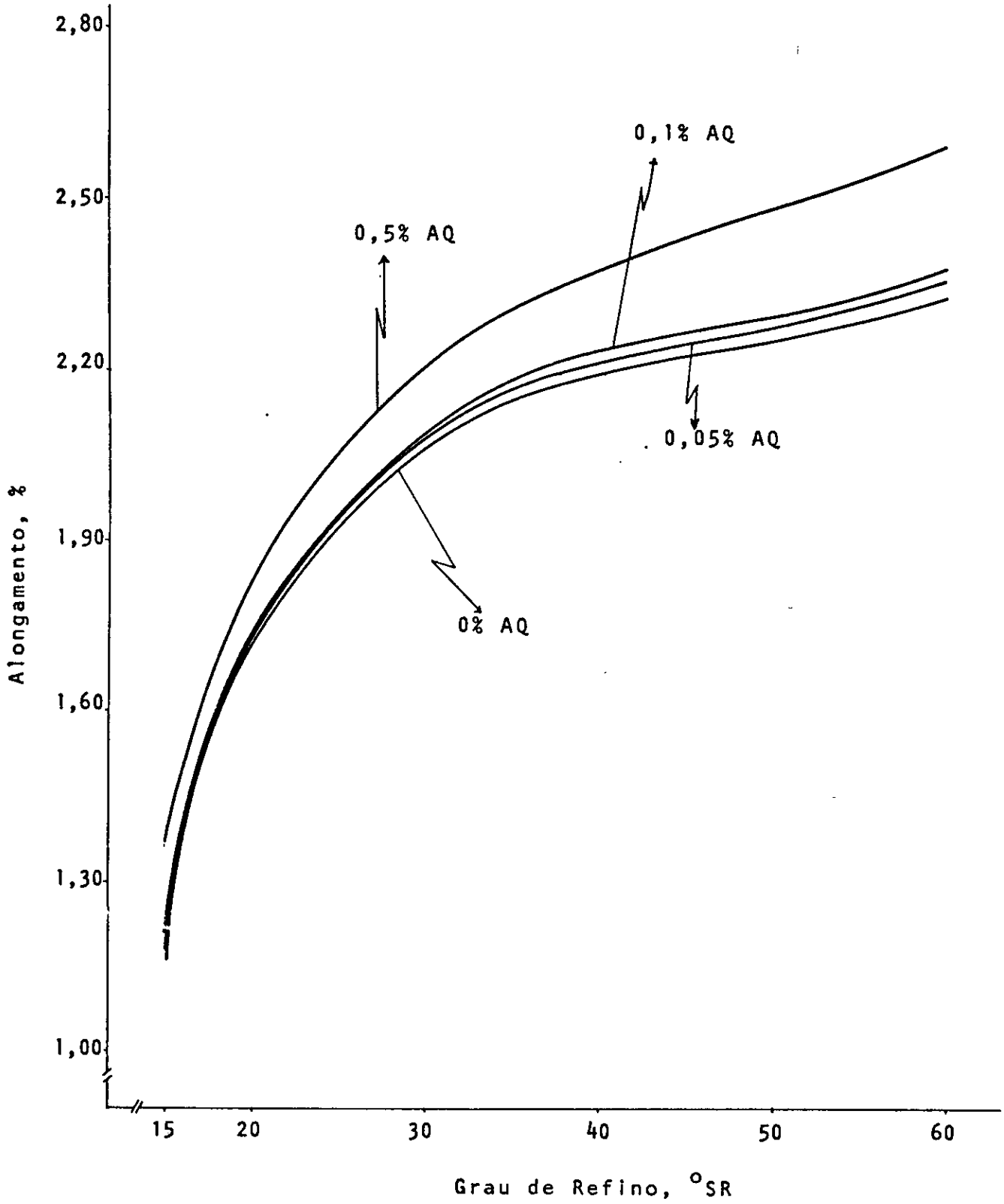


FIGURA 37 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Alongamento das Polpas NSSC Obtidas com 17% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona

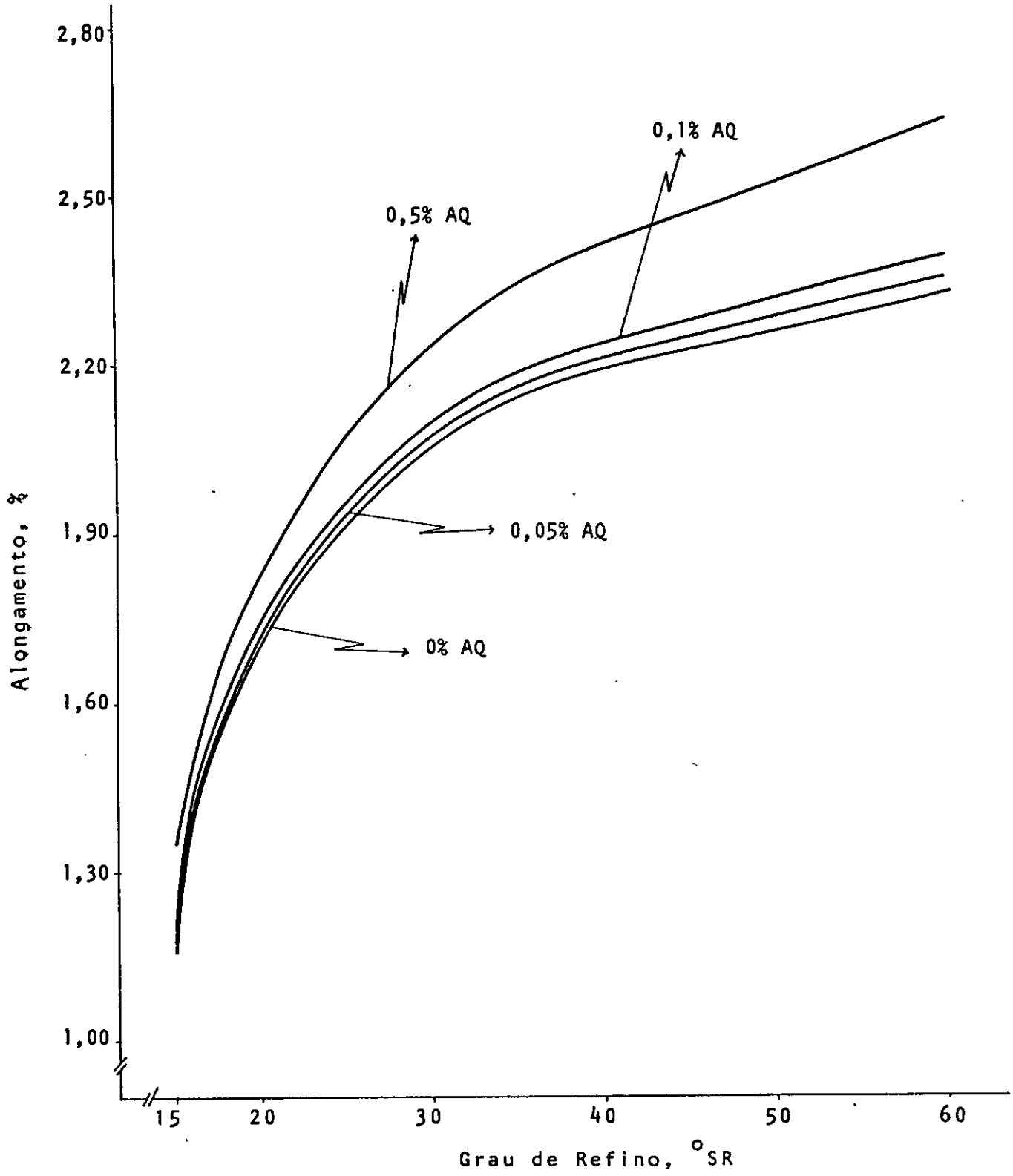


FIGURA 38 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Alongamento das Polpas NSSC Obtidas com 21% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona

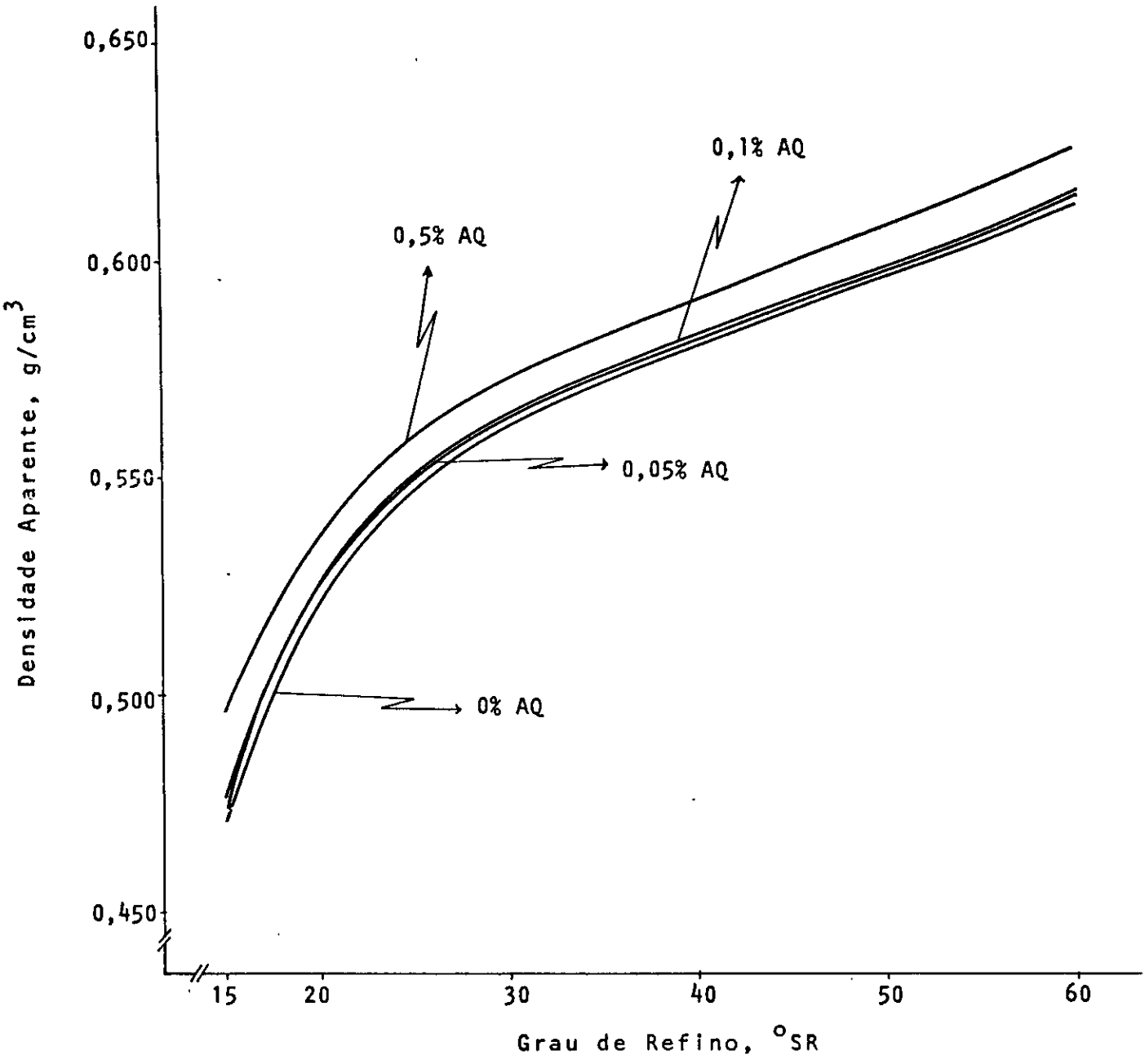


FIGURA 39 - Efeito Estimado do Grau de Refino na Densidade Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 9% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona

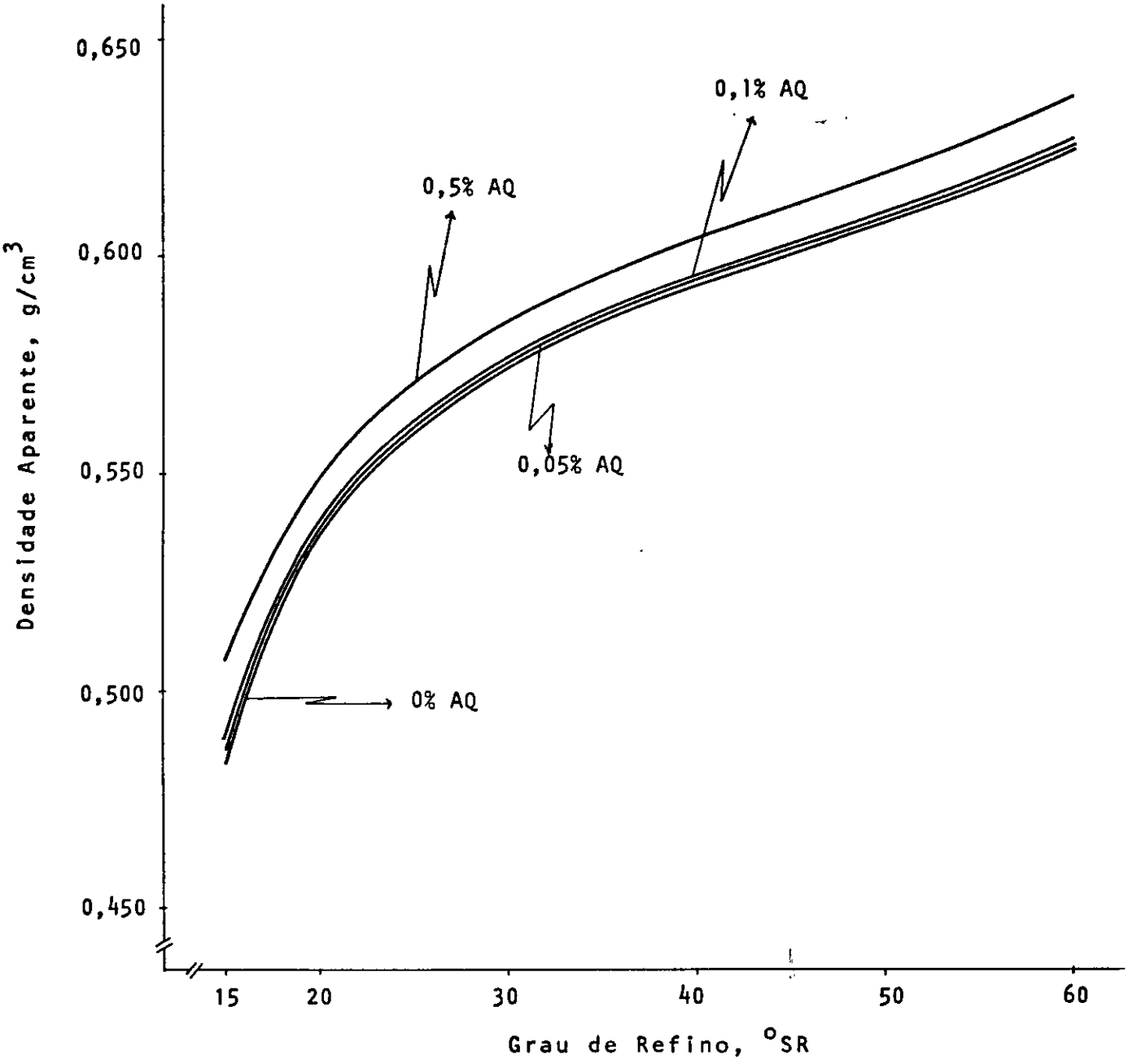


FIGURA 40 - Efeito Estimado do Grau de Refino na Densidade Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 13% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona

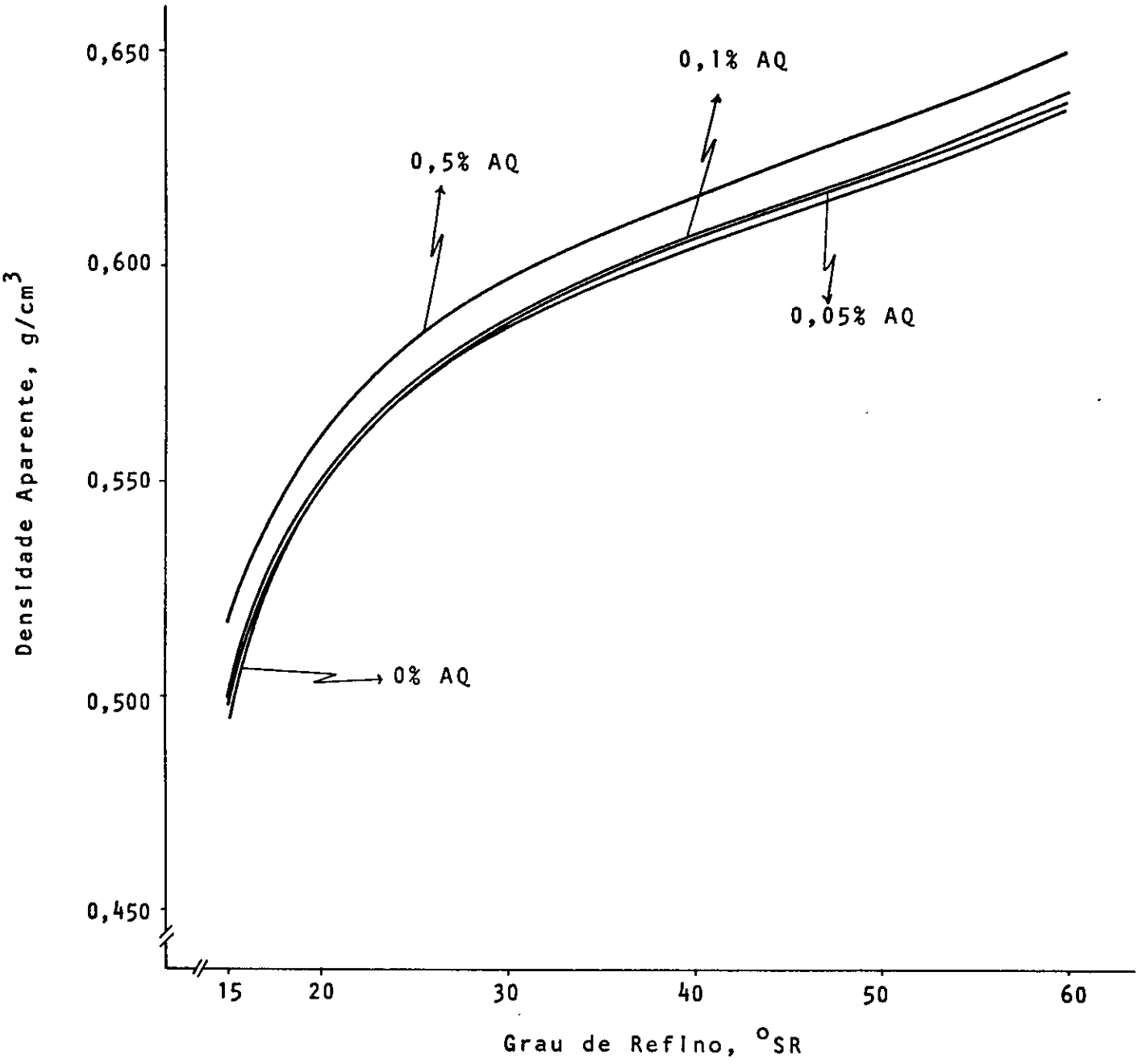


FIGURA 41 - Efeito Estimado do Grau de Refino na Densidade Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 17% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona

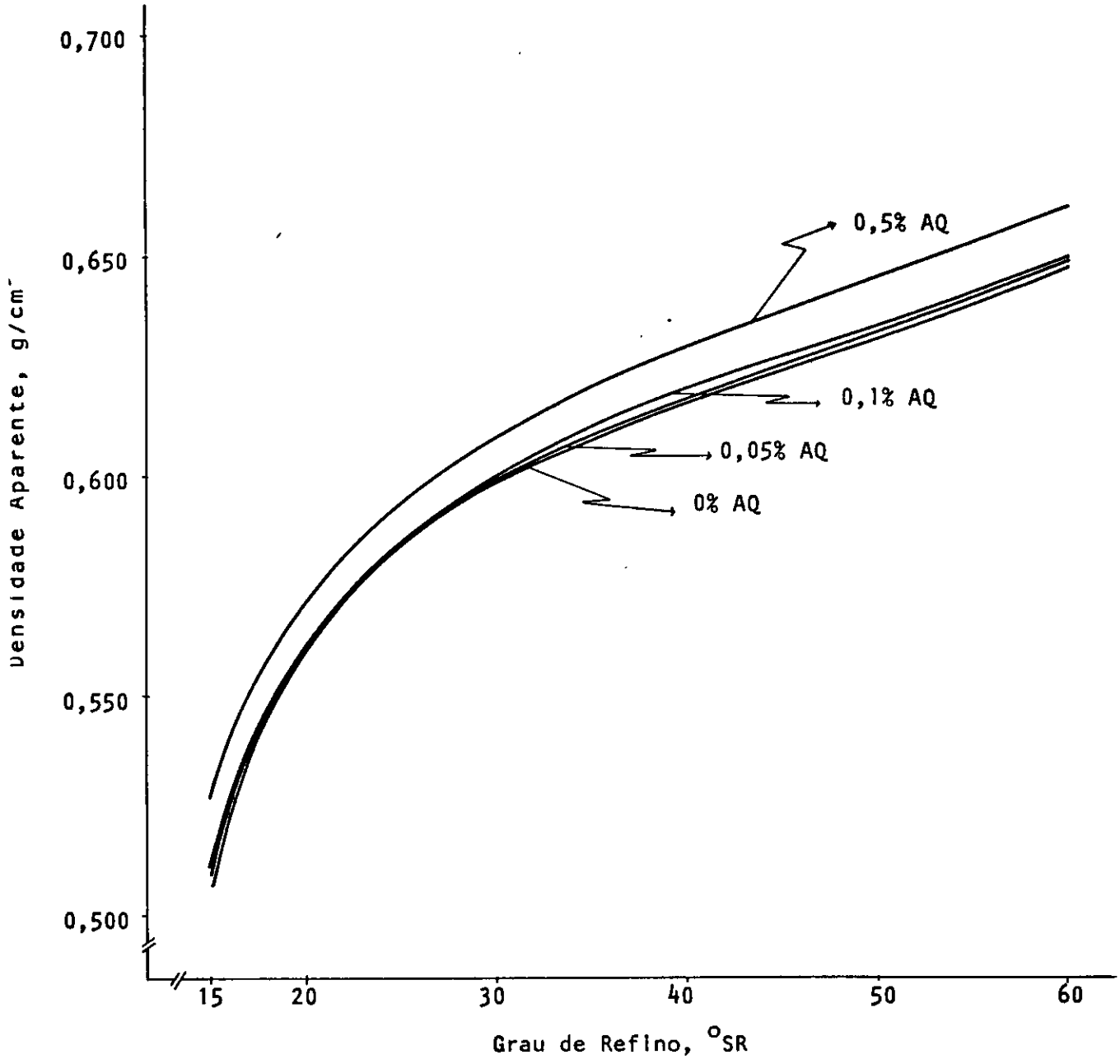


FIGURA 42 - Efeito Estimado do Grau de Refino na Densidade Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 21% de sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona

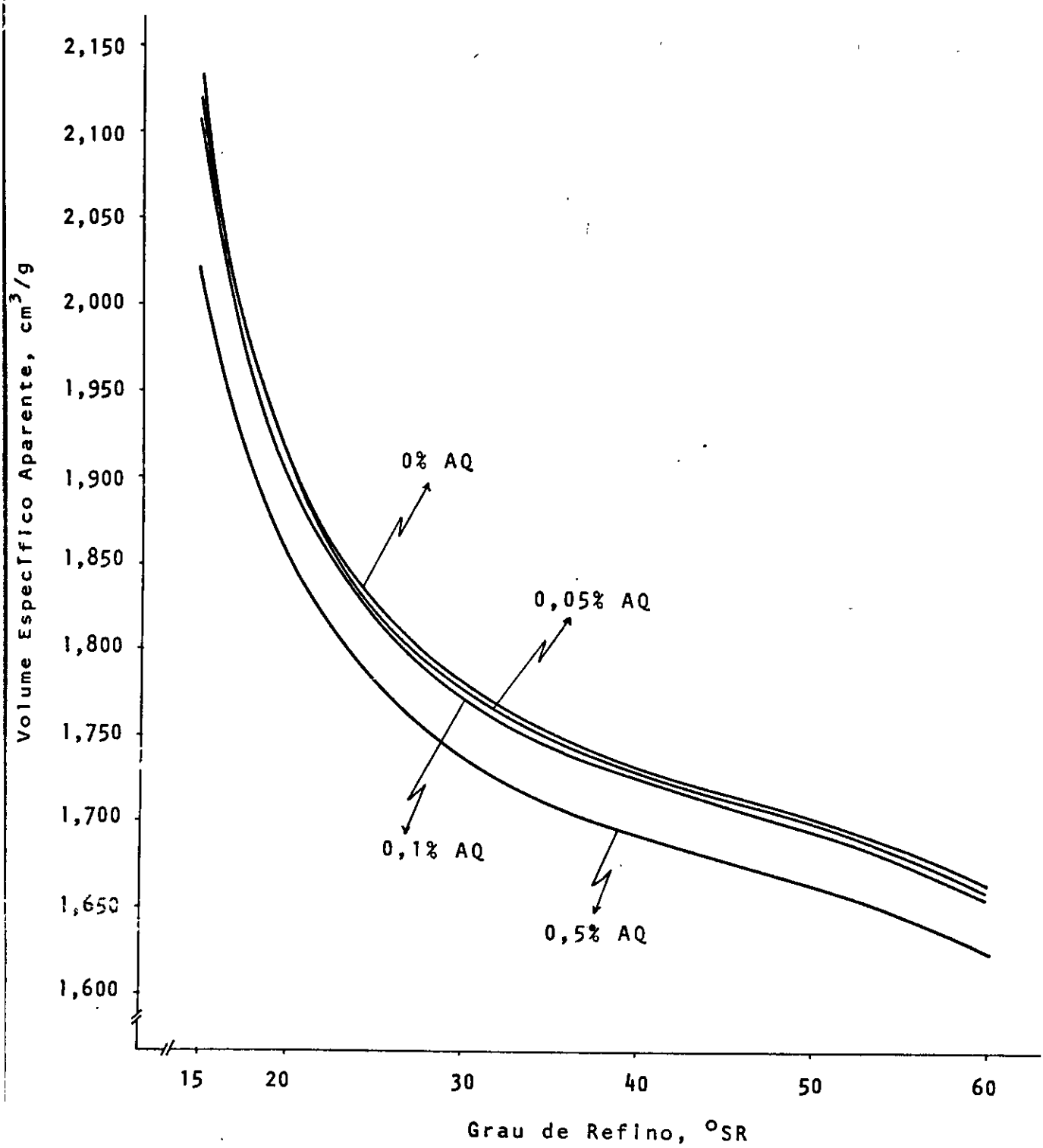


FIGURA 43 - Efeito Estimado do Grau de REfino no Volume Específico Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 9% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona

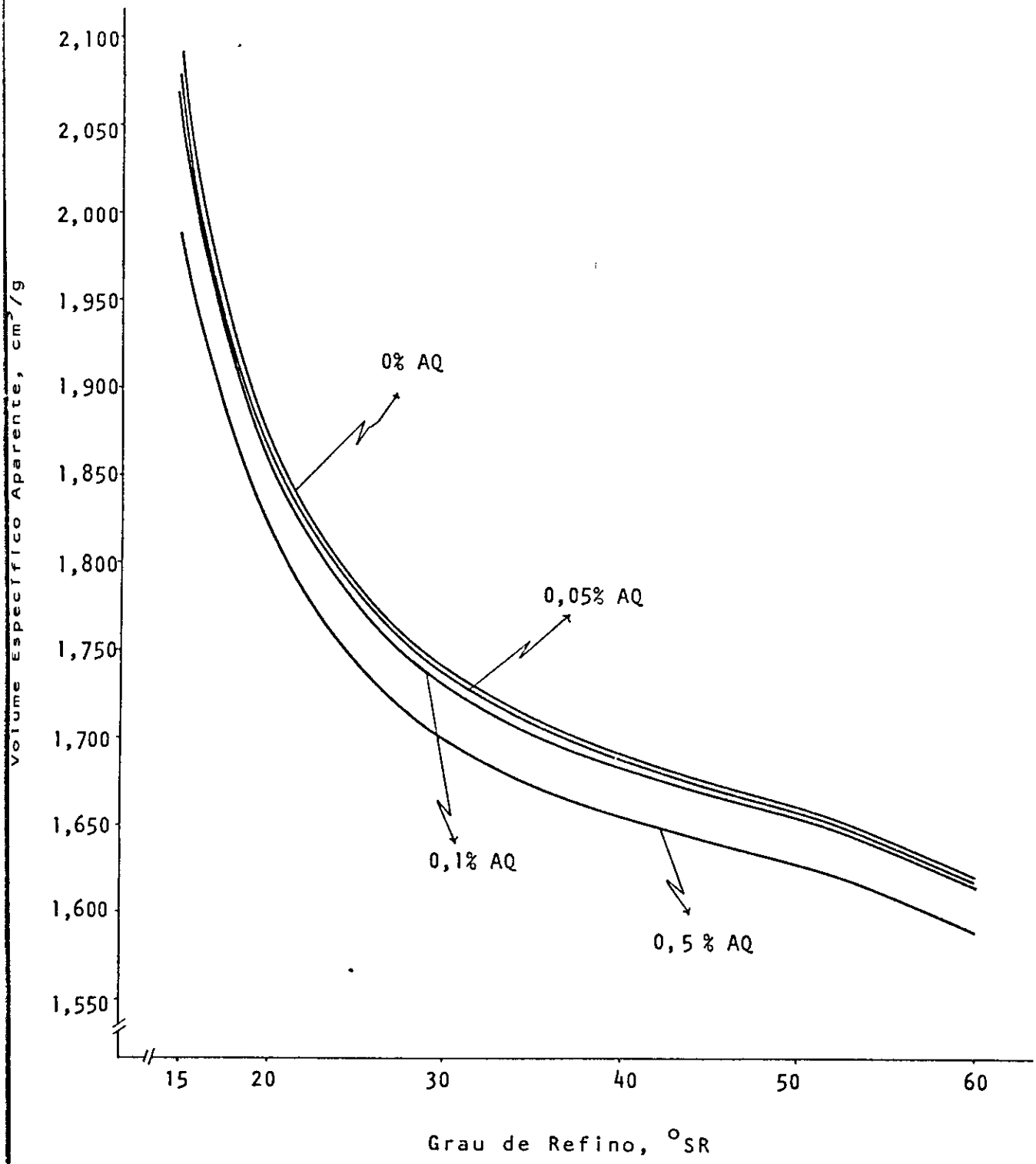


FIGURA 44 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Volume Específico Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 13% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona

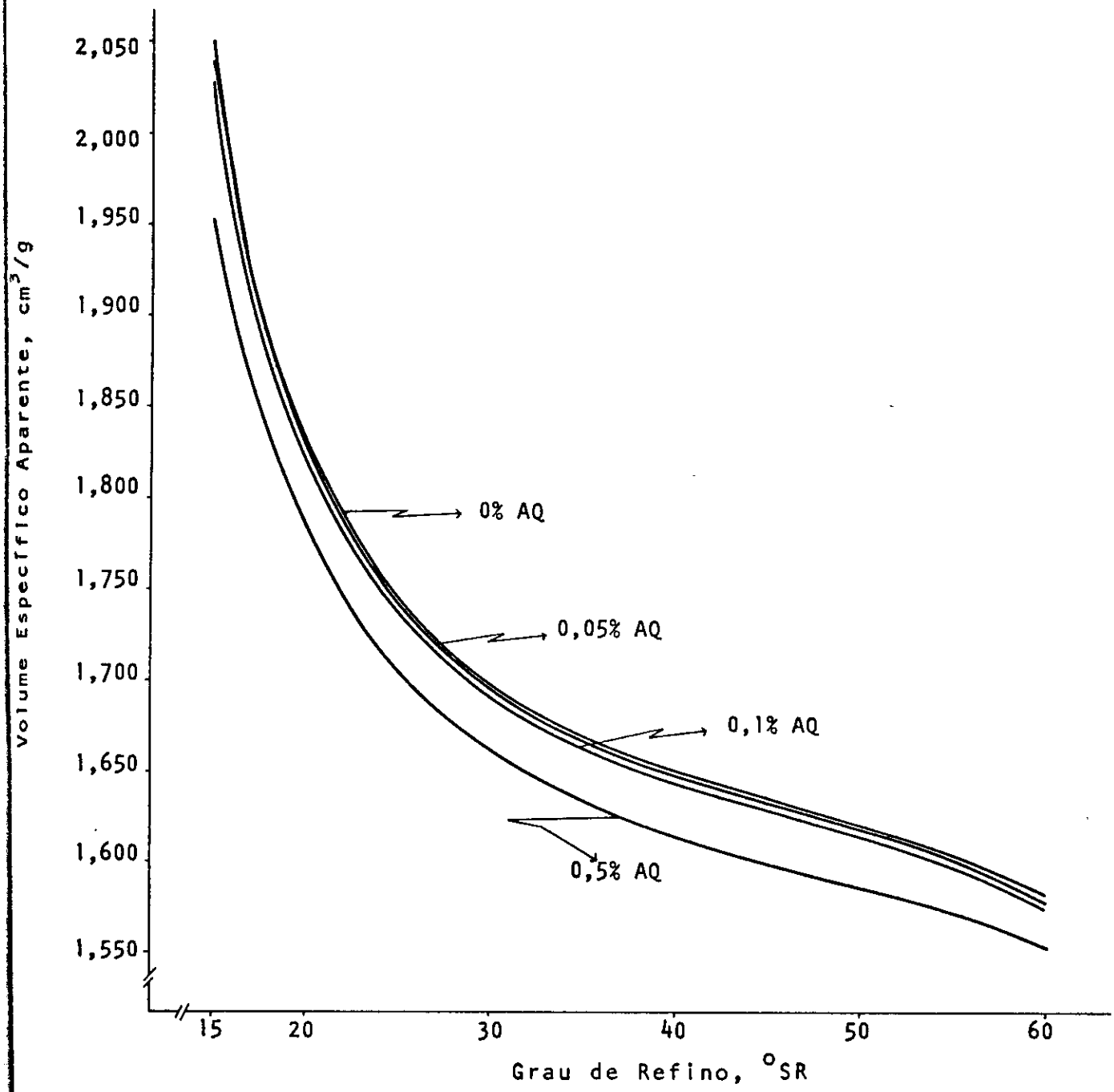


FIGURA 45 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Volume Específico Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 17% de Sulfito de Sódio e Diferentes Níveis de Antraquinona

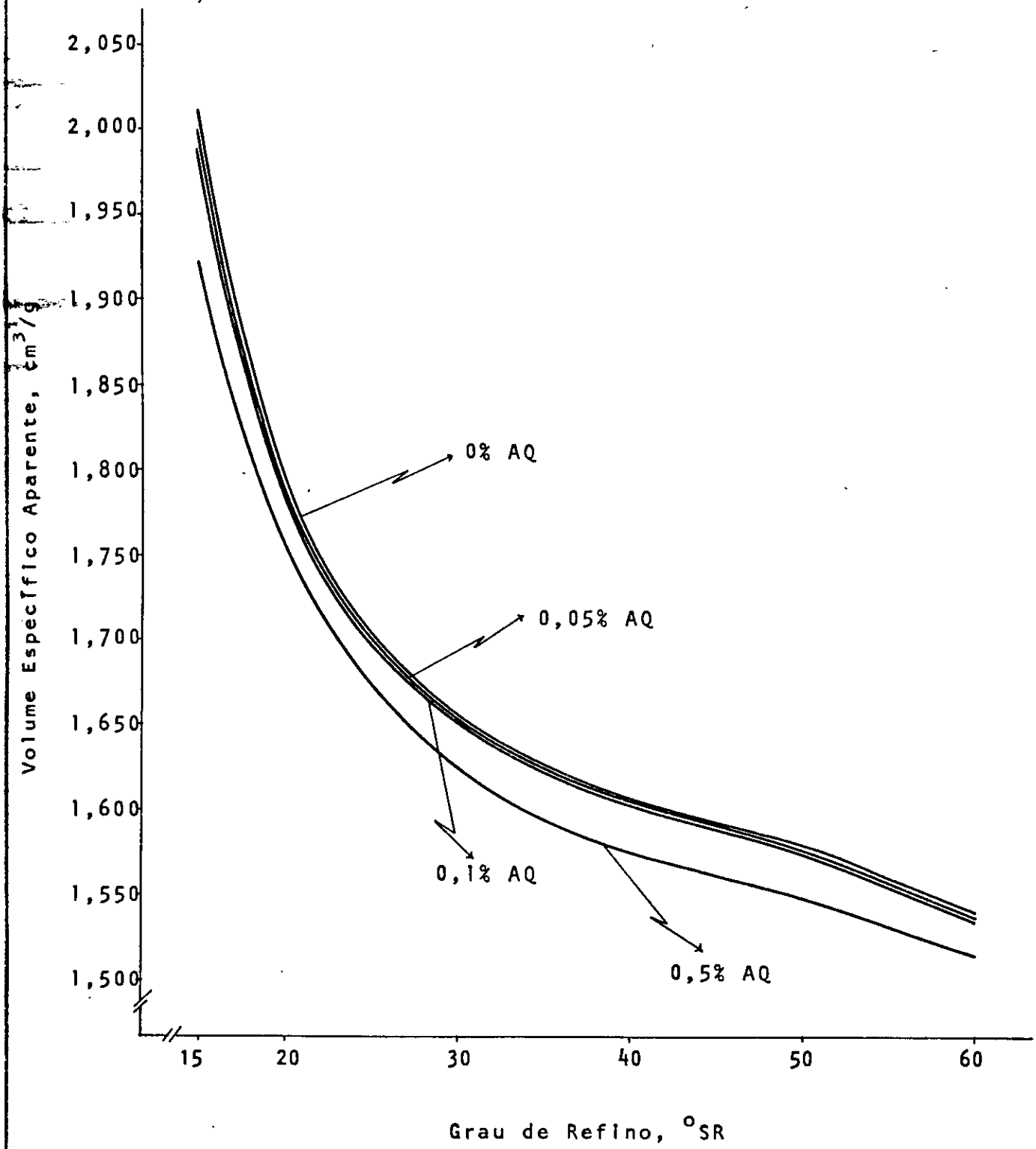


FIGURA 46 - Efeito Estimado do Grau de Refino no Volume Específico Aparente das Polpas NSSC Obtidas com 21% de Sulfito de Sodio e Diferentes Níveis de Antraquinona

Na_2SO_3 e os menores pelas polpas produzidas com 21%. As dosagens de 0, 0,05, 0,1% de AQ resultaram em volumes específicos semelhantes, tendo a dosagem de 0,5% de AQ apresentado influência mais pronunciada.

5. RESUMO E CONCLUSÃO

Este trabalho teve o objetivo de estudar a influência da dosagem de sulfito de sódio e de antraquinona na polpação sulfito neutro de E. grandis, espécie largamente usada, no Brasil, para a produção de polpa celulósica.

Foram realizados vários cozimentos, visando a produção de polpas para papelão e polpas tipo branqueável, utilizando vários níveis de sulfito de sódio e de antraquinona. Os resultados obtidos foram analisados estatísticamente, por meio de análises de regressão.

A taxa de polpação e as resistências das polpas foram beneficiadas pela adição de AQ, principalmente em dosagens mais elevadas dêsse aditivo (maior que 0,1%). Em comparação com os processos soda e kraft (15, 17, 18), o processo NSSC necessitou maiores dosagens de AQ para proporcionar ação mais eficiente.

Embora a AQ tenha proporcionado algumas vantagens na polpação sulfito neutro de eucalipto, êsse aditivo não teve ação muito eficiente, confirmando pesquisas anteriormente realizadas com eucalipto (4). O uso da AQ na polpação NSSC é viável do ponto de vista tecnológico, porém o seu uso poderá ser limitado, em virtude de ser um produto caro.

Apesar da AQ acarretar ônus no seu emprego, êsse inconveniente poderá ser, pelo menos parcialmente, contrabalançado

pelos benefícios na qualidade e resistências das polpas e pelo menor tempo de cozimento, economizando energia no processo e possibilitando aumento na produção.

Na polpação NSSC-AQ, dentre os níveis de sulfito adotados para obtenção de polpas para fabricação de papelão corrugado, o nível de 13% foi o que alcançou melhores resultados . Quanto à obtenção de polpa branqueável, o nível que apresentou maior potencial foi o de 21% de sulfito.

Apesar das polpas sulfito neutro de E. grandis terem apresentado resistências rezoavelmente baixas, poderiam ser usadas em produtos tais como papelão corrugado e papelão de revestimento, onde a resistência ao rasgo não é de importância primordial. Por outro lado, quando o produto final requerem maiores resistências, essas polpas poderão ser incorporadas com matéria prima de fibra longa, para adquirirem as especificações exigidas, bem como melhorar as operações na máquina de papel.

6. LITERATURA CITADA

01. Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel, São Paulo. Normas Técnicas ABCP (s.d.).

02. BRITT, K. W. Handbook of Pulp and Paper Technology. New York, Van Nostrand Reinhold Company, 1970, 723 p.

03. BROWNING, B.L. Methods of Wood Chemistry. New York, Interscience Publishers, 1967. 882 p.

04. CAMERON, DONALD W. et alii. The effect of addition of guinonoid and hydroquinonoid derivatives in NSSC pulping. APPITA 35 (4): 307 - 315. 1982

05. CASEY, JAMES P. Pulp and Paper-Chemistry and Chemical Technology, Vol. I New York, Interscience, 1960. 580 p.

06. DINWOODIE, J.M. The relationship between fiber morphology and paper properties:a review of literature. TAPPI 46(8): 440-446. 1965.

07. FLEMING, B.I.; KUBES, G.L.; MACLEOD, J.M. & BOLKER, H.I. Polarographic analysis of soda anthraquinone pulping liquor. TAPPI 62(7): 55-58. 1979.

08. FLEMING, B.I.; KUBES, G.L.; MACLEOD, J.M. & BOLKER, H.I. Soda pulping with anthraquinone-a mechanism. TAPPI 61(6): 43-46. 1978.

09. FOELKEL, C.E.B.; MILANEZ, A.F.; ZVINAKEVICIUS, C. e KATO, J. Deslignificação da madeira de eucalipto pelo processo NSSC. O Papel. 60 (11): 75-80. 1979.

10. FOELKEL, C.E.B. & BARRICHELO, L.E.G. Tecnologia de Celulose e Papel. Piracicaba, ESALQ, 1975. p. 131-9.

11. FOELKEL, C.E.B. e BARRICHELO, L.E.G. Avaliação das madeiras para produção de celulose através de suas características estruturais: uma referência especial para o gênero Eucalyptus. , In:Seminário de integração floresta-indústria. São Paulo, IPEF, 1975. p. 5-33.

12. GHOSH, K.L.; VENKATESH, V.; CHIN, W.J. & GRATZL, J.S. Quinone additives in soda pulping of hardwoods. TAPPI 60 (11): 127-131. 1977.

13. GIERTZ, HANS W. CHEMIMECHANICAL PULPING OF HARDWOODS. Norway. Pulp and Paper Laboratory - The University of Trondheim. s.d. 38 p.

14. GOEL, K.; AYROUD, A.M. & BRANCH, B. Anthraquinone in Kraft pulping. TAPPI 63 (8): 83-85. 1980.

15. GOMIDE, J.L. e OLIVEIRA, R.C. de. Eficiência da antraquinona na polpação alcalina de eucalipto. Revista Árvore 3 (2): 208-220. 1979.

16. GOMIDE, J.L. Antraquinona - um eficiente aditivo para a polpação alcalina de madeiras. Viçosa, SIF, 1980. 27 p. (Boletim Técnico nº 6).

17. GOMIDE J.L.; OLIVEIRA, R.C. de e COLODETTE, J.L. Utilização de compostos quinona na produção de polpa celulósica de Eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 13°, São Paulo, 1980. Livro Técnico, São Paulo, ABCP, 1980. p. 19-30.

18. GOMIDE, J.L.; OLIVEIRA, R.C. de e COLODETTE, J.L. Soda-AQ: um novo processo para produção de polpa celulósica de eucalipto. Revista Árvore 4 (1): 75-90. 1980.

19. GOMIDE, J.L. E OLIVEIRA, R.C. de. Influência da sulfidez e da adição de antraquinona na produção de polpa celulósica. Revista Ceres 28(155): 71-84. 1981.

20. GOURANG, I.; CASSIDY, R. & DENCE, C.W. Reduction products of anthraquinone: soda-anthraquinone pulping of Norway spruce. TAPPI 62 (7): 43-47. 1979.

21. HIGGINS, H.G.; WATSON, A.J.; NELSON, P.J. & HARRINGTON, K. J. Consequences of partial delignification of eucalyptus in neutral sulphite pulping. Australia, CSIRO, 1974. 29 p. (Tech. Paper nº 1).

22. HOLTON, H.H. & CHAPMAN, F.L. Kraft pulping with anthraquinone. TAPPI 60 (11): 121-125. 1977.

23. HOLTON, H. Soda additive softwood pulping: a major new process. Pulp and Paper Canada 78 (10): T218-T223. 1977.

24. KAWASAKI KASEI CHEMICALS LTDA. Quinone compound for none-pollution delignification process. Japão. 1978. 46 p. (Tech. Bulletin).

25. LÖWENDAHL, L. & SAMUELSON, O. Carbohydrate stabilization during soda pulping with addition of anthraquinone. TAPPI 61 (2): 19-21. 1978.

26. MCDONALD, R.D. The Pulping of Wood, Vol. I, New York, McGraw-Hill Book Company, 1969. 769 p.

27. NOMURA, Y. Quinone additive cooking-sulphate pulping with addition of 1,4 dihydro 9, 10 dihydroxianthracene. Central Research Lab. Honshu Paper Co. Ltda. Tokyo, Japão. s/d.

28. OBST, J.R.; LANDUCCI, L.L. & SANYER, N. Quinones in alkali pulping: β- ether cleavage of free phenolic units in lignin. TAPPI 62 (1): 55-59. 1979.

29. RYDHOLM, S.A. Pulping Processes. New York, Interscience. 1967. 1269 p.

30. SUCATTE, S.R.B.; GARONE, M. e TACCONI, R.A. Preparacion y evaluacion de pastas kraft y al sulfito neutro semiquimico de distintas especies de eucalyptus. B. Aires, CICELPA. INTI, 1979. 36 p.

31. TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. TAPPI Standard Methods. Atlanta. (s.d.)

32. VELEZ, H. e REPETTI, R. Estudios sobre cuatro especies de Eucalyptus. XIII Convención de ATIPCA. B. Aires, 1971. 36 p.

APÊNDICE

QUADRO 1A - Valores experimentais da resistência à tração, expressos pelo comprimento de auto-ruptura, em km, das polpas sulfito neutro de E. grandis, obtidas com diferentes níveis de sulfito de sódio, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Sulfito de Sódio (%)	8					10					12					14				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Comprimento de auto-ruptura (km)	2,12	4,23	4,77	4,62	5,53	2,02	5,42	4,60	4,90	8,70	2,70	4,73	5,81	8,27	10,00	2,05	5,00	7,09	9,16	8,50
	1,80	4,69	5,13	6,32	5,29	2,02	5,09	5,27	6,53	6,04	1,85	4,50	6,05	8,27	9,76	2,80	4,55	5,26	9,29	7,79
	1,77	4,46	4,77	6,56	7,21	2,24	3,98	5,41	6,53	6,77	1,77	5,08	5,12	6,08	9,76	2,91	5,92	6,64	6,75	8,26
	1,59	3,66	4,55	5,71	4,81	2,34	5,31	5,18	4,87	6,53	1,67	5,66	6,28	5,84	8,57	2,91	5,23	7,44	7,72	8,86
	2,14	5,04	4,99	7,05	5,29	1,81	5,53	4,95	6,76	5,80	1,98	5,89	5,34	7,05	9,52	1,51	5,23	7,78	9,16	8,03
	1,86	4,23	2,86	3,89	6,85	1,92	4,76	4,95	6,76	8,70	1,98	6,00	7,44	6,45	9,17	2,37	6,14	7,78	6,87	8,26
	2,07	4,35	4,53	6,08	6,61	2,34	4,21	5,98	6,65	7,13	0,73	4,62	7,21	7,54	6,19	2,80	6,37	7,55	6,27	8,50
	1,91	4,69	4,56	7,27	6,61	1,70	4,65	5,06	6,88	7,25	1,67	5,54	5,46	6,08	7,38	1,72	5,34	4,80	8,08	7,56
	1,83	3,89	4,55	4,50	6,85	2,02	5,31	4,81	7,23	6,28	2,29	4,97	5,35	5,96	7,26	1,72	6,14	7,32	7,96	8,74
	1,75	4,12	4,65	6,81	6,97	2,13	5,42	5,75	7,23	7,72	2,70	4,62	6,05	7,78	6,67	1,83	6,26	6,64	5,79	8,50
$\bar{X}$	1,89	4,34	4,53	5,88	6,20	2,06	4,97	5,20	6,44	7,09	1,94	5,16	6,01	6,93	8,43	2,26	5,62	6,83	7,71	8,30

QUADRO 2A - Valores experimentais da resistência ao arrebentamento, expressos pelo índice de arrebentamento, das polpas sulfito neutro de E.grandis, obtidas com diferentes níveis de sulfito de sódio, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Sulfito de Sódio (%)	8					10					12					14				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Índice de arrebentamento	0	13	20	25	31	0	23	28	37	47	0	22	31	36	50	0	29	39	43	53
	0	16	21	25	32	0	21	29	35	42	0	22	31	36	53	0	30	43	47	53
	0	21	25	25	29	0	18	28	37	29	0	21	26	44	52	0	17	39	43	53
	0	22	25	27	32	0	18	24	42	33	0	21	30	49	48	0	17	41	43	55
	0	16	25	29	40	0	20	31	38	42	0	24	37	44	53	0	27	29	43	49
	0	16	25	33	41	0	18	31	44	40	0	28	38	42	53	0	30	31	43	53
	0	19	25	33	38	0	23	28	35	47	0	24	37	49	53	2	30	38	43	53
	0	19	25	31	32	0	20	24	35	43	2	29	37	46	55	2	30	41	42	49
	0	19	25	38	38	0	20	34	33	43	0	21	28	44	41	2	30	43	32	53
	0	17	25	38	36	0	20	28	31	47	0	21	33	44	45	4	30	41	32	48
$\bar{X}$	0	18	24	31	35	0	20	28	37	41	0	23	33	43	50	1	27	39	41	52

QUADRO 3A - Valores experimentais da resistência ao rasgo, expressos pelo índice de rasgo, das polpas sulfito neutro de E. grandis, obtidas com diferentes níveis de sulfito de sódio, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos

Sulfito de Sódio (%)		8					10					12					14				
Tempo refino (minutos)		0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Índice de rasgo		34	46	63	47	29	20	58	72	78	70	49	56	83	76	68	36	71	85	87	91
		5	40	66	58	43	13	53	61	67	81	22	61	78	76	97	31	38	66	61	79
		10	51	44	52	40	25	48	77	117	58	22	61	33	64	34	36	49	52	93	20
		21	51	33	93	46	20	48	72	61	104	16	56	66	70	66	36	52	66	75	76
		15	63	55	76	52	15	53	83	56	75	33	72	64	64	48	21	57	82	75	57
$\bar{X}$		17	50	52	65	42	19	52	73	76	78	28	61	65	70	63	32	53	70	78	65

QUADRO 4A - Valores experimentais do alongamento, expressosem percentagem, das polpas sulfito neutro de E. grandis,obtidas com diferentes níveis de sulfito de sódio, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Sulfito de Sódio (%)	8					10					12					14				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Alongamento (%)	0,50	0,75	1,35	1,50	1,50	0,00	1,50	1,50	1,35	2,25	0,30	1,20	2,10	2,25	3,00	0,00	1,24	1,50	2,25	2,25
	0,50	0,82	1,50	2,10	1,50	0,00	1,35	2,10	1,50	1,80	0,00	1,20	1,50	2,25	3,00	0,45	0,74	1,50	2,40	2,25
	0,50	0,75	0,82	2,25	2,32	0,15	0,75	2,25	1,65	2,25	0,00	0,90	1,50	1,95	2,25	0,60	1,24	2,25	2,25	2,25
	0,40	0,82	0,76	1,50	1,50	0,45	0,90	1,50	1,20	2,10	0,00	1,35	1,50	1,50	2,25	0,60	1,24	2,25	1,50	2,25
	0,50	1,35	1,35	2,25	1,65	0,00	1,20	1,50	2,10	1,50	0,15	1,50	1,35	2,40	3,00	0,00	1,24	2,25	2,25	2,25
	0,50	0,82	0,00	0,00	2,26	0,00	1,35	1,50	1,95	2,40	0,00	1,35	2,10	1,65	3,00	0,15	1,24	2,25	2,40	2,25
	0,50	0,82	1,50	1,50	2,25	0,15	0,75	1,50	2,10	2,40	0,00	0,75	1,65	2,25	2,25	0,45	1,24	2,25	2,25	2,25
	0,50	0,82	1,35	2,25	2,10	0,00	0,75	1,80	1,95	2,55	0,00	1,20	1,50	1,65	3,00	0,00	1,12	1,50	2,25	2,25
	0,50	1,35	0,76	1,50	2,10	0,15	1,50	1,65	1,95	2,25	0,00	0,90	1,50	1,65	3,00	0,00	1,87	1,80	2,25	3,00
	0,40	1,35	1,50	2,10	2,25	0,00	1,50	1,95	2,10	2,55	0,15	0,75	1,80	2,25	2,25	0,15	1,24	2,10	1,50	3,00
$\bar{x}$	0,48	0,96	1,09	1,69	1,94	0,10	1,15	1,72	1,78	2,20	0,10	1,11	1,65	1,98	2,70	0,24	1,24	1,96	2,13	2,40

QUADRO 5A - Valores experimentais da resistência à tração, expressos pelo comprimento de auto-ruptura, em km, das polpas sulfito neutro de E. grandis, obtidas com diferentes níveis de sulfito de sódio, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Sulfito de Sódio (%)	16					18					20					22				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Comprimento auto-ruptura (km)	2,51	6,96	6,06	7,20	8,01	1,76	4,80	8,40	7,51	8,14	2,39	5,81	5,94	6,71	9,51	3,66	6,15	7,28	7,88	8,02
	2,97	5,71	5,57	8,09	7,23	2,48	5,14	9,53	7,63	8,14	2,61	6,03	5,94	6,48	9,04	3,11	6,49	6,91	8,12	7,89
	2,74	5,09	5,09	8,22	7,36	3,11	6,03	9,08	7,04	10,65	1,85	5,81	6,78	7,77	8,56	3,11	6,83	6,31	9,82	8,27
	2,17	5,71	6,54	8,22	7,23	3,00	6,03	8,17	9,15	10,05	2,83	6,70	6,91	8,01	7,97	2,89	6,03	8,49	9,33	7,26
	2,17	5,46	6,54	8,85	6,97	3,42	6,03	6,58	9,04	9,81	2,94	6,81	7,88	8,36	9,04	3,11	5,92	8,01	8,49	7,01
	3,19	5,34	6,78	8,34	8,40	3,31	6,03	7,72	7,74	10,05	2,72	6,37	6,30	8,36	10,23	3,33	6,49	7,76	9,58	7,14
	2,51	5,71	6,90	7,84	7,23	2,38	8,49	7,72	8,68	6,22	3,26	6,70	5,82	7,65	6,18	2,44	6,15	7,76	6,79	7,77
	2,74	5,84	6,30	7,84	7,88	2,69	7,82	6,81	7,28	6,70	2,61	5,47	6,91	9,66	5,95	3,11	7,17	7,03	6,55	8,27
	1,83	5,22	6,42	8,09	8,27	3,00	7,82	7,04	7,28	7,66	2,07	6,48	6,18	9,42	10,46	3,11	8,88	7,52	6,67	7,26
	2,17	6,96	5,21	7,20	7,49	2,69	7,60	7,94	8,21	6,34	2,39	8,04	5,94	7,54	9,16	3,78	7,97	7,76	7,03	7,14
$\bar{X}$	2,50	5,80	6,14	7,99	7,61	2,78	6,58	7,90	7,96	8,38	2,57	6,42	6,46	7,99	8,61	3,16	6,81	7,48	8,03	7,60

QUADRO 6A - Valores experimentais da resistência do arrebentamento, expressos pelo índice de arrebentamento, das polpas sulfito neutro de E. grandis, obtidas com diferentes níveis de sulfito de sódio, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Sulfito de Sódio (%)	16					18					20					22				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Índice de arrebentamento	4	26	33	42	43	2	30	42	48	50	4	27	29	42	61	0	41	44	44	41
	4	26	36	44	43	4	30	39	51	52	4	27	36	48	53	4	39	40	40	45
	4	22	36	42	43	4	28	39	44	47	0	27	29	44	57	0	32	47	51	49
	2	26	38	42	46	4	28	42	48	50	4	27	25	46	57	2	34	47	44	49
	2	33	36	42	39	4	28	42	44	50	4	28	42	51	61	2	37	36	40	53
	0	37	36	42	39	4	33	46	51	54	4	30	33	56	57	4	37	36	44	53
	2	26	36	38	46	6	35	49	51	54	2	28	31	56	61	4	24	36	36	45
	2	30	40	45	43	4	33	49	48	54	2	27	34	55	53	4	24	36	40	45
	2	22	38	38	46	4	35	35	51	47	2	37	34	51	48	4	34	51	42	45
	2	26	36	38	44	8	37	39	48	47	4	37	33	56	53	4	34	47	47	43
$\bar{x}$	2	27	37	41	43	4	32	42	48	50	3	29	33	51	56	3	34	42	43	47

QUADRO 7A - Valores experimentais da resistência ao rasgo, expressos pelo índice de rasgo, das polpas sulfito neutro de E. grandis obtidas com diferentes níveis de sulfito de sódio, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Sulfito de Sódio (%)	16					18					20					22				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Índice de rasgo	30	65	75	61	62	30	86	110	65	75	40	100	97	85	96	48	109	96	93	87
	40	65	78	30	56	36	96	113	87	75	45	109	94	96	93	43	98	90	108	81
	55	65	75	61	50	36	75	110	79	57	50	114	91	90	81	48	104	87	96	76
	45	60	52	70	43	46	91	93	87	69	42	99	91	85	81	48	104	93	84	79
	7	63	58	70	74	36	91	96	76	63	45	100	114	90	87	53	104	99	84	81
$\bar{X}$	35	64	68	58	57	37	88	104	79	68	44	104	97	89	88	48	104	93	93	81

QUADRO 8A - Valores experimentais do alongamento, expressos em percentagem, das polpas sulfito neutro de E. grandis, obtidas com diferentes níveis de sulfito de sódio, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Sulfito de Sódio (%)	16					18					20					22				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Alongamento (%)	0,00	1,50	1,35	1,50	2,25	0,00	1,50	2,25	3,00	2,25	0,00	1,50	1,50	2,25	2,25	0,75	1,50	2,25	2,10	2,10
	0,60	0,90	1,50	1,50	2,25	0,00	1,50	2,25	3,00	2,25	0,15	1,50	1,50	2,25	3,00	0,75	1,50	1,50	2,25	1,50
	0,15	0,75	1,50	2,25	1,95	0,75	1,50	1,50	2,25	2,85	0,00	1,50	1,50	2,85	3,00	0,75	2,10	1,50	2,25	2,25
	0,00	1,50	1,50	2,25	1,50	0,75	1,50	2,25	2,25	2,40	0,60	1,50	1,50	2,25	2,25	0,30	1,50	2,25	2,25	2,25
	0,00	0,75	1,65	2,25	2,25	0,75	1,50	2,25	2,25	2,25	0,60	1,50	1,50	2,85	3,00	0,75	1,50	2,25	2,25	1,95
	0,60	1,50	1,50	2,25	2,25	0,75	1,50	2,25	2,25	2,25	0,15	1,50	1,50	3,00	3,00	0,75	1,50	1,50	2,25	2,25
	0,00	1,50	1,50	2,25	2,10	0,00	1,50	2,25	2,25	2,25	0,75	1,50	2,25	2,25	1,50	0,15	1,50	1,50	2,25	2,25
	0,15	1,50	1,95	2,10	2,25	0,15	2,25	2,25	2,25	1,50	0,15	1,50	2,10	2,25	1,50	0,75	1,50	2,10	2,25	2,25
	0,00	0,75	1,50	2,25	2,25	0,75	2,10	2,10	1,50	2,25	0,00	1,50	1,50	2,25	3,00	0,75	2,25	2,25	2,25	2,25
	0,00	1,50	0,75	2,10	2,25	0,15	1,50	2,25	2,25	2,25	0,00	2,25	1,50	2,25	3,00	0,75	1,50	2,25	2,25	1,50
$\bar{X}$	0,15	1,21	1,47	2,07	2,13	0,40	1,63	2,16	2,32	2,25	0,24	1,57	1,63	2,44	2,55	0,64	1,63	1,93	2,23	2,05

QUADRO 9A - Valores experimentais da resistência à tração, expressos pelo comprimento de auto-ruptura, em km, das polpas sulfito neutro de E.grandis, obtidas com 9% de sulfito de sódio e diferentes níveis de antraquinona, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Antraquinona (%)	0,00					0,05					0,10					0,50				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Comprimento de auto-ruptura (km)	2,01	4,99	6,15	5,82	7,03	1,71	4,69	5,69	6,58	5,93	1,96	4,79	5,03	5,71	6,12	2,02	4,30	5,18	7,95	9,17
	2,12	4,63	5,70	6,17	6,56	1,40	4,58	4,99	6,70	6,53	2,16	4,80	5,38	5,25	6,63	1,38	4,96	5,85	7,72	8,70
	2,09	4,43	5,90	6,28	7,03	1,72	4,49	5,44	6,82	6,76	2,40	4,69	5,38	5,25	7,00	1,70	5,41	6,75	9,00	8,35
	2,12	5,09	5,92	7,10	6,91	1,93	4,26	5,13	6,35	5,93	1,74	4,23	4,89	5,72	5,90	1,59	5,74	5,40	7,72	8,23
	2,22	4,88	5,70	7,21	7,03	1,93	4,28	5,57	6,58	7,50	1,74	4,57	4,89	6,06	6,14	1,80	4,74	6,08	8,30	8,70
	2,22	5,10	6,38	6,98	7,14	1,93	4,26	5,22	6,58	7,14	1,74	5,03	5,38	5,48	5,90	1,06	4,96	5,85	8,89	6,94
	2,09	4,88	6,15	6,75	7,26	1,72	4,81	4,99	5,41	6,41	1,96	4,80	5,61	5,72	6,88	1,80	4,85	6,86	7,60	7,53
	2,09	4,88	6,04	6,05	7,38	1,50	4,69	5,34	5,41	6,02	2,29	5,49	5,03	5,48	7,13	1,17	4,74	5,51	6,66	8,22
	1,90	4,66	5,67	6,28	7,26	2,04	4,48	5,34	5,17	6,76	2,07	5,37	5,17	5,48	5,90	1,70	4,52	5,85	7,02	8,70
	2,09	5,09	5,67	6,52	7,26	1,93	4,69	4,85	5,20	6,29	2,40	4,80	5,35	5,72	6,66	1,48	4,74	6,41	7,02	8,22
$\bar{X}$	2,09	4,86	5,93	6,52	7,08	1,78	4,52	5,26	6,08	6,53	2,05	4,86	5,21	5,59	6,43	1,57	4,90	5,97	7,79	8,28

QUADRO 10A - Valores experimentais da resistencia ao arrebentamento, expressos pelo índice de arrebentamento, das polpas sulfito neutro de E.grandis, obtidas com 9% de sulfito de sódio e diferentes níveis de antraquinona, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Antraquinona (%)	0,00					0,05					0,10					0,50				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Índice de arrebentamento	2	18	31	42	46	0	20	23	37	43	2	17	28	29	40	2	20	27	42	46
	2	18	31	38	46	0	20	28	39	43	2	17	24	32	46	2	20	30	38	46
	2	18	32	42	39	0	20	24	35	43	4	20	24	32	29	0	20	30	35	42
	4	23	34	42	42	0	20	31	35	47	2	19	28	36	33	2	20	27	38	42
	2	20	31	42	42	2	22	24	25	43	0	17	28	32	37	2	20	34	42	49
	2	23	31	42	46	0	23	24	25	40	0	17	24	25	33	0	20	30	38	39
	2	18	34	42	46	0	18	28	35	40	2	20	28	37	40	0	23	27	42	49
	2	20	34	38	46	2	20	24	35	40	0	20	31	32	40	2	20	24	38	46
	2	23	34	49	42	2	20	24	35	40	2	19	30	30	37	0	20	30	38	42
	2	22	27	45	46	2	23	24	33	43	2	20	28	32	39	0	23	30	28	46
$\bar{X}$	2	20	32	42	44	1	21	25	33	42	2	19	27	32	37	1	21	29	38	45

QUADRO IIA - Valores experimentais da resistência ao rasgo, expressos pelo índice de rasgo, das polpas sulfito neutro de E.grandis, obtidas com 9% de sulfito de sódio e diferentes níveis de antraquinona, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Antraquinona (%)	0,00					0,05					0,10					0,50				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Índice de rasgo	46	79	85	100	87	39	81	89	93	104	57	85	90	97	106	48	86	69	95	79
	43	79	80	89	90	36	97	89	93	96	47	99	107	112	100	41	76	71	95	79
	41	76	69	84	95	46	78	75	96	93	52	104	107	97	94	41	70	79	84	79
	41	76	74	128	90	46	75	78	133	93	52	88	98	89	94	46	70	98	84	85
	41	76	85	95	81	51	70	78	135	93	42	77	90	106	100	56	81	106	93	85
$\bar{X}$	42	77	79	99	89	44	80	82	110	96	50	90	98	100	99	46	77	85	90	81

QUADRO 12A - Valores experimentais do alongamento, expressos em percentagem, das polpas sulfito neutro de E. grandis, obtidas com 9% de sulfito de sódio e diferentes níveis de antraquinona, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Antraquinona (%)	0,00					0,05					0,10					0,50				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Alongamento (%)	0,50	1,60	2,00	1,75	2,50	0,30	2,00	2,25	2,10	2,50	0,50	2,00	1,90	2,30	2,00	0,20	1,20	1,50	2,75	3,40
	0,50	1,50	2,10	2,00	2,00	0,25	1,90	2,00	2,00	2,90	0,50	2,00	2,40	2,00	2,40	0,20	1,60	1,60	2,00	2,90
	0,50	1,50	2,00	2,00	2,40	0,30	1,60	2,25	2,25	2,50	0,50	1,50	2,50	2,25	2,75	0,20	1,75	2,40	2,75	2,50
	0,50	1,50	2,10	2,00	2,40	0,50	1,50	2,00	2,20	2,50	0,50	1,50	2,00	2,40	2,25	0,20	1,75	1,70	2,50	2,75
	0,50	1,50	2,00	2,20	2,40	0,25	1,80	2,50	2,40	2,50	0,25	1,50	2,30	2,50	2,00	0,10	1,50	1,90	2,70	2,50
	0,50	1,75	2,00	2,00	2,00	0,50	1,50	2,00	2,10	2,50	0,40	1,50	2,40	2,60	2,40	0,10	1,40	2,00	2,40	2,00
	0,50	1,40	1,60	2,00	2,50	0,40	1,90	2,00	2,00	2,50	0,50	1,50	2,20	2,50	2,50	0,20	1,60	2,00	2,50	2,50
	0,50	1,60	2,00	1,60	1,90	0,20	1,60	2,00	2,00	2,00	0,50	1,90	2,00	2,40	2,75	0,10	1,25	1,50	2,25	2,50
	0,40	1,50	1,75	1,90	2,40	0,50	1,50	2,00	2,00	2,60	0,40	1,60	2,40	2,40	2,40	0,20	1,20	2,00	2,50	3,00
	0,50	1,40	1,75	1,90	2,50	0,50	1,90	2,00	1,75	2,50	0,50	1,50	2,00	2,50	2,90	0,10	1,40	1,80	2,50	2,90
$\bar{x}$	0,49	1,52	1,93	1,93	2,30	0,37	1,72	2,10	2,08	2,50	0,45	1,65	2,21	2,38	2,43	0,16	1,46	1,84	2,48	2,69

QUADRO 13A - Valores experimentais da resistência à tração, expressos pelo comprimento de auto-ruptura, em km, das polpas sulfito neutro de E. grandis, obtidas com 13% de sulfito de sódio e diferentes níveis de antraquinona, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Antraquinona (%)	0,00					0,05					0,10					0,50				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Comprimento de auto-ruptura (km)	2,33	6,20	6,71	7,95	8,26	2,80	6,38	9,37	9,02	10,27	2,90	5,66	8,53	9,80	9,11	2,59	6,67	8,31	8,21	9,55
	2,65	5,66	7,38	8,30	8,06	2,58	6,94	8,93	9,44	9,34	2,79	6,01	8,09	9,68	7,89	2,27	6,67	8,77	8,78	9,79
	2,55	5,22	7,27	7,72	8,86	2,58	6,72	8,91	8,30	8,99	3,00	6,35	7,64	10,85	8,13	2,38	6,45	8,40	8,80	8,86
	2,55	6,74	7,16	8,19	8,51	2,80	6,05	8,68	8,88	10,04	3,00	6,79	8,09	10,74	9,21	2,27	6,23	8,51	8,66	10,03
	2,55	5,44	7,16	8,30	8,04	2,90	6,38	8,45	9,02	10,50	3,00	7,59	7,53	8,98	8,13	2,59	6,34	8,19	8,66	9,79
	2,86	6,53	6,26	7,25	8,98	3,23	6,72	7,77	8,76	9,56	2,57	7,13	7,87	9,68	10,41	2,59	6,23	8,19	8,78	10,38
	2,55	6,09	6,04	7,02	8,04	2,58	6,05	6,85	10,03	10,48	2,79	7,11	7,98	9,33	11,24	2,48	6,67	9,11	8,66	10,03
	2,44	5,87	7,16	8,16	8,15	2,80	6,38	8,80	9,57	10,51	2,57	6,24	6,97	9,80	7,66	2,16	6,34	8,07	7,97	10,26
	2,76	5,66	6,71	7,95	8,74	2,80	6,27	7,99	9,34	10,27	2,79	6,24	7,31	9,80	9,93	2,59	5,45	7,38	8,22	10,61
	2,76	5,44	6,49	7,72	8,51	2,90	6,94	9,13	9,43	7,94	2,90	6,91	7,42	9,54	9,21	2,59	6,23	7,38	7,85	8,86
$\bar{X}$	2,60	5,88	6,83	7,86	8,41	2,80	6,48	8,49	9,18	9,79	2,83	6,60	7,74	9,82	9,09	2,45	6,33	8,23	8,46	9,82

QUADRO 14A - Valores experimentais da resistência ao arrebentamento, expressos pelo índice de arrebentamento, das polpas sulfito neutro de *E. grandis*, obtidas com 13% de sulfito de sódio e diferentes níveis de antraquinona, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Antraquinona (%)	0,00					0,05					0,10					0,50				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Índice de Arrebentamento	2	29	47	54	60	4	35	51	45	59	4	32	44	52	50	4	20	48	45	54
	4	29	40	53	58	4	37	41	55	59	4	37	44	52	54	4	27	48	43	49
	4	29	44	49	53	4	33	44	48	59	4	35	34	59	47	2	32	48	50	66
	2	29	40	49	51	4	33	44	45	51	2	33	40	59	43	4	33	44	38	59
	4	36	44	53	57	4	33	44	59	56	4	35	42	59	61	4	33	48	48	52
	4	33	44	49	57	4	33	48	55	56	4	37	44	52	64	2	28	48	50	63
	2	33	47	49	60	4	33	48	55	56	4	37	37	59	47	2	33	41	45	59
	4	31	44	42	64	4	33	41	59	56	2	37	40	51	47	4	33	49	52	54
	4	29	45	53	50	4	37	48	55	52	4	30	40	56	54	4	30	43	48	59
	4	33	44	53	46	2	33	48	52	56	4	27	40	56	50	2	32	44	50	59
$\bar{X}$	3	31	44	50	56	4	34	46	53	56	4	34	40	55	52	3	30	46	47	57

QUADRO 15A - Valores experimentais da resistência ao rasgo, expressos pelo índice de rasgo, das polpas sulfito neutro de E. grandis, obtidas com 13% de sulfito de sódio e diferentes níveis de antraquinona, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Antraquinona (%)	0,00					0,05					0,10					0,50				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Índice de rasgo	51	104	97	84	82	57	81	90	91	95	57	88	105	95	89	47	99	93	95	94
	51	104	99	90	85	46	81	93	94	98	54	80	105	84	89	41	93	93	89	105
	53	99	99	84	85	49	91	99	111	106	57	77	124	78	83	39	91	93	95	88
	51	99	110	84	79	52	81	93	116	120	46	85	135	81	83	47	99	115	109	88
	58	83	121	84	79	46	75	88	94	101	51	83	81	84	80	57	117	109	89	91
$\bar{X}$	53	98	105	85	82	50	82	93	101	104	53	83	110	84	84	46	100	101	95	93

QUADRO 16A - Valores experimentais do alongamento, expressos em percentagem, das polpas sulfito neutro de E. grandis, obtidas com 13% de sulfito de sódio e diferentes níveis de antraquinona, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Antraquinona (%)	0,00					0,05					0,10					0,50				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Alongamento (%)	0,50	1,50	1,50	2,50	2,40	0,50	2,00	2,75	2,75	3,00	0,50	1,60	2,50	3,00	3,00	0,25	2,00	2,50	3,00	2,75
	0,50	2,00	2,00	2,00	2,00	0,50	2,00	2,50	3,00	2,75	0,50	1,60	2,75	3,00	2,50	0,25	2,25	2,60	2,90	3,00
	0,50	1,50	1,50	2,00	2,50	0,50	2,00	2,90	2,50	2,50	0,50	1,75	2,50	3,00	2,60	0,25	2,00	2,75	2,50	2,75
	0,50	1,50	2,00	2,00	2,50	0,50	2,00	2,75	2,75	3,00	0,50	2,20	2,50	3,00	2,50	0,50	2,00	2,50	2,75	3,00
	0,50	1,90	2,00	2,00	2,00	0,60	2,00	2,50	3,00	2,90	0,50	2,40	2,30	2,50	2,50	0,50	2,00	2,75	2,90	3,00
	0,50	1,50	2,00	2,00	2,00	0,75	1,90	2,60	2,90	2,75	0,40	2,00	2,25	2,90	3,00	0,50	2,00	3,00	2,00	2,90
	0,70	1,50	2,00	2,00	2,50	0,40	1,50	2,00	3,00	3,50	0,50	2,50	2,50	2,50	2,90	0,50	2,00	2,50	2,60	3,00
	0,50	1,90	2,00	2,40	2,00	0,75	2,00	2,50	3,00	2,90	0,50	1,75	2,25	3,00	2,40	0,40	2,00	2,50	2,50	3,00
	1,00	2,00	2,00	2,00	2,50	0,60	1,90	2,50	2,50	3,00	0,25	1,75	2,00	3,00	3,00	0,40	1,50	2,75	2,75	2,75
	0,75	1,50	1,60	2,00	2,40	0,60	2,25	2,75	2,75	2,00	0,50	2,75	2,30	2,75	2,75	0,50	2,00	2,25	2,50	2,50
$\bar{X}$	0,59	1,68	1,86	2,09	2,28	0,57	1,95	2,57	2,81	2,83	0,46	2,03	2,38	2,86	2,71	0,40	1,97	2,61	2,64	2,86

QUADRO 17A - Valores experimentais da resistência à tração, expressos pelo comprimento de auto-ruptura, em km, das polpas sulfito neutro de E.grandis, obtidas com 17% de sulfito de sódio e diferentes níveis de antraquinona, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Antraquinona (%)	0,00					0,05					0,10					0,50				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Comprimento de auto-ruptura (km)	2,69	6,44	7,44	8,29	8,24	2,81	7,58	7,76	8,85	11,34	3,38	5,76	6,77	7,35	8,81	2,34	6,34	8,91	7,53	9,55
	2,91	6,33	8,13	7,59	9,07	2,92	7,58	7,76	10,12	11,10	3,17	5,09	7,01	7,48	8,56	2,36	6,76	8,57	8,67	10,59
	3,01	6,23	7,55	7,45	8,71	2,62	7,77	8,10	8,85	11,46	3,59	5,76	7,20	7,13	8,44	2,23	6,76	8,91	9,35	10,59
	2,26	6,22	7,78	7,94	8,36	2,92	7,22	8,23	8,51	11,46	3,28	5,76	7,00	6,79	9,47	2,35	6,21	8,82	9,24	10,36
	3,12	6,33	7,78	9,32	9,07	3,23	6,89	8,10	8,51	11,33	3,59	5,32	7,45	6,90	8,10	1,91	6,09	8,46	8,67	10,59
	2,91	6,33	8,13	7,59	8,01	3,03	6,89	7,98	9,06	10,86	3,60	6,20	7,00	7,25	9,60	2,23	5,67	7,65	9,35	10,48
	2,91	6,66	7,44	7,45	7,89	3,24	7,55	7,98	9,67	10,75	3,06	6,20	6,99	7,13	9,37	2,34	6,76	8,12	8,10	10,71
	2,91	6,22	7,31	8,52	8,71	2,81	6,00	8,56	9,66	9,43	3,36	6,43	7,34	7,82	7,63	2,34	6,34	8,78	9,13	9,09
	2,05	6,44	6,64	7,71	8,71	2,60	6,44	7,42	9,42	8,06	3,17	6,43	6,43	7,36	8,79	2,23	6,10	7,87	8,33	9,67
	2,37	6,22	7,55	7,59	8,95	2,92	6,89	7,76	10,23	10,40	2,85	5,54	6,43	7,82	9,04	2,34	6,34	8,35	7,87	8,98
$\bar{X}$	2,71	6,34	7,57	7,94	8,57	2,91	7,08	7,96	9,29	10,62	3,30	5,85	6,96	7,30	8,78	2,27	6,34	8,44	8,62	10,06

QUADRO 18A - Valores experimentais da resistência ao arrebentamento, expressos pelo índice de arrebentamento, das polpas sulfito neutro de E. grandis, obtidas com 17% de sulfito de sódio e diferentes níveis de antraquinona, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Antraquinona (%)	0,00					0,05					0,10					0,50				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Índice de arrebentamento	2	32	45	45	56	4	37	44	48	74	8	40	51	55	69	2	33	44	55	59
	2	33	50	49	56	8	37	48	62	64	6	38	47	52	76	4	29	41	55	55
	4	30	45	45	63	4	38	38	59	74	4	40	52	64	59	2	29	47	51	66
	4	33	41	44	55	4	33	44	53	64	8	36	44	59	66	4	33	44	48	62
	4	33	50	51	56	4	40	44	59	64	8	40	54	59	73	2	36	44	56	62
	2	33	48	56	63	4	43	48	53	60	8	36	54	59	66	2	29	44	51	62
	4	32	46	47	69	4	40	48	55	67	8	40	49	55	69	2	23	46	48	52
	4	37	50	45	53	4	40	44	52	64	8	36	49	60	62	2	26	44	38	59
	2	33	45	45	63	4	37	51	55	71	8	40	51	52	73	2	29	44	58	66
	2	33	41	56	60	4	35	44	59	67	4	38	49	59	69	4	33	44	55	69
$\bar{X}$	3	33	46	48	59	4	38	45	55	67	7	38	50	57	68	3	30	44	51	61

polpas sulfito neutro de E.grandis, obtidas com 17% de sulfito de sódio e diferentes níveis de antraquinona, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Antraquinona (%)	0,00					0,05					0,10					0,50				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Índice de rasgo	52	80	110	95	85	52	80	101	94	68	56	85	108	88	83	53	99	114	88	88
	46	101	110	95	79	52	96	109	85	71	61	85	108	88	83	74	84	108	88	94
	57	85	99	101	73	57	85	101	88	74	51	96	97	94	83	56	89	105	85	94
	46	80	88	106	73	49	101	109	88	91	51	88	97	94	83	56	94	89	115	88
	41	85	82	95	82	52	85	98	94	76	53	90	92	99	83	51	99	84	120	83
$\bar{X}$	48	86	98	98	78	52	89	104	90	76	54	89	100	93	83	58	93	100	99	89

QUADRO 20A - Valores experimentais do alongamento, expressos em percentagem, das polpas sulfito neutro de E. grandis, obtidas com 17% de sulfito de sódio e diferentes níveis de antraquinona, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos

Antraquinona (%)	0,00					0,05					0,10					0,50				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Alongamento (%)	0,50	1,50	2,00	2,00	2,00	0,50	2,25	2,75	2,75	3,50	1,00	0,90	1,00	1,50	2,40	0,20	1,75	3,00	2,40	3,60
	1,00	1,50	2,00	2,00	2,00	0,50	2,10	2,75	3,00	3,50	0,75	0,60	1,00	1,00	2,40	0,20	2,00	2,60	2,75	3,00
	0,75	1,50	1,60	2,00	1,60	0,40	2,10	2,40	2,50	3,50	0,75	1,00	1,10	1,60	2,50	0,25	2,25	2,75	2,60	3,40
	0,40	1,50	1,50	1,80	2,00	0,50	2,00	2,50	2,40	3,50	0,90	1,10	1,50	1,50	2,30	0,25	1,60	2,75	2,60	3,40
	0,90	1,50	1,50	1,75	2,00	0,75	2,00	2,25	2,50	3,25	1,00	0,90	1,50	1,75	1,90	0,20	1,75	2,40	2,75	3,50
	1,00	1,50	1,50	1,90	2,00	0,60	1,75	2,50	2,25	2,75	0,90	0,75	1,50	1,50	2,00	0,25	1,50	2,40	3,00	3,25
	0,50	1,50	2,00	1,75	1,80	0,90	2,10	2,50	3,00	3,40	0,90	0,75	1,10	1,00	2,00	0,25	2,00	2,60	2,40	3,40
	1,00	1,50	1,90	1,50	2,00	0,50	1,40	2,50	3,20	2,60	0,75	0,50	1,10	1,40	1,50	0,20	2,25	2,60	3,00	3,00
	0,40	1,50	1,50	1,50	2,00	0,50	1,60	2,20	3,00	2,00	0,75	0,60	1,60	1,00	2,00	0,20	1,50	2,50	2,60	3,40
	0,50	1,50	1,90	1,90	2,00	0,75	1,75	2,10	3,20	3,20	0,50	0,50	1,75	1,50	2,00	0,20	1,60	2,90	2,60	2,50
$\bar{X}$	0,69	1,50	1,74	1,81	1,94	0,59	1,90	2,44	2,78	3,12	0,82	0,76	1,31	1,37	2,10	0,22	1,82	2,65	2,67	3,24

QUADRO 21A - Valores experimentais da resistência à tração, expressos pelo comprimento de auto-ruptura, em km, das polpas sulfito neutro de E. grandis, obtidas com 21% de sulfito de sódio e diferentes níveis de antraquinona, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Antraquinona (%)	0,00					0,05					0,10					0,50				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Comprimento de auto ruptura (km)	1,91	5,95	7,10	7,94	9,09	2,61	6,00	7,11	7,25	9,84	3,19	6,65	7,79	7,34	7,87	3,30	6,63	8,94	7,94	10,35
	1,91	6,17	7,77	7,73	8,61	2,93	5,55	6,30	7,95	9,48	2,87	6,32	7,59	7,34	9,02	2,87	6,63	8,03	7,60	9,52
	2,55	6,39	7,55	9,32	10,00	2,61	5,77	6,19	7,95	8,53	3,19	5,67	6,69	7,80	9,25	2,77	5,75	7,13	8,05	8,95
	2,23	6,39	7,43	7,50	9,54	2,82	6,11	5,96	7,25	9,22	3,08	6,21	7,25	7,11	8,79	3,30	6,85	8,14	7,94	9,09
	2,44	6,39	8,11	7,50	8,61	2,82	5,88	6,19	7,13	9,47	3,19	6,11	7,79	7,57	9,02	2,98	7,40	7,69	8,61	9,65
	2,33	7,16	7,87	8,41	9,77	2,80	5,53	6,65	7,71	9,01	3,08	6,54	7,25	7,57	8,91	2,55	6,74	7,69	7,94	10,11
	1,80	6,83	6,31	9,54	9,77	2,61	5,66	6,42	7,83	8,53	2,87	6,11	6,69	7,34	8,33	2,23	7,18	8,03	8,50	8,60
	2,76	7,03	7,21	9,77	9,30	2,39	5,55	6,65	7,01	9,36	2,87	6,98	7,36	7,80	8,91	2,55	6,74	7,91	8,39	8,25
	2,23	6,72	7,66	9,43	9,30	2,93	5,77	6,88	7,25	9,60	2,97	6,32	7,14	7,57	8,33	2,55	7,05	7,92	7,94	7,44
	2,55	5,71	7,66	8,86	10,23	2,81	5,77	7,34	7,48	8,53	2,76	6,32	7,25	7,80	8,33	2,77	6,85	8,14	7,82	8,72
$\bar{X}$	2,27	6,47	7,47	8,60	9,42	2,73	5,76	6,57	7,48	9,16	3,01	6,32	7,28	7,52	8,68	2,79	6,78	7,96	8,07	9,07

QUADRO 22A - Valores experimentais da resistência ao arrebentamento, expressos pelo índice de arrebentamento, das polpas de sulfito neutro de E.grandis, obtidas com 21% de sulfito de sódio e diferentes níveis de antraquinona, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Antraquinona (%)	0,00					0,05					0,10					0,50				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Índice de arrebentamento	2	30	40	48	63	4	30	34	52	71	4	39	43	52	68	4	33	44	47	68
	2	30	40	49	56	2	27	41	49	71	4	39	43	41	59	4	36	44	44	63
	0	33	44	48	59	8	30	45	52	75	4	39	48	55	62	4	33	44	51	59
	0	30	40	51	56	8	35	41	47	75	4	36	43	55	55	6	33	37	51	75
	2	30	40	51	56	4	30	39	45	75	4	39	47	62	69	4	31	49	52	64
	2	33	40	51	52	4	33	41	49	57	4	36	47	62	62	4	30	44	51	63
	2	33	44	51	56	4	30	45	49	60	4	39	50	55	71	4	30	44	49	64
	2	30	47	48	52	8	30	38	49	75	4	36	48	55	73	2	36	50	49	59
	2	30	32	51	52	2	35	41	52	67	4	39	47	55	68	6	35	44	51	57
	0	30	46	44	56	4	33	41	49	71	4	36	47	58	69	4	28	47	51	70
$\bar{X}$	1	31	41	49	56	5	31	41	49	70	4	38	46	55	66	4	32	45	50	64

QUADRO 23A - Valores experimentais da resistência ao rasgo, expressos pelo índice de rasgo, das polpas sulfito neutro de E.grandis, obtidas com 21% de sulfito de sódio e diferentes níveis de antraquinona, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Antraquinona (%)	0,00					0,05					0,10					0,50				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Índice de rasgo	56	103	124	93	78	55	101	110	92	97	51	99	96	88	89	64	85	86	106	75
	66	90	103	93	81	52	91	99	90	97	53	89	102	93	78	51	101	91	98	67
	56	87	100	87	89	52	85	113	95	97	51	81	107	82	78	56	90	94	98	67
	51	92	103	87	84	52	80	110	92	88	53	81	96	88	78	61	79	107	95	84
	58	100	116	93	84	62	80	88	101	88	53	94	96	93	86	51	85	91	87	84
$\bar{X}$	57	94	109	91	83	55	87	104	94	93	52	89	99	89	82	57	88	94	97	75

QUADRO 24 A - Valores experimentais do alongamento, expressos em percentagem, das polpas sulfito neutro de E.grandis, obtidas com 21% de sulfito de sódio e diferentes níveis de antraquinona, para os tempos de refino de 0 a 100 minutos.

Antraquinona (%)	0,00					0,05					0,10					0,50				
Tempo refino (minutos)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Alongamento (%)	0,20	1,75	2,40	3,00	3,25	0,50	2,00	2,50	2,50	2,00	1,00	2,00	2,00	2,50	1,90	0,75	1,90	2,25	2,60	3,00
	0,20	1,50	2,60	3,00	2,90	0,90	1,50	2,00	2,40	2,00	1,00	2,00	1,60	2,25	2,00	0,50	2,00	2,00	2,25	2,75
	0,50	1,75	2,40	2,75	3,00	0,50	1,90	2,10	2,00	2,50	1,00	1,50	2,00	2,00	2,00	0,60	1,50	2,25	1,40	2,50
	0,20	1,90	2,00	3,00	2,75	0,60	1,50	2,00	2,60	2,50	1,00	1,90	2,00	2,00	2,00	0,75	1,75	2,00	2,00	2,40
	0,25	1,90	2,50	2,40	2,40	1,00	1,60	2,30	2,50	2,00	1,00	2,00	1,90	2,00	1,90	0,60	2,00	2,40	2,00	2,70
	0,20	2,00	2,60	2,50	2,75	0,75	1,50	2,00	2,40	2,50	1,00	1,90	2,00	2,00	2,00	0,50	1,90	2,25	2,20	2,75
	0,10	2,00	1,60	2,75	2,90	0,50	2,00	2,00	2,50	2,00	1,00	1,50	1,75	2,00	2,00	0,25	2,00	2,50	2,25	2,00
	0,30	2,10	2,10	3,00	3,20	0,50	1,50	2,20	2,50	2,40	1,00	1,50	1,75	2,50	2,00	0,25	1,75	2,00	2,20	1,75
	0,40	1,60	2,40	2,50	2,90	1,00	1,90	2,00	2,00	2,40	1,00	1,50	2,00	2,25	2,50	0,50	2,00	2,00	2,25	1,50
	0,40	1,40	2,25	2,60	3,40	0,50	1,90	2,00	2,00	2,00	0,80	1,50	2,00	2,50	2,00	0,50	1,75	2,00	2,50	2,20
$\bar{X}$	0,27	1,79	2,28	2,75	2,94	0,67	1,73	2,11	2,34	2,23	0,98	1,73	1,90	2,20	2,03	0,52	1,85	2,16	2,16	2,35