Comitê Brasileiro de Grandes Barragens

XIX SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS

Desenvolvimento de Mantas de PVC - Opção Técnica e Econômica para Impermeabilização de Barragens

ANAIS

Aracaju, março de 1991

DESENVOLVIMENTO DE MANTAS DE P.V.C. - OPÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPERMEABILIZAÇÃO DE BARRAGENS

Engº F.R. Andriolo
Consultor

RESUMO

O trabalho mostra em detalhes as propriedades obtidas através de ensaios para o desenvolvimento de uma manta de PVC com intuito de possibilitar seu uso como elemento de impermeabilização de barramentos.
A disponibilidade técnica dos materiais sintéticos fazem com que os profissionais da área de construção civil se voltem para a adequação de aproveitamento dessa opção.
A avaliação técnica é acompanhada de uma expedita verificação econômica.
As vantagens técnicas e econômicas demonstrada pela manta de PVC tornam a opção bastante atraente e disponível.

1. APRESENTAÇÃO

O desenvolvimento das indústrias química e petroquímica tem colocado à disposição da construção civil um crescente número de produtos e materiais sintéticos.

Durante o XVI Internacional Congress on Large Dams - São Francisco - 1988, vários informes técnicos [1] [2] [3] [4] [5], bem como relatórios [6] [7] publicados em revistas técnicas, dão conta do emergente emprego de mantas plásticas como elemento de impermeabilização para a construção civil.

Contando com essa disponibilidade técnica, as entidades envolvidas na execução do PROJETO CAPANDA - ANGOLA, procuraram desenvolver um elemento de segurança adicional para a impermeabilização da barragem de concreto rolado, pertencente ao referido Projeto.

Esse elemento de segurança adicional para a impermeabilização fundamentou-se em uma manta de PVC - (cloreto de polivinila) desenvolvida para atender requisitos técnicos correspondentes ao Projeto.

2. APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE CAPANDA

O Aproveitamento Hidroelétrico de Capanda é um empreendimento energético em construção pelo Governo de Angola, através do Ministério da Energia e Petróleos, representado pelo GAMEK (Gabinete de Aproveitamento do Médio Kwanza).

Brasil e União Soviética são respectivamente representados pela Construtora Norberto Odebrecht - CNO - (encarregada de todas as obras civis e de infraestrutura) e Technopromexport - TPE (encarregada dos estudos geológicos, projeto e fornecimento e montagem dos equipamentos de geração).

O Projeto Capanda (Figura 1), constituido por um barramento gravidade, basicamente em concreto, tem as seguintes características principais.

* Altura máxima do barramento	=	110 m
* Volume do reservatório	=	4.795.000 m^3
* Área do reservatório	=	164 km^2
* Potência (4 unidades Francis - 130 MW)	=	520 MW
* Volume de concreto rolado	=	764.000 m^3
* Volume de concreto massa e estrutural	=	290.000 m^3
* Volume total de concreto	=	1.054.000 m^3

Tendo em vista a aplicação da técnica do concreto rolado para a construção do barramento, um amplo estudo se desenvolveu [8] no Laboratório de Itaipu para a adequação e caracterização dos concretos.

A concepção do barramento, como se observa pelas Figuras 2, 3 e 4, engloba basicamente:

* Uma zona impermeável à montante;
* Uma rede de drenagem na região à jusante da zona impermeável, para evitar pressões neutras; e,

* Uma região de concreto massa - executado com metodologia do concreto rolado - com propriedades mecânica-elástica e térmicas compatíveis com os requisitos do projeto. A permeabilidade dessa zona é compatível com as características drenantes estabelecidas.

Como se observa na Figura 4, a zona de impermeabilização é composta por uma zona de concreto de baixa permeabilidade (concreto de face) e além disso, por condição de segurança suplementar, uma membrana de material sintético, impermeável.

O material sintético objetivado foi o PVC (Cloreto de Polivinila) com base nas seguintes razões, entre outras:

* O PVC é largamente utilizado na construção civil;
* Os veda-juntas utilizados nas obras atuais, com alturas da coluna hidráulica superior a 200 m, são de PVC e mostram bom desempenho ao longo de sua vida útil;
* Algumas obras executadas èm concreto rolado, como "Winchester" - E.U.A (altura H = 21 m) e "Urugua-I" - Argentina (altura H = 77 m), adotaram membrana de PVC, como barreira impermeável; e,
* O PVC é um termoplástico de fácil manuseio e emenda.

Com base nessas premissas procurou-se desenvolver uma manta de PVC com características técnicas que atendesse determinados requisitos técnicos, como se vê no item 4.

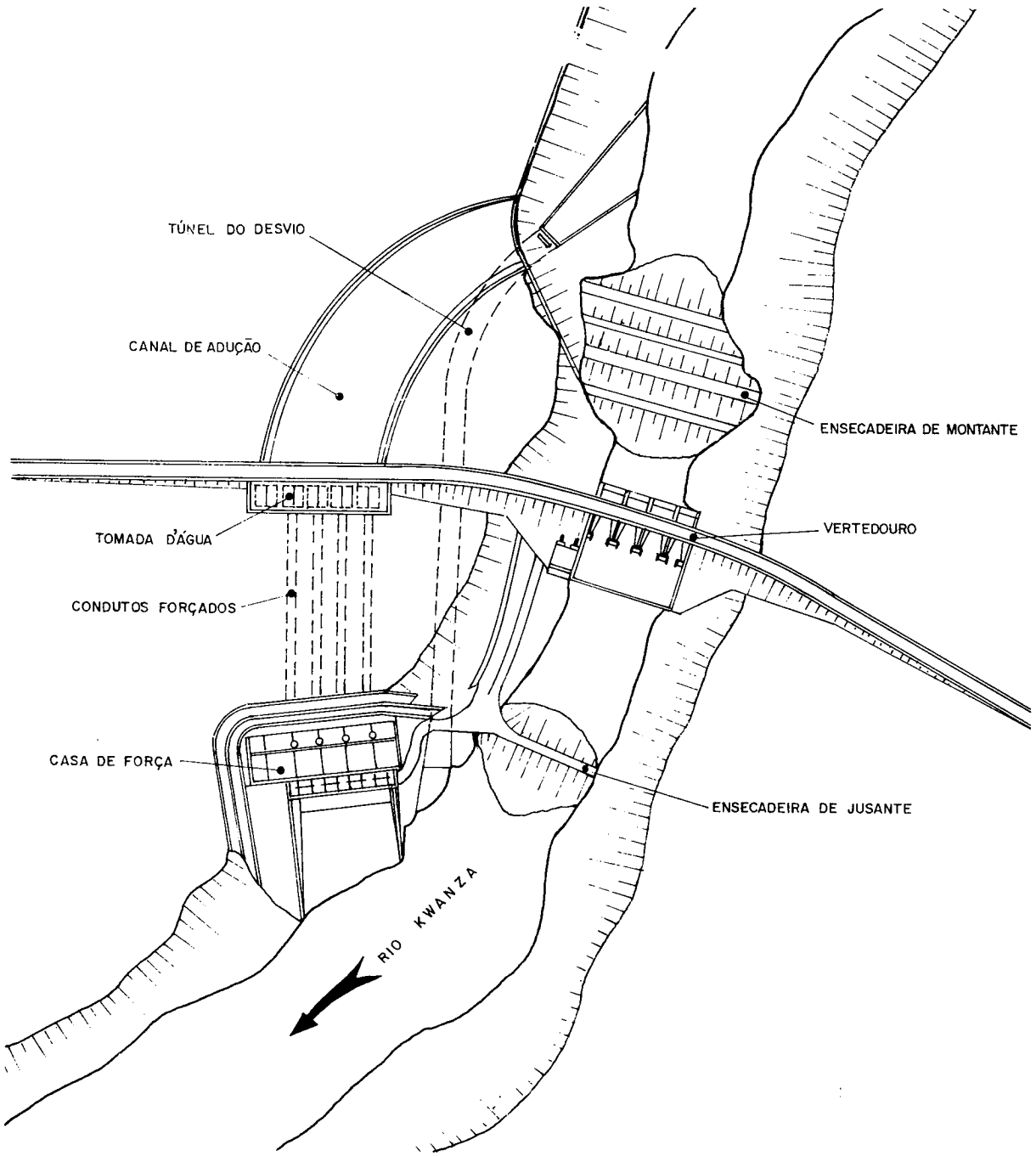


FIGURA 1 - Vista geral do aproveitamento

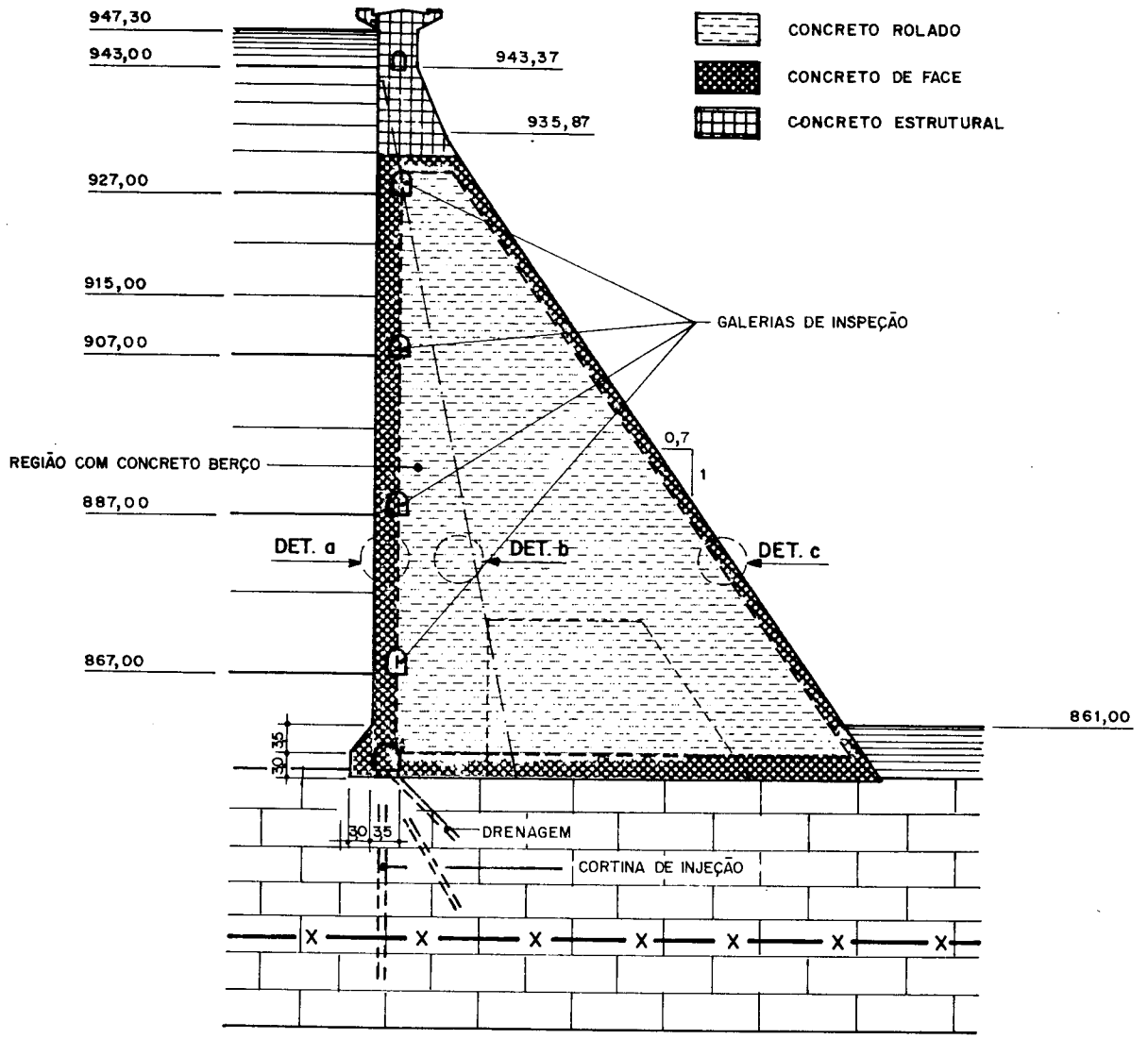


FIGURA 2 - Seção transversal do barramento na região fora do vertedouro

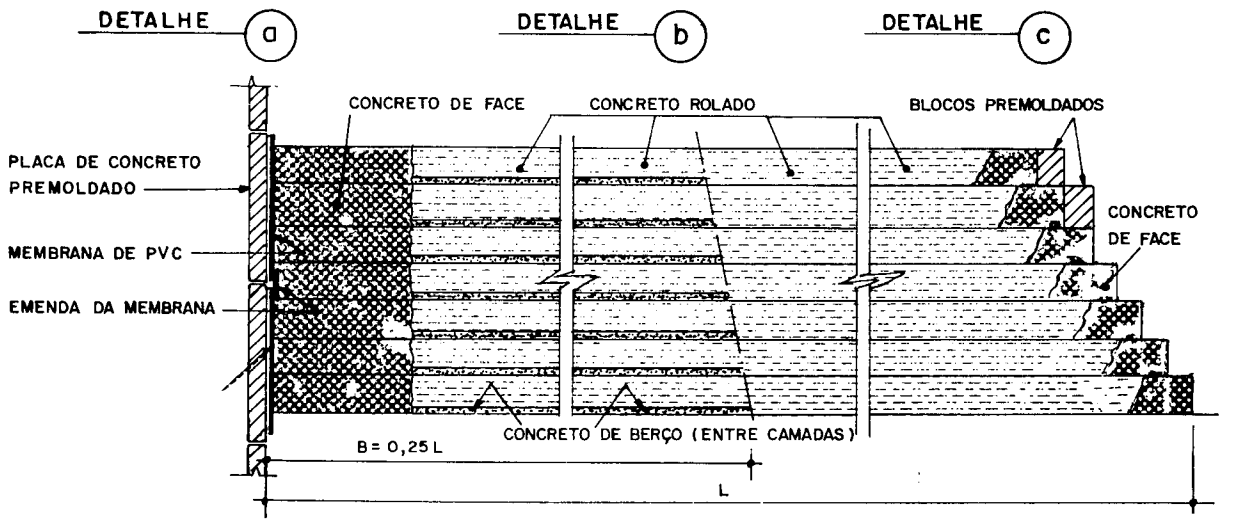


FIGURA 4 - Detalhes referentes à Figura 2

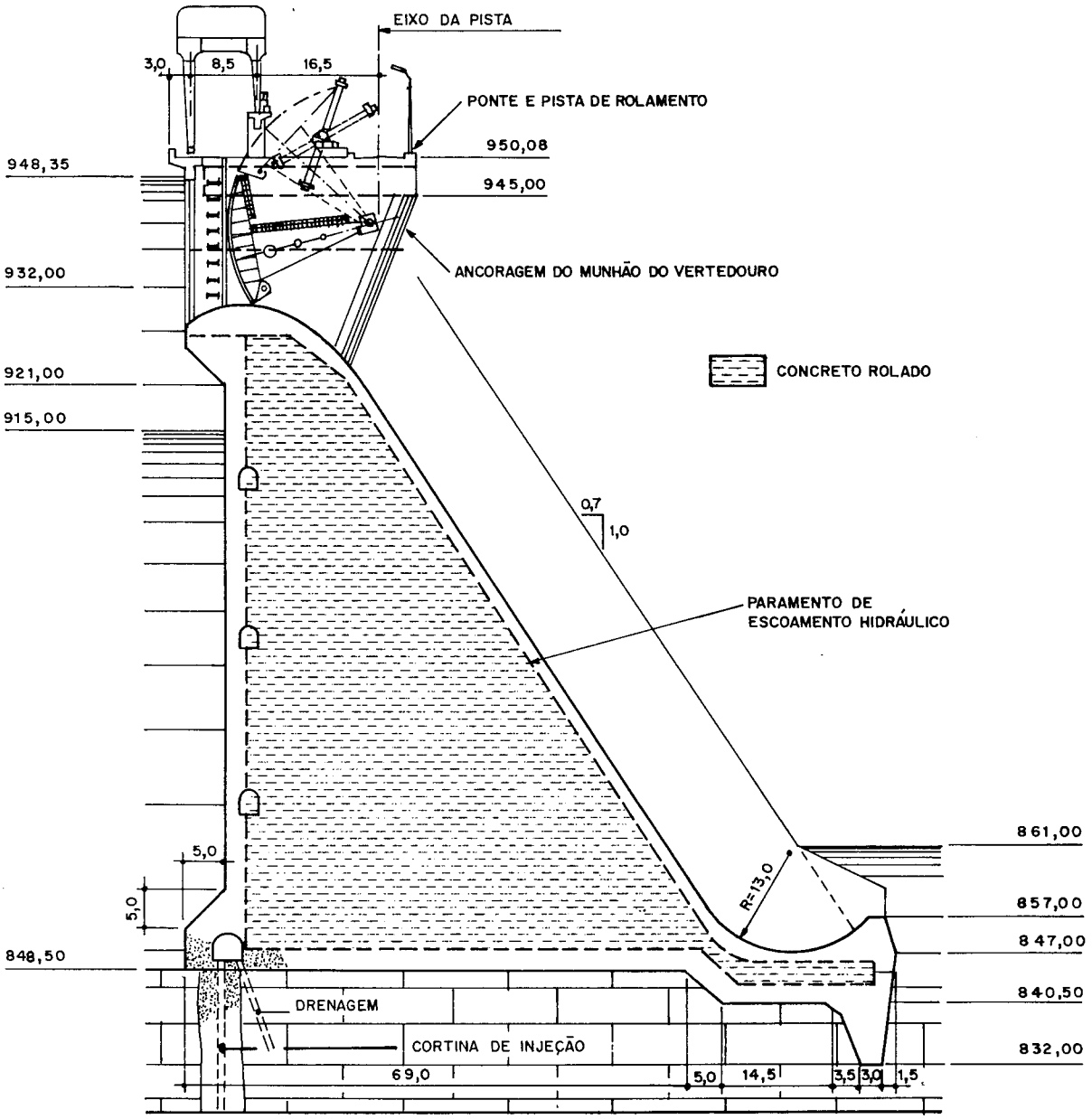


FIGURA 3 - Seção do barramento na região do vertedouro

4. DESENVOLVIMENTO DA MANTA DE PVC

4.1 Generalidades e Premíssas

A Construtora Norberto Odebrecht S/A, contando com a disponilidade de apoio do Laboratório de Concreto da Itaipu Binacional, e de seu corpo técnico, e ainda com o interesse para a produção industrial da "Sansuy S.A. Indústria de Plásticos", elaborou um programa de pesquisas com intuito de:

* Estabelecer acervo técnico para balizamento dos requisitos de especificação, de modo a assegurar as premissas de projeto;
* Desenvolver os ensaios para qualificar a manta e controlar as partidas de material destinadas à obra;
* Desenvolver rotinas e técnicas para execução de emendas das mantas de PVC; e,
* Desenvolver elementos embutidos para posicionamento e fixação da manta.

4.2 Informações Técnicas

O material das mantas de PVC tem uma estrutura molecular amorfa [10], com baixo módulo de elasticidade e sem patamar de escoamento, que tornam o material, praticamente, livre de fissuras e anormalidades. As tensões de tração podem causar maiores danos em materiais rígidos e cristalinos, que nos materiais de estrutura amorfa.

O "Bureau of Reclamation" (U.S. Departament of the Interior) [10] ensaiou mantas de PVC com mais de 20 anos de idade e verificou que, mesmo com a perda de parte dos elementos plasticizantes, as propriedades de tração medidas após 20 anos, apresentaram um incremento de até 30%, mantendo a flexibilidade e impermeabilidade.

Isso se confirma também através de outros estudos [11].

A utilização de óxido de titânio (TiO_2) e Negro de Fumo (Carbon Black) [12] permite estabilizar a membrana de PVC. O "Carbon Black" atua como absorvente das radiações Ultra Violeta (U.V.) e como antioxidante. O TiO_2 absorve também radiações UV.

De acordo com agente agressivo atuante, o envelhecimento químico pode ser classificado [13] em:

* Termoquímico (não oxidativo);
* Termo-oxidativo;
* Fotoquímico;
* Em meio químico;
* Bioquímico; e,
* Mecano-químico.

Os materiais orgânicos se caracterizam por uma baixa estabilidade térmica. A estrutura química dos polímeros pode sofrer transformações irreversíveis a partir de temperaturas situadas entre aproximadamente 100°C e 500°C.

Se o material é colocado a uma condição acima do seu limite de temperatura, ocorre ruptura das ligações mais fracas do polímero, as quais determinam, em grande parte, a estabilidade térmica do polímero.

O PVC puro deveria se degradar somente em temperaturas acima de 200°C, mas devido à duplas ligações moleculares, o início da degradação térmica se dá ao redor de 80°C a 100°C, bastante superior as temperaturas ambientes.

Os polímeros se decompõem ao longo do tempo devido às reações de oxidação (envelhecimento termo-oxidativo), que são favorecidas pela grande reatividade do oxigênio em relação aos radicais livres (da mólecula).

Os antioxidantes podem diminuir a velocidade de oxidação através dos seguintes mecanismos:

- Por agregação de radicais, formando produtos estáveis;
- Usando a ação do hidrogênio, que reage com os peróxidos impedindo a reação com os polímeros;
- Usando um estabilizador para transformar em produtos inertes.

Os principais antioxidantes são o Negro de Fumo (como se citou anteriormente), os fenóis, as amenas, as mercaptanas e os fosfitos [13].

O envelhecimento fotoquímico decorrente da radiação solar é, na maioria dos casos, o principal agente agressivo durante o envelhecimento climático. Este processo de envelhecimento também é influenciado pela temperatura, presença ou ausência de oxigênio, umidade, chuva, poluentes atmosféricos, tensões mecânicas etc.

No caso dos polímeros do tipo polietileno, polipropileno e PVC, a degradação fotoquímica pode ser atribuida à atuação conjugada de duas causas:

- Absorção da radiação Ultra Violeta, por impurezas, aditivos ou defeitos da cadeia polimérica; e,
- A facilidade desde polímero sofrer processos de oxidação em cadeia.

Os diversos aditivos utilizados com os plásticos podem atuar como fotoinibidores.

Do ponto de vista prático, os processos fotoquímicos mais importantes são os que associam a ação da radiação U.V. com as reações de oxidação.

A fotoestabilização, entretanto, pode ser alcançada por cinco métodos distintos:

- Através de uma camada superficial protetora (gel coat);
- Através de absorventes internos opacos, como TiO_2, ZnO e o Negro de Fumo;
- Através de absorventes internos transparentes, que não conferem cor ao polímero;
- Através de agentes que desativam os estados de excitação causados pela ação do U.V.; e,
- Através de ação de radicais (tipo aminas), que interrompem a propagação das cadeias de oxidação.

Um processo fotoquímico puro é pouco influenciado pela temperatura, no entanto a maioria dos outros fenômenos físicos ou químicos que participam do processo de envelhecimento são ativados pela elevação de temperaturas.

Estudos de envelhecimento fotoquímico demonstraram que o envelhecimento de muitos materiais era mais lento em altitudes elevadas que em baixa altitude. Nos lugares altos o fluxo de radiação U.V. é nitidamente superior mas a temperatura é mais baixa.

Em função de sua estrutura, os polímeros podem absorver uma quantidade maior ou menor de água e reagir com esta.

Certos microorganismos, fungos, insetos e roedores são capazes de degradar os materiais poliméricos.

A biodegradação geralmente é favorecida em ambientes úmidos, de temperatura estável e relativamente elevada, ao redor de 30°C.

Pode-se inibir a biodegradação por meio de biocidas, como os fenóis, tiocarbonatos etc.

O envelhecimento mecanoquímico é um processo induzido por uma solicitação mecânica que provoca rupturas no esqueleto macromolecular, como por exemplo:

- Congelamento;
- Fluência; e,
- Solicitações de tração extremas.

Essas situações podem ser facilmente previstas e minimizadas.

Há então para cada ação de envelhecimento uma contra-ação inibidora.

4.3 Características da Membrana de PVC para a Obra de Capanda

Para suportar com mais folga a ação dos agentes de envelhecimento foi estipulada uma espessura de 2 mm ± 0,15 mm.

Para o estabelecimento dos requisitos foram tomadas como referência os materiais utilizados na barragem de Urugua-I [14] [15], o material utilizado em Winchester e ainda dados de especificações e controle de qualidade de veda-juntas de PVC utilizados na obra de Itaipu [16] e também pelo Corps of Engineers [17] e ASTM [18]. Através dessas informações foram estabelecidos os requisitos indicados na Figura 5 para a manta e suas emendas.

PROPRIEDADE			MATERIAL DA MANTA	EMENDA
PESO ESPECÍFICO		(g/cm^3)	1,25 ± 0,05	-
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO		(kg/mm larg) - mín.	2,14	-
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO		(kgf/cm^2) - mín.	120	120
ALONGAMENTO		(%) - mín.	300	-
RESISTÊNCIA AO RASGAMENTO		(kg) - mín.	6,4	-
ESTABILIDADE DIMENSIONAL		(%) - máx.	± 5	-
PERDA DE VOLÁTEIS		(%) - máx.	0,5	-
RESISTÊNCIA HIDROSTÁTICA		(kgf/cm^2)	15 à 20	-
DUREZA		(Shore - A)	90 ± 10	-
EFEITO DOS ÁLCALIS (7 DIAS)	AUMENTO DE PESO	(%) - máx.	0,25	-
	DIMINUIÇÃO DE PESO	(%) - máx.	0,10	-
	VARIAÇÃO DE DUREZA	(Pontos)	± 5	-
EXTRAÇÃO ACELERADA	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	(kgf/cm^2) - mín.	120	-
	ALONGAMENTO	(%) - mín.	200	-

FIGURA 5 - Requisitos impostos ao material da manta e das emendas.

4.4 Ensaios e Resultados

4.4.1 Amostras

Para o desenvolvimento da manta foram enviadas 3 amostras (designação SD), em épocas distintas. A cada época a nova amostra fazia referência às modificações e ajustes do produto [19].

A partir da quarta remessa as amostras referiram-se ao controle das partidas em fornecimento (designação SC).

A título de comparação, durante os ensaios referentes à primeira amostra SD (abril/89), foram ensaiados corpos de prova de amostra de manta de PVC utilizada na barragem de Urugua-I, Argentina (SU).

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	ÉPOCA DO RECEBIMENTO	FINALIDADE
1ª REMESSA	SD	ABRIL/89	DESENVOLVIMENTO
2ª REMESSA	SD	JUNHO/89	DESENVOLVIMENTO
3ª REMESSA	SD	JULHO/89	DESENVOLVIMENTO
4ª REMESSA	SC	JULHO/89	CONTROLE FORNECIMENTO
5ª REMESSA	SC	NOVEMBRO/89	CONTROLE FORNECIMENTO
6ª REMESSA	SC	MARÇO/90	CONTROLE FORNECIMENTO

4.4.2 Massa Específica e Densidade

A massa específica foi determinada de acordo com o método ASTM-D-792 - "Standard Test Methods for Specific Gravity and Density of Plastics by Displacement".

A massa específica e a densidade, obtidas através do método acima mencionado, são assim definidos:

Massa específica - é a relação entre o peso ao ar de uma unidade de volume da porção impermeável do material, a 23°C, e o peso no ar de igual densidade do mesmo volume de água destilada livre de gás, à mesma temperatura. A forma de expressão é: massa específica 23/23°C (ou SP gr 23/23°C).

Densidade - é o peso, ao ar, da porção impermeável do material a 23°C, em g/cm^3. A forma de expressão é: $D^{23}\,^{0}C$ (g/cm^3).

A massa específica é convertida em densidade usando a seguinte equação: D^{23} C (g/cm^3) = SP gr 23/23°C x 0,9975.

A pesagem dos corpos de prova, tanto ao ar como imersos em água destilada, foi realizada em uma balança analítica elétrica com precisão de 0,1 mg. Foram ensaiados cinco (5) corpos de prova de cada amostra recebida e o coeficiente de variação dentro do ensaio foi sempre igual a zero. A Figura 6 fornece os valores obtidos

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	MASSA ESPECÍFICA	DENSIDADE (g/cm^3)
1ª REMESSA	SD	1,28	1,277
2ª REMESSA	SD	1,25	1,247
3ª REMESSA	SD	1,24	1,237
4ª REMESSA	SC	1,24	1,237
5ª REMESSA	SC	1,25	1,247
6ª REMESSA	SC	1,25	1,247
(SU)	-	1,38	1,376

FIGURA 6 - Valores de massa específica e densidade obtidos com as amostras ensaiadas.

4.4.3 Perda dos Voláteis

Este ensaio foi executado conforme os procedimentos exigidos pelo método ASTM-D-1203 - "Standard Test Methods for Loss of Plasticizer from Plastics - Activated Carbon Method". No procedimento adotado (método A), os corpos de prova são colocados em contato direto com o carvão ativado.

O ensaio consiste em colocar três (3) corpos de prova ("discos" de 5 cm de diâmetro), previamente pesados, em um recipiente cilíndrico contendo carvão ativado, o qual é armazenado em uma estufa a 70±1°C, por 24 horas. Findo este prazo, os corpos de prova são cuidadosamente limpados e pesados. A perda em peso, expressa em porcentagem, é considerada como perda dos voláteis.

Na pesagem dos corpos de prova foi utilizada uma balança analítica elétrica com precisão de 0,1 mg. O carvão ativado usado foi tipo USP, marca Nuclear.

Na Figura 7 são apresentados os valores médios obtidos com os três (3) corpos de prova ensaiados, para cada amostra recebida, bem como o coeficiente de variação correspondente. A amostra referente à 5ª Remessa não foi ensaiada.

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	PERDA DOS VOLÁTEIS (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
1ª REMESSA	SD	0,32	3,1
2ª REMESSA	SD	0,16	7,1
3ª REMESSA	SD	0,17	10,2
4ª REMESSA	SC	0,13	14,0
6ª REMESSA	SC	0,20	2,9
(SU)	-	0,37	0,0

FIGURA 7 - Valores de perda dos voláteis obtidos com as amostras ensaiadas.

4.4.4 Absorção de Água

O ensaio para determinar a absorção de água foi realizado conforme prescreve o método LCI-507 - "Método de Ensaio para a Determinação da Variação de Peso de Elastômeros, através da imersão em água"; adotado pelo Laboratório de Concreto da Itaipu e baseado no método CRD-575 do Corps of Engineers.

O ensaio consiste em manter corpos de prova, previamente secos em estufa a 70 ± 2°C por 24 horas, imersos em água destilada à 23 ± 2°C por 7 dias. No fim desse período, os corpos de prova são pesados e novamente secos em estufa nas mesmas condições anteriores. Após este período de secagem os corpos de prova são pesados e o ganho em peso, expresso em porcentagem, é considerado a quantidade de água absorvida.

A pesagem dos corpos de prova foi feita em uma balança analítica elétrica, com precisão de 0,1 mg.

A Figura 8 apresenta os resultados obtidos neste ensaio, para cada amostra recebida. Os resultados apresentados são valores médios obtidos com os três corpos de prova ensaiados, e os coeficientes de variação correspondentes. A amostra referente à 5ª Remessa não foi ensaida.

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
1ª REMESSA	SD	0,39	1,5
2ª REMESSA	SD	0,41	0,0
3ª REMESSA	SD	0,41	2,4
4ª REMESSA	SC	0,32	1,8
6ª REMESSA	SC	0,31	0,0
(SU)	-	0,50	2,0

FIGURA 8 - Valores de absorção de água obtidos com as amostras ensaiadas.

4.4.5 Efeito dos Álcalis

Tendo em vista que o material em estudo ficará em contato direto com o concreto, é interessante avaliar os efeitos dos álcalis do cimento no desempenho desse material.

O ensaio recomendado para esta finalidade, denominado "Ensaio Para Verificação do Efeito dos Álcalis em Elastômeros", e adotado pelo Laboratório de Concreto da Itaipu (método LCI-505), está baseado no item 7.2 do método CRC-C-572 do Corps of Engineers.

Neste ensaio, os corpos de prova (três para cada amostra) ficam imersos em uma solução alcalina de hidróxidos de sódio e potássio, mantida entre 21°C e 24°C, por 7 dias. A dureza e o peso dos corpos de prova são verificados antes e depois do período de imersão.

A Figura 9 apresenta a variação de peso e dureza, devido ao efeito dos álcalis, nas amostras ensaiadas. A amostra referente à 5ª Remessa não foi ensaiada.

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	VARIAÇÃO DE PESO (%)	VARIAÇÃO DE DUREZA (SHORE)
1ª REMESSA	SD	0,07	- 1
2ª REMESSA	SD	0,13	0
3ª REMESSA	SD	0,16	- 1
4ª REMESSA	SC	0,11	0
6ª REMESSA	SC	0,10	- 1
(SU)	-	0,15	0

FIGURA 9 - Variação de peso e dureza, devido ao efeito dos álcalis, nas amostras ensaiadas.

4.4.6 Extração Acelerada

Este ensaio tem a mesma finalidade do ensaio anterior (item 4.4.5), ou seja, avaliar o desempenho de materiais de PVC em contato direto com os álcalis do cimento. Neste caso, entretanto, as condições de exposição dos corpos de prova à solução de hidróxidos são mais severas, uma vez que a temperatura da solução é mantida entre 60,0°C e 65,5°C. As características avaliadas são a tensão de ruptura à tração e o alongamento. O método adotado foi o LCI-506, baseado no item 7.1 do método CRD-C-572 do Corps of Engineers.

Nesse ensaio, a solução alcalina é renovada diariamente e, no momento da renovação, os corpos de prova são pesados. O período de exposição é de, no mínimo, 14 dias. Se neste período os corpos de prova não atingirem a constância de peso, a exposição continua até que esta condição seja alcançada.

Os procedimentos para determinação da tensão de ruptura por tração e alongamento estão descritos com detalhes no item 4.4.10.

Os resultados dos ensaios de extração acelerada obtidos com as amostras enviadas são mostrados na Figura 10. Convém salientar ainda que as mantas da Sansuy atingiram constância de peso com o tempo mínimo de ensaio (14 dias), enquanto a manta de Urugua-I atingiu a constância de peso com 25 dias. A amostra referente à 5ª Remessa não foi ensaiada.

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	TENSÃO DE RUPTURA (kgf/cm²)		ALONGAMENTO (%)	
		CPs EXPOSTOS	CPs NÃO EXPOSTOS	CPs EXPOSTOS	CPs NÃO EXPOSTOS
1ª REMESSA	SD	175	212	260	260
2ª REMESSA	SD	218	256	260	290
3ª REMESSA	SD	175	182	230	250
4ª REMESSA	SC	238	259	270	300
6ª REMESSA	SC	224	241	350	390
(SU)	-	190	213	260	280

Figura 10 - Variação das características das amostras ensaiadas pelo método de extração acelerada.

4.4.7 Estabilidade Dimensional

O método adotado para realização do ensaio foi o ASTM-D-1204 - "Standard Test Method for Linear Dimensional Changes of Nonrigid Thermo Plastic Sheeting or Film at Elevated Temperature ".

O ensaio consiste em medir as variações que ocorrem nas dimensões lineares de corpos de prova expostos em condições de temperatura (100±1°C) e tempo (15 minutos) especificadas. Os corpos de prova, duas (2) "placas" de 25x25 cm, são retirados das amostras originais, sendo que um é extraído de qualquer uma das extremidades transversais e o outro do centro da amostra, como ilustra a Figura 11.

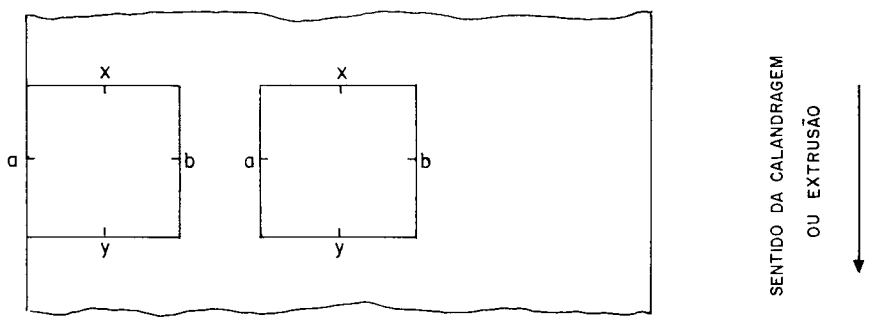


Figura 11 - Método de retirada da amostra. Os pontos a, b, x e y são os pontos de referência de medida.

As medidas foram feitas com um paquímetro de 30 cm de comprimento e precisão de 0,05 mm. Os valores obtidos são mostrados na Figura 12.

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	SENTIDO DO CP	VARIAÇÃO DA MEDIDA (%)	
			EIXO a-b	EIXO x-y
2ª REMESSA	SD	EXTREMIDADE	+ 0,9	- 3,0
		CENTRO	+ 0,6	- 2,3
3ª REMESSA	SD	EXTREMIDADE	+ 0,7	- 2,6
		CENTRO	+ 0,2	- 2,1
5ª REMESSA	SC	EXTREMIDADE	+ 0,9	- 2,6
		CENTRO	+ 0,7	- 2,8
6ª REMESSA	SC	EXTREMIDADE	+ 0,5	- 2,1
		CENTRO	+ 1,0	- 2,2

Figura 12 - Valores de variação das medidas lineares obtidas no ensaio de estabilidade dimensional.

4.4.8 Dureza

O ensaio de dureza foi executado conforme os procedimentos do método LCI-503 - "Método de Ensaio para Determinação de Dureza de Elastômeros". Este método, adotado pelo Laboratório de Concreto de Itaipu, está baseado nos métodos ASTM-D-2240 e CRD-C-569.

O durômetro usado, marca Amsler, é do tipo "A". A Figura 13 mostra o referido aparelho.

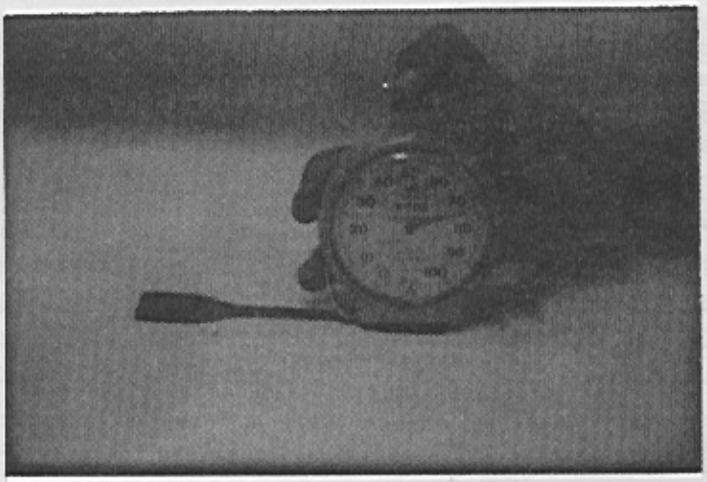


FIGURA 13 - Medida de dureza com durômetro tipo "A".

A Figura 14 mostra os valores de dureza obtidos com as amostras ensaidas, bem como os coeficientes de variação correspondentes.

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	DUREZA	
		SHORE "A"	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
1ª REMESSA	SD	90	1,3
2ª REMESSA	SD	89	0,9
3ª REMESSA	SD	90	0,8
4ª REMESSA	SC	89	0,8
5ª REMESSA	SC	91	0,8
6ª REMESSA	SC	91	1,3
(SU)	-	91	1,2

FIGURA 14 - Valores de dureza das amostras ensaidas.

4.4.9 Resistência ao Rasgamento

O método de ensaio adotado neste estudo foi o ASTM-D-1004-"Standard Test Method for Inicial Tear Resistence of Plasfic Film and Seeting". Este método cobre a determinação da resistência ao rasgamento a uma velocidade de carregamento muito baixa (50 mm/min). O ensaio é destinado para medir a força de início do rasgamento. A geometria do corpo de prova usado (ver Figura 15) produz concentração de tensão em uma pequena área do corpo de prova.

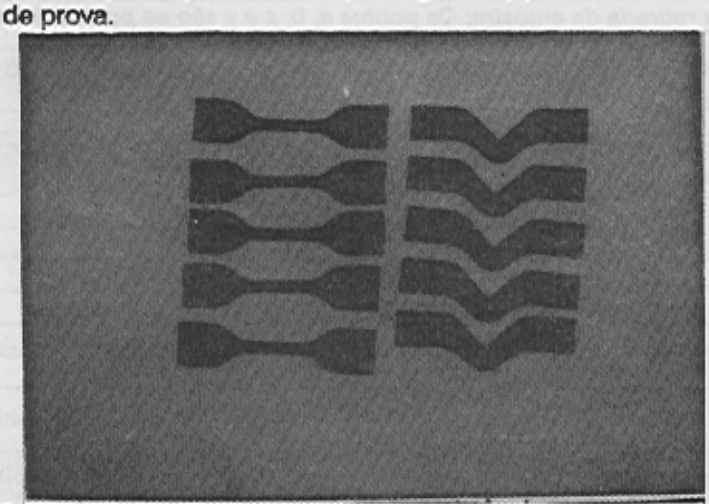


FIGURA 15 - Corpos de prova para ensaio de resistência ao rasgamento (à direita) e tensão de ruptura (à esquerda).

A ruptura dos corpos de prova foi feita em uma prensa Instron, modelo 1130. Este aparelho de ensaio incorpora um sistema de aplicação de carga eletrônico, altamente sensível, onde a célula de carga emprega medidores de deformação (strain-gages) para detectar a carga aplicada ao corpo de prova em ensaio. O corpo de prova é fixado por duas garras, uma presa à célula de carga na travessa superior e a outra presa na base do aparelho. A travessa superior se desloca através de dois parafusos verticais de avanço. Um motor síncrono aciona os parafusos de avanço por intermédio de um sistema de engrenagens que possibilita variar

a velocidade de carregamento. A carga aplicada é registrada em um gráfico. O movimento do gráfico é síncrono com a travessa superior, resultando em um registro preciso da carga x deslocamento.

A separação das garras, neste ensaio, é fixada em 25,4 mm.

As Figuras 16 a 19 ilustram o desenvolvimento de uma ruptura. Os resultados obtidos nos ensaios são apresentados na Figura 20.

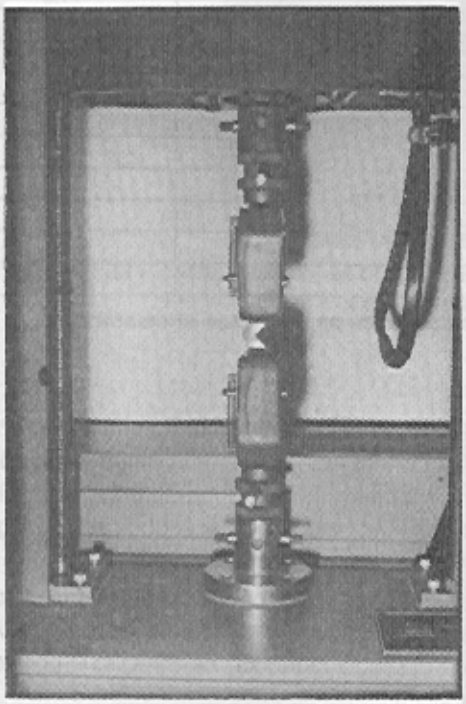


FIGURA 16 - Corpo de Prova posicionado para ensaio de resistência ao rasgamento.

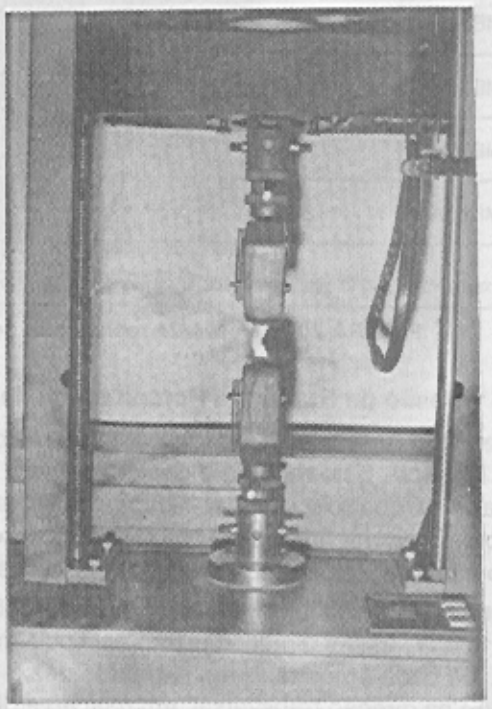


FIGURA 17 - Ensaio de resistência ao rasgamento no momento em que o corpo de prova começa a ser "rasgado".

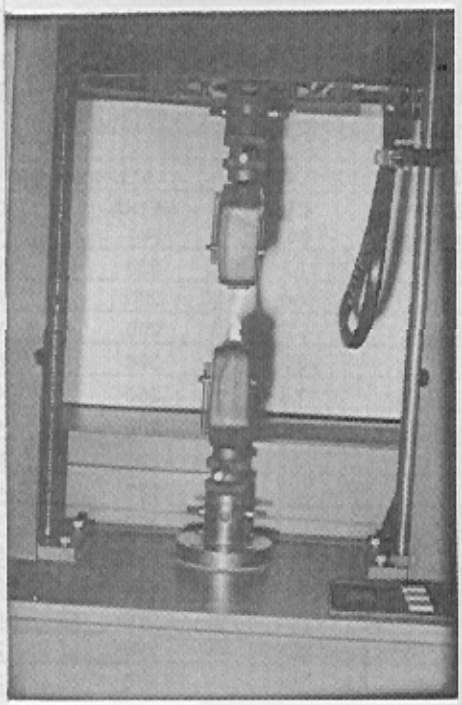


FIGURA 18 - Evolução do rasgamento do corpo de prova.

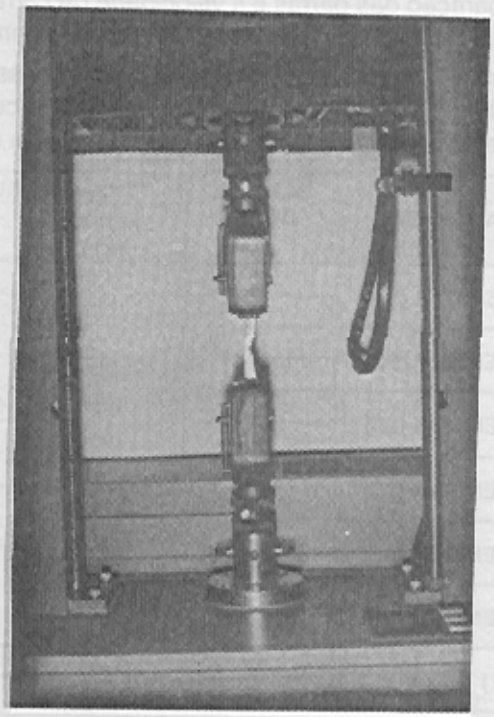


FIGURA 19 - Corpo de prova próximo do rasgamento total.

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	SENTIDO DO CP	ENSAIO DE RASGAMENTO	
			CARGA (kgf)	COEFICIENTE VARIAÇÃO (%)
1ª REMESSA	SD	LONGITUDINAL	14	7,1
		TRANSVERSAL	13	3,5
2ª REMESSA	SD	LONGITUDINAL	16	3,5
		TRANSVERSAL	15	3,6
3ª REMESSA	SD	LONGITUDINAL	12	11,0
		TRANSVERSAL	12	7,7
4ª REMESSA	SC	LONGITUDINAL	15	3,8
		TRANSVERSAL	15	3,9
5ª REMESSA	SC	LONGITUDINAL	15	6,1
		TRANSVERSAL	13	8,3
6ª REMESSA	SC	LONGITUDINAL	21	2,6
		TRANSVERSAL	21	9,5
(SU)	-	LONGITUDINAL	14	3,8
		TRANSVERSAL	12	4,4

FIGURA 20 - Valores de resistência ao rasgamento obtidos com as amostras ensaiadas.

4.4.10 Tensão de Ruptura e Porcentagem de Alongamento

Na execução desses ensaios foi seguido o método ASTM-D-638 - "Standard Test Method For Tensile Properties of Plastics". Este método é designado para produzir dados das propriedades elásticas e de resistência à ruptura para controle e especificação de materiais plásticos. Essas propriedades podem variar muito em função da preparação dos corpos de prova, velocidade de carregamento e condições ambientes nas quais o ensaio é realizado. Consequentemente, esses fatores devem ser cuidadosamente controlados.

Os corpos de prova para ensaio (ver Figura 15) obedecerão as dimensões especificadas para o corpo de prova tipo IV. Essas dimensões são essencialmente as mesmas exigidas para o cunho C do método ASTM-D-412. De cada amostra foram extraídos dez (10) corpos de prova, sendo cinco (5) na direção longitudinal e cinco (5) na direção transversal, em relação a direção da laminação.

O ensaio foi realizado na prensa Instron mencionada no item 4.4.9. Para medir a deformação (alongamento) do corpo de prova foi usado um extensômetro que é conectado à prensa. Este extensômetro consiste de duas seções de peso mínimo que são presas ao corpo de prova. Uma fita de circuito impresso instalada entre as duas seções vai "fechando" os circuitos à medida que as seções são separadas, quando o corpo de prova é alongado durante o ensaio. Cada vez que um circuito é "fechado", um ponto é anotado no gráfico. Cada ponto corresponde a um determinado alongamento do corpo de prova.

A separação das garras e a velocidade de carregamento designadas para o tipo de corpo de prova ensaiado, e utilizadas neste estudo, foi de, respectivamente, 64 mm e 500 mm/min.

A Figura 21 mostra os resultados obtidos nesses ensaios, enquanto que as Figuras 22 à Figura 24 mostram detalhes da execução dos mesmos. O cálculo de tensão de ruptura (kgf/cm^2) da amostra da Sansuy, referente à 4ª Remessa, foi feito em função da espessura nominal da amostra, ou seja, 2,0 mm.

AMOSTRA	SENTIDO DO CP	TENSÃO DE RUPTURA		TENSÃO DE RUPTURA		ALONGAMENTO	
		MÉDIA (kgf/cm^2)	CV (%)	MÉDIA (kgf/mmLarg.)	CV (%)	MÉDIA (%)	CV (%)
1ª REMESSA (SD)	L	213	1,6	4,39	1,7	260	5,0
	T	192	1,9	3,99	1,6	290	3,1
2ª REMESSA (SD)	L	270	6,8	5,96	6,8	290	1,5
	T	243	2,2	5,37	2,3	320	6,8
3ª REMESSA (SD)	L	183	1,4	3,87	1,6	250	4,0
	T	168	0,3	3,54	0,2	260	4,2
4ª REMESSA (SC)	L	259	0,4	5,17	0,6	290	5,2
	T	240	2,4	4,80	2,2	320	4,1
5ª REMESSA (SC)	L	181	1,5	4,34	1,7	310	1,8
	T	166	1,5	4,00	1,5	320	5,1
6ª REMESSA (SC)	L	242	1,4	5,82	1,4	380	3,5
	T	217	4,5	5,25	4,6	370	6,0
(SU)	L	216	1,9	4,32	1,6	280	2,0
	T	174	2,2	3,50	2,2	270	2,0

L= Longitudinal T= Transversal

FIGURA 21 - Resultados dos ensaios de tensão de ruptura e alongamento das amostras estudadas.

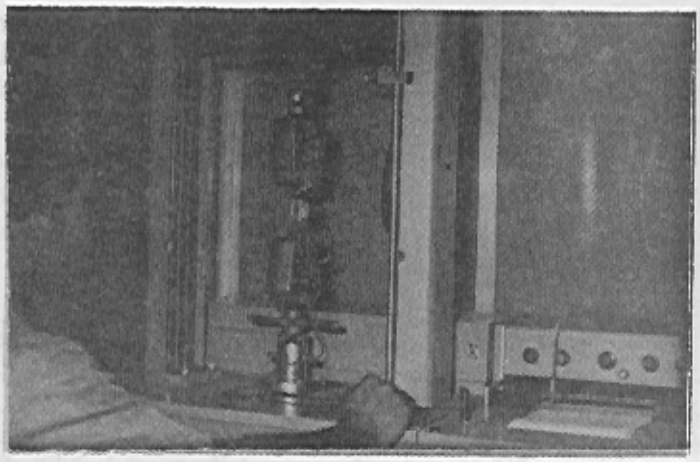


FIGURA 22 - Determinação da tensão de tração e do alongamento (início do ensaio). Observa-se o extensômetro fixado no corpo de prova.

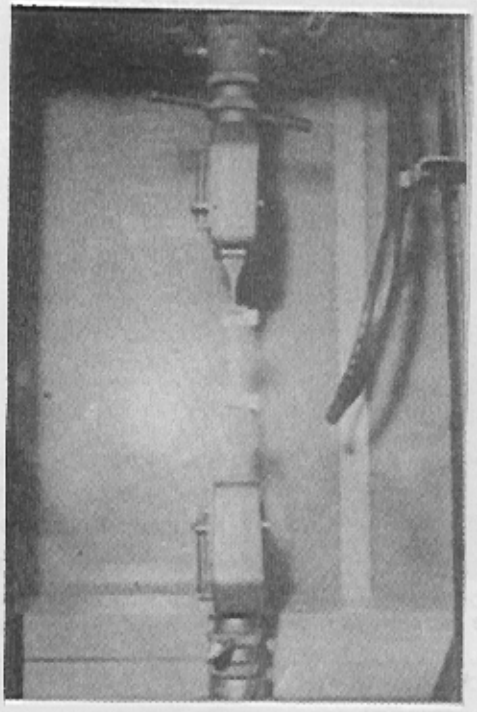


FIGURA 23 - Determinação da tensão de tração e do alongamento (ensaio em andamento). Observa-se a separação das duas seções do extensômetro e a fita de circuito impresso.

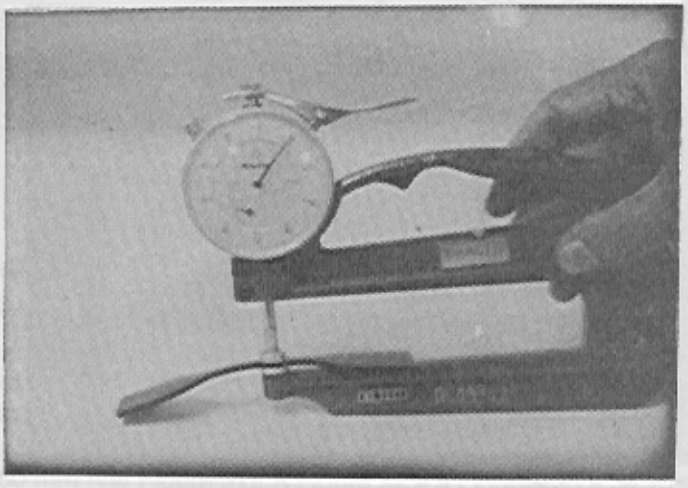


FIGURA 24 - Medida da espessura para o cálculo da área do corpo de prova.

4.4.11 Resistência Hidrostática.

A determinação da resistência hidrostática das amostras enviadas foi feita de acordo com o método "A" - "Pressure Application By Mullem type Hydrostatic Tester" do ASTM-D-751. A pressão hidráulica foi aplicada através do aparelho para ensaio de permeabilidade de concreto. A câmara de pressão foi confeccionada em bronze e aço e com as dimensões e características exigídas pelo método.

O procedimento adotado para aplicação da carga hidrostática foi o seguinte: aplicação de uma carga inicial de 10 kg/cm^2 e, em seguida, incrementos de carga à razão de 1 kg/cm^2 a cada 15 minutos.

A Figura 25 mostra os valores de resistência hidrostática obtidos com as amostras ensaidas. As Figuras 26 a 29 mostram alguns detalhes desse ensaio, bem como os equipamentos utilizados.

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	CARGA HIDROSTÁTICA (kgf/cm^2)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
1ª REMESSA	SD	14	0,0
2ª REMESSA	SD	16	3,7
3ª REMESSA	SD	15	2,8
4ª REMESSA	SC	18	3,3
5ª REMESSA	SC	16	3,7
6ª REMESSA	SC	16	0,0
(SU)	-	14	4,0

Figura 25 - Resultados do ensaio de resistência hidrostática das amostras estudadas.

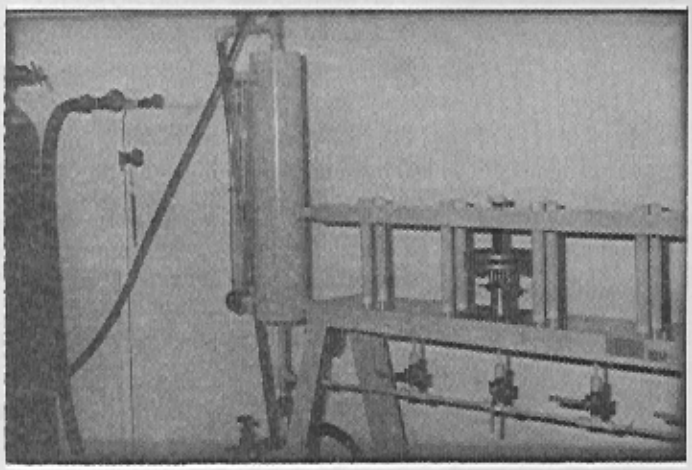


Figura 26 - Equipamentos para ensaio de resistência hidrostática.

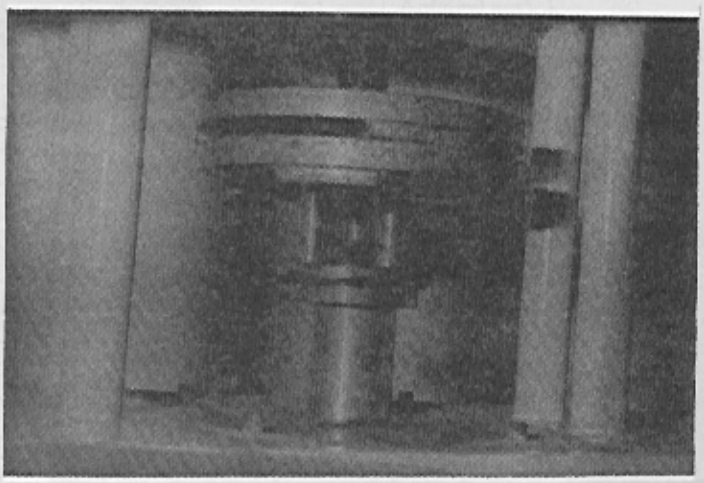


Figura 27 - Detalhes da câmara de pressão e do corpo de prova em ensaio. Observa-se a formação de uma "bolha" antes da ruptura do corpo de prova.

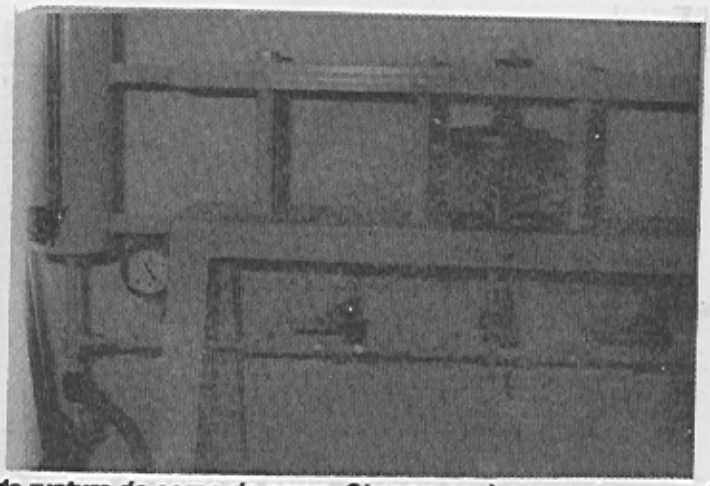


FIGURA 28 - Momento da ruptura do corpo de prova. Observa-se, à esquerda, o manômetro para leitura da carga aplicada.

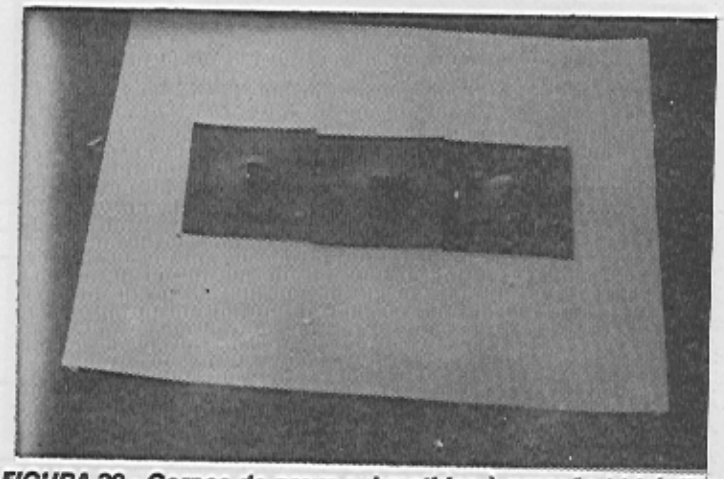


FIGURA 29 - Corpos de prova submetidos à pressão hidráulica.

De maneira alternativa, a amostra "SD" referente à 1ª Remessa foi submetida a um carregamento de tal sorte a avaliar as deformações sob carga constante. Foi adotado como limite a pressão hidrostática correspondente à altura da barragem (H = 110 m) p = 11 kgf/cm^2.

Dessa forma aplicou-se uma determinada pressão e, mantida essa pressão, mediu-se o tempo decorrido entre a aplicação da carga total e a ruptura do corpo de prova. Os resultados obtidos são mostrados na Figura 30.

ENSAIO	PRESSÃO APLICADA (kgf / cm^2)	TEMPO (MINUTOS) DECORRIDO ENTRE A APLICAÇÃO DA CARGA E A RUPTURA DO CORPO DE PROVA
1	15	2
2	14	9
3	13	43
4	12	108
5	11	NÃO ROMPEU

FIGURA 30 - Resultados dos ensaios à pressão constante.

4.4.12 Emendas

4.4.12.1 Emendas por aquecimento

Como se trata de materiais termoplásticos, as mantas de PVC são emendadas, usualmente, por simples aquecimento.

Para verificar a performance de emendas por aquecimento, das amostras estudadas, foram realizados ensaios de resistência à tração e alongamento à ruptura sobre dois tipos de emendas: "cobre-junta" e "sobreposição". Para cada tipo de emenda foram ensaiadas cinco "comprimento de emenda", ou seja, 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm e 50 mm (ver Figura 31). A Figura 32 e a Figuras 33 e 34 ilustram os tipos de emendas ensaiadas.

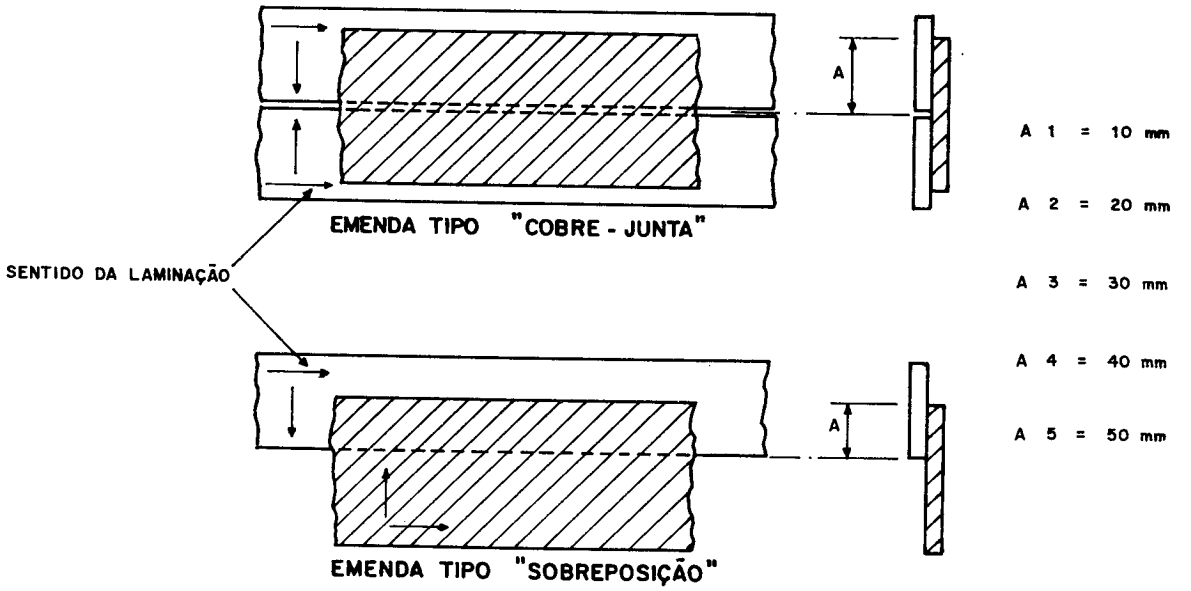


FIGURA 31 - Ilustração das emendas

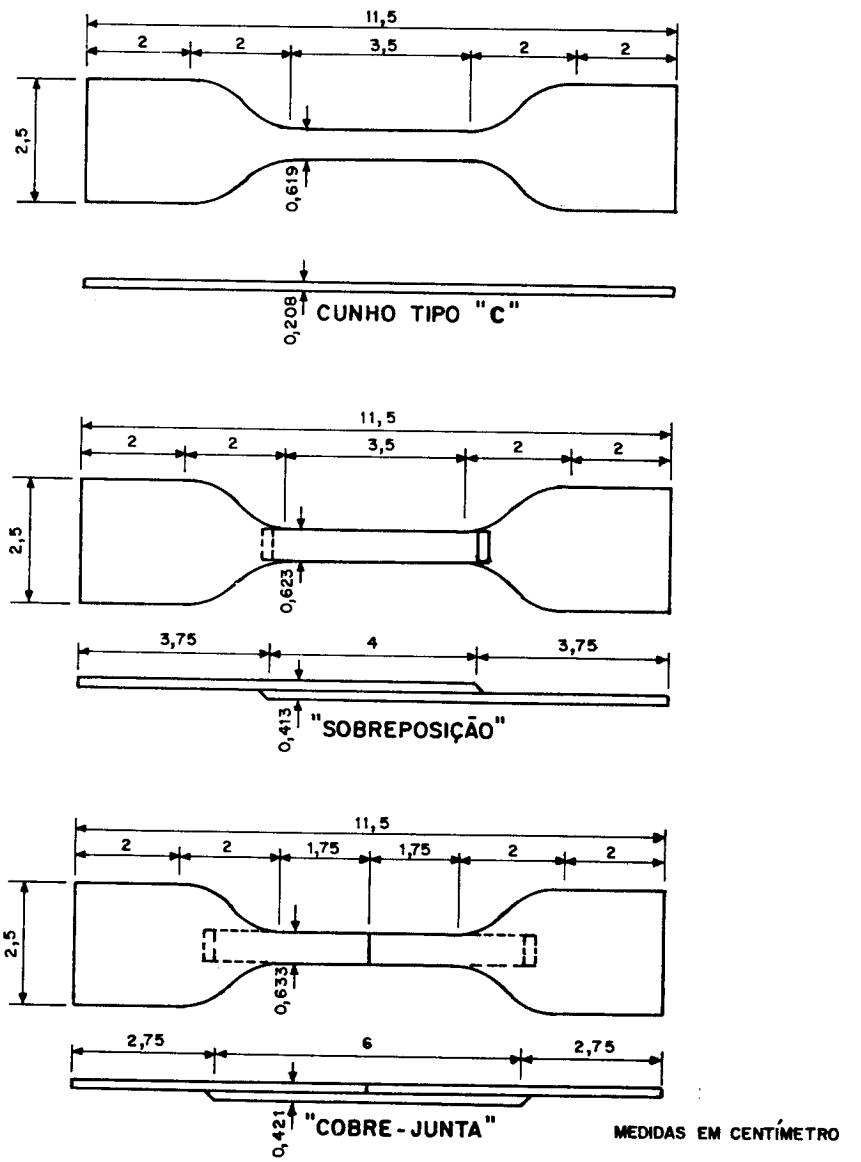


FIGURA 32 - Dimensões dos corpos de prova de emendas.

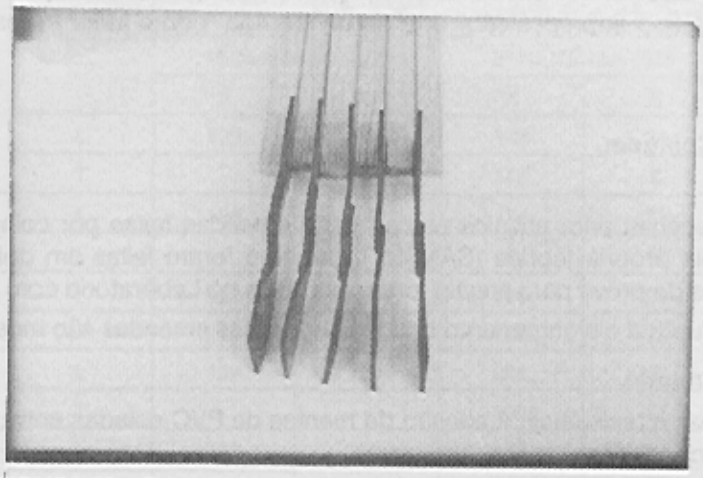


FIGURA 33 - Corpos de prova de emenda tipo "sobreposição".

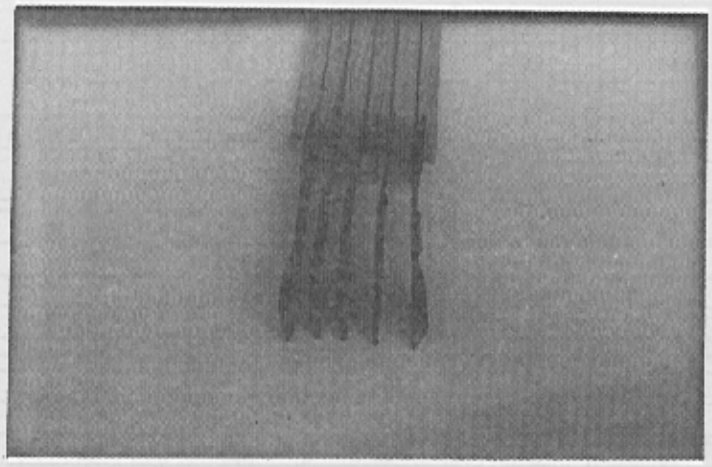


FIGURA 34 - Corpos de prova de emenda tipo "cobre-junta".

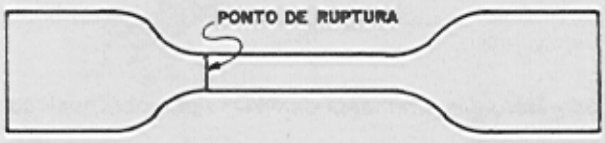
As emendas foram efetuadas no canteiro de obras da Hidrelétrica de Urugua-I utilizando um aquecedor elétrico Bosch e pessoal treinado neste tipo de emenda.

O procedimento para ensaio das amostras de emendas foi o mesmo já descrito do item 4.4.10. para cálculo da tensão de ruptura à tração foi adotada a espessura nominal do corpo de prova.

Com relação ao comportamento das emendas, quanto a ruptura dos corpos de prova, observou-se o seguinte:

- Emendas tipo "cobre-junta": a ruptura ocorreu, de modo geral, na emenda. Em algumas emendas de 10 mm e 20 mm ocorreu " deslocamento" da emenda;
- Emendas tipo "sobreposição" de 10 mm: sempre ocorreu "deslocamento" da emenda;
- Emendas tipo "sobreposição" de 20 mm e 30 mm: a ruptura sempre ocorreu fora da emenda; e,
- Emendas tipo "sobreposição" de 40 mm e 50 mm: a ruptura sempre ocorreu na emenda.

Quando ocorreu a ruptura, tanto na emenda quanto fora dela, os corpos de prova romperam, de modo geral, próximo à "garra" (ver desenho abaixo).



É importante lembrar que a seção estreita do corpo de prova ensaiado tem cerca de 35 mm, de comprimento. As figuras 35 (emenda tipo sobreposição) e 36 (emenda tipo "cobre-junta") mostram os resultados obtidos.

4.4.12.2 Emendas por Colagem

O Laboratório também recebeu para ensaios amostras de emendas feitas por colagem (Figura 37). Essas emendas, executadas pela própria fábrica (SANSUY), também foram feitas em dois tipos: "cobre-junta" e "sobreposição". Os corpos de prova para ensaio foram extraídos no Laboratório com o cunho C (Figura 38).

Os valores de tensão de ruptura e alongamento obtidos com essas emendas são mostradas na Figura 39.

4.13 Ensaio de Descolamento

Este ensaio visa determinar a resistência à adesão de mantas de PVC coladas entre si ou de manta de PVC colada à superfície metálica.

Essas colagens também foram feitas pelo fabricante e as amostras correspondentes então enviadas ao Laboratório de Itaipu para ensaios.

ENSAIO	COMPRIMENTO "A" (mm)	SENTIDO DO CP	RESULTADOS DOS ENSAIOS					
			1ª REMESSA (SD)		2ª REMESSA (SD)		(SU)	
			$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S
TENSÃO DE RUPTURA (kgf/cm^2)	10	L	129	21	185	8	-	-
		T	-	-	165	7	-	-
	20	L	155	7	183	10	-	-
		T	-	-	160	10	-	-
	30	L	157	3	199	22	-	-
		T	-	-	171	17	-	-
	40	L	200	28	221	20	-	-
		T	-	-	181	16	-	-
	50	L	290	19	397	12	241	36
		T	-	-	332	58	-	-
TENSÃO DE RUPTURA (kgf/mmlarg)	10	L	2,69	0,43	4,10	0,20	-	-
		T	-	-	3,57	0,11	-	-
	20	L	3,23	0,13	4,03	0,21	-	-
		T	-	-	3,54	0,21	-	-
	30	L	3,27	0,07	4,41	0,48	-	-
		T	-	-	3,77	0,38	-	-
	40	L	4,16	0,59	4,88	0,46	-	-
		T	-	-	4,00	0,34	-	-
	50	L	6,04	0,39	8,78	0,27	4,84	0,72
		T	-	-	7,34	1,28	-	-
ALONGAMENTO (%)	10	L	140	36	130	11	-	-
		T	-	-	150	15	-	-
	20	L	110	16	80	16	-	-
		T	-	-	120	34	-	-
	30	L	70	4	90	6	-	-
		T	-	-	70	11	-	-
	40	L	90	18	90	19	-	-
		T	-	-	90	23	-	-
	50	L	200	30	210	9	170	53
		T	-	-	220	54	-	-

L = longitudinal T = Transversal

FIGURA 35 - Emendas em manta de PVC - tipo sobreposição.

ENSAIO	COMPRIMENTO "A" (mm)	SENTIDO DO CP	RESULTADOS DOS ENSAIOS					
			1ª REMESSA (SD)		2ª REMESSA (SD)		(SU)	
			$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S
TENSÃO DE RUPTURA (kgf/cm^2)	10	L	123	6	146	24	-	-
		T	-	-	145	8	-	-
	20	L	126	7	174	21	-	-
		T	-	-	164	12	-	-
	30	L	132	6	180	23	-	-
		T	-	-	158	11	-	-
	40	L	139	11	201	8	-	-
		T	-	-	180	17	-	-
	50	L	138	14	186	22	129	7
		T	-	-	173	13	-	-
TENSÃO DE RUPTURA (kgf/mmlarg)	10	L	2,56	0,12	3,23	0,53	-	-
		T	-	-	3,20	0,19	-	-
	20	L	2,61	0,14	3,84	0,46	-	-
		T	-	-	3,63	0,26	-	-
	30	L	2,75	0,13	3,96	0,50	-	-
		T	-	-	3,49	0,25	-	-
	40	L	2,90	0,23	4,45	0,17	-	-
		T	-	-	3,97	0,38	-	-
	50	L	2,87	0,29	4,11	0,48	2,60	0,14
		T	-	-	3,83	0,28	-	-
ALON-GAMENTO (%)	10	L	110	17	100	18	-	-
		T	-	-	110	24	-	-
	20	L	110	48	110	57	-	-
		T	-	-	130	53	-	-
	30	L	140	19	90	23	-	-
		T	-	-	110	41	-	-
	40	L	190	35	190	36	-	-
		T	-	-	190	80	-	-
	50	L	200	90	110	47	120	53
		T	-	-	130	41	-	-

L = Longitudinal T = Transversal

FIGURA 36 - Emendas em manta de PVC - tipo cobre-junta.

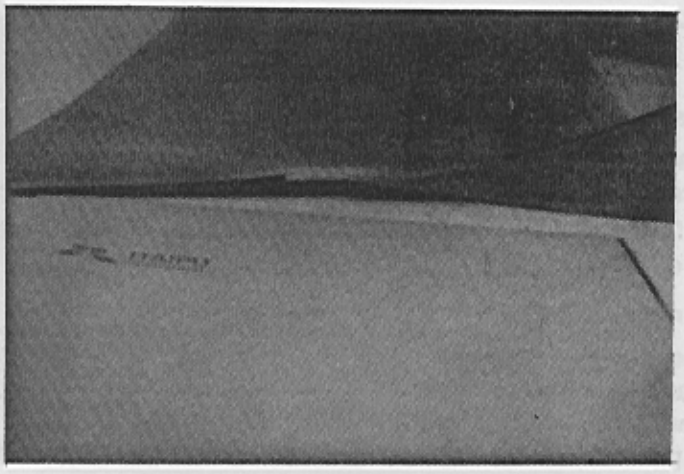


FIGURA 37 - Emenda tipo "sobreposição" feita através de colagem.

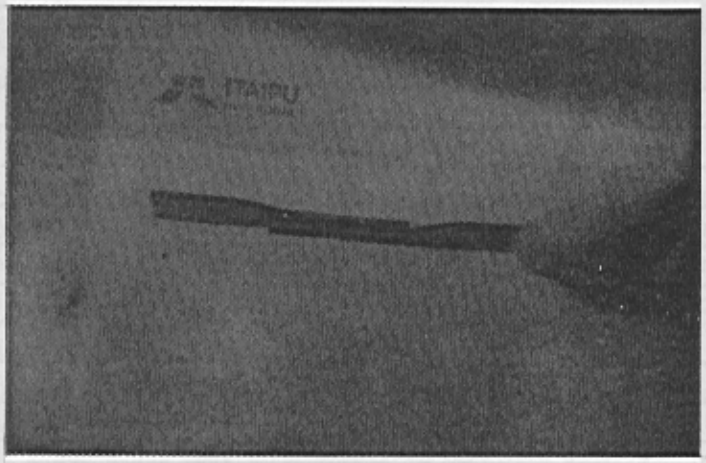


FIGURA 38 - Corpo de prova para ensaio de emenda tipo "sobreposição" feita por colagem.

ENSAIO	COMPRIMENTO (mm)	CP	TENSÃO DE RUPTURA (kgf/cm²)		CV (%)	TENSÃO DE RUPTURA (kgf/mmLarg.)		CV (%)	ALONGAMENTO (%)		CV (%)
			INDIVIDUAL	MÉDIA		INDIVIDUAL	MÉDIA		INDIVIDUAL	MÉDIA	
COBREJUNTA	105	a	154	155	3,5	3,25	3,25	3,4	90	90	0,0
		b	154			3,24			90		
		c	162			3,41			90		
		d	156			3,27			90		
		e	147			3,10			90		
SOBREPOSIÇÃO	37	a	176	166	3,7	3,68	3,50	3,4	60	60	17,8
		b	167			3,52			60		
		c	167			3,52			70		
		d	162			3,40			50		
		e	160			3,38			80		
	42	a	177	182	3,3	3,73	3,85	3,5	70	90	21,1
		b	176			3,70			70		
		c	182			3,84			80		
		d	189			3,99			110		
		e	188			3,97			100		
	44	a	197	170	19,4	4,15	3,57	19,3	130	90	39,3
		b	185			3,87			90		
		c	140			2,94			60		
		d	198			4,16			120		
		e	129			2,72			50		
	55	a	181	171	9,9	4,00	3,78	9,8	70	80	10,7
		b	152			3,37			70		
		c	180			3,99			80		
		d	188			4,15			90		
		e	153			3,39			80		

FIGURA 39 - Valores de tensão de ruptura e alongamento obtidos com corpos de prova de emendas por colagem.

4.4.13 Ensaio de Descolamento

Este ensaio visa determinar a resistência à adesão de mantas de PVC coladas entre si ou de manta de PVC colada à superfície metálica.

Essas colagens também foram feitas pelo fabricante e as amostras correspondentes então enviadas ao Laboratório de Itaipu para ensaios.

4.4.13.1 Colagem de mantas de PVC

Com relação à colagem de mantas de PVC entre si (Figura 40), duas amostras foram enviadas para ensaio: uma com a região de colagem medindo 40 mm de comprimento e a outra medindo 50 mm. Os corpos de prova (Figura 41) dessas amostras foram extraídos e preparados no Laboratório de Itaipu e o ensaio foi executado de acordo com os procedimentos do "Machine Metod" da norma ASTM-D-413. Neste método, a força requerida para causar o deslocamento das superfícies coladas é aplicada por meio de uma máquina de

tração. O corpo de prova ensaiado, tipo "A" da referida norma, permite um ângulo de separação de 180°, conforme mostra a Figura 42. A máquina de ensaio utilizada foi a prensa Instron já mencionada.

A Figura 43 apresenta os resultados obtidos neste ensaio, os quais são fornecidos tanto em termos de força (carga) necessária para deslocamento, quanto de tensão (carga/mm de largura).

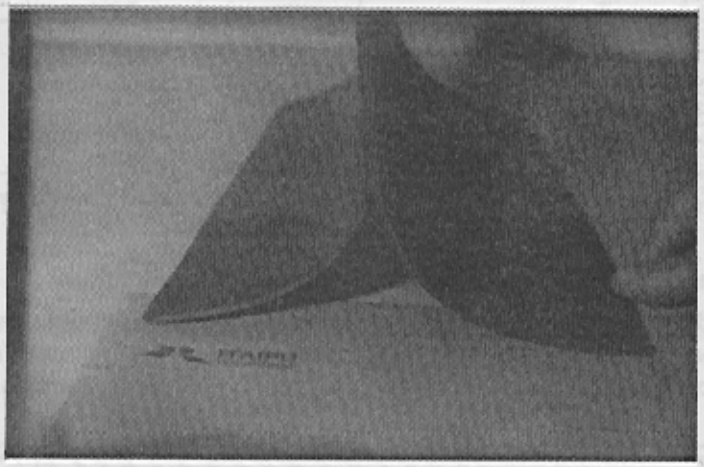


FIGURA 40 - Amostra de uma colagem, para ensaio de deslocamento, de mantas de PVC.

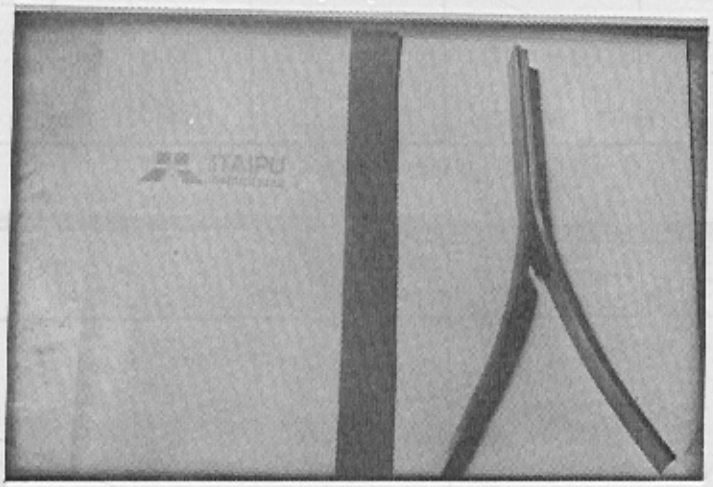


FIGURA 41 - Corpo de prova para ensaio de resistência à adesão (deslocamento).

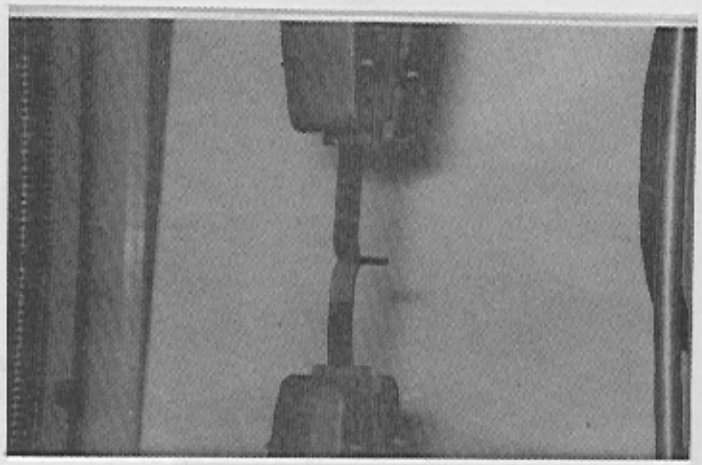


FIGURA 42 - Ensaio de resistência à adesão (deslocamento) através de uma máquina de tração.

COMPRIMENTO DA COLAGEM (mm)	CP	CARGA (kgf) INDIVIDUAL	CARGA (kgf) MÉDIA	CV (%)	TENSÃO (kgf/mmLarg.) INDIVIDUAL	TENSÃO (kgf/mmLarg.) MÉDIA	CV (%)
50	a	4	4	15,2	0,25	0,24	15,0
	b	4			0,27		
	c	4			0,27		
	d	3			0,20		
	e	3			0,20		
40	a	3	3	21,1	0,20	0,17	20,6
	b	3			0,20		
	c	3			0,20		
	d	2			0,14		
	e	2			0,13		

FIGURA 43 - Resultados do ensaio de resistência à adesão (deslocamento) obtidos com as amostras enviadas.

4.4.13.2 Colagem de manta de PVC em superfície metálica

Com relação à colagem de manta de PVC em superfície metálicas, os corpos de prova (Figuras 44 e 45) já vieram para o Laboratório de Itaipu previamente preparados. Neste caso, foram efetuadas dois tipos de colagem: manta de PVC-perfil metálico e perfil metálico-manta de PVC-perfil metálico.

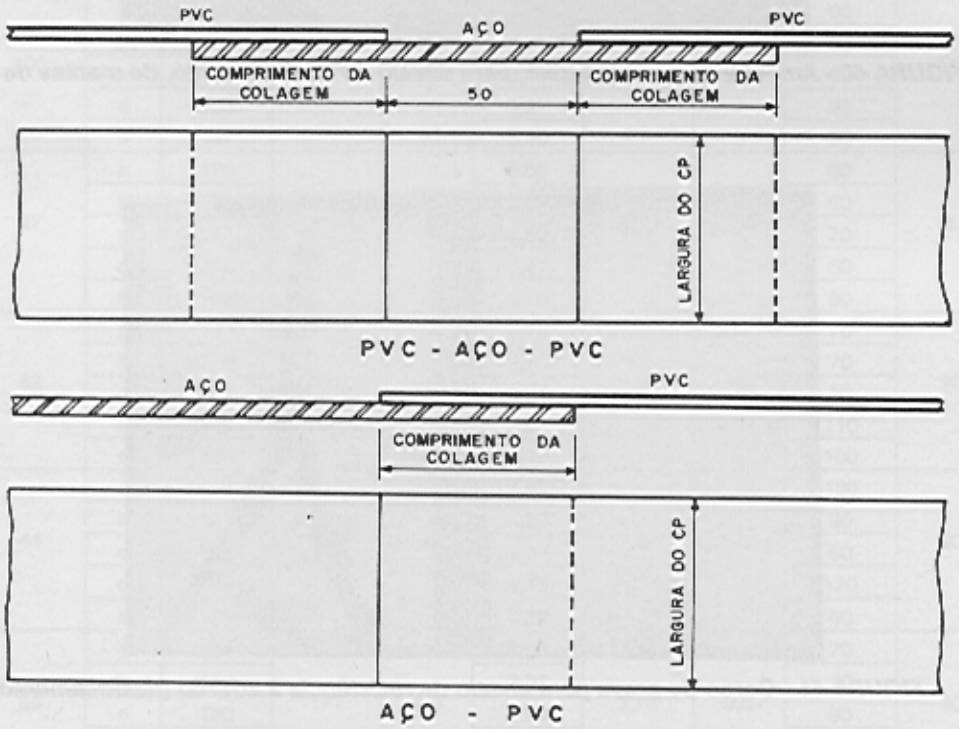


FIGURA 44 - Dimensões dos corpos de prova.

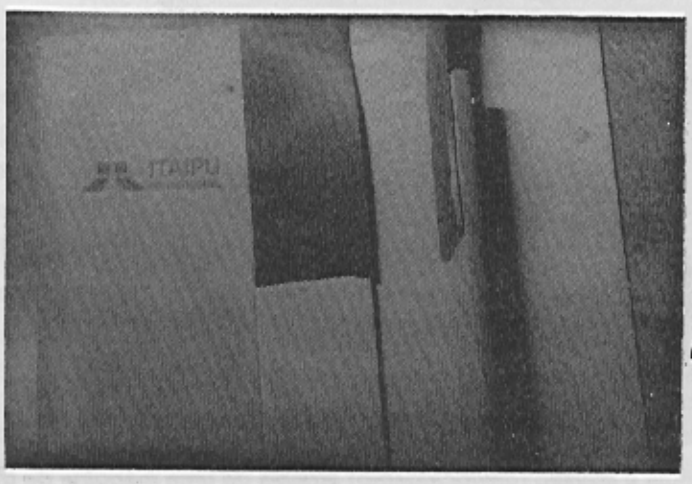


FIGURA 45 - Amostra de manta de PVC colada à superfície metálica.

O ensaio para determinar a resistência à adesão de manta de PVC colada em superfície metálica foi executado da mesma maneira que o ensaio de resistência à tração de emendas excetuando, evidentemente, o formato do corpo de prova. Os resultados obtidos, bem como o número de corpos de prova recebidos e ensaiados, são fornecidos na Figura 46.

TIPO DE COLAGEM	COMPRIMENTO DA COLAGEM (mm)	LARGURA DO CP (mm)	CP	CARGA (kgf)		CV (%)	TENSÃO DE RUPTURA (kgf/mmLarg.)		CV (%)
				INDIVIDUAL	MÉDIA		INDIVIDUAL	MÉDIA	
PVC-AÇO	50	38,0	1	40	-	-	0,80	-	-
	80	38,0	1	56	-	-	0,70	-	-
	50	25,4	1	41	41	11,1	1,61	1,63	11,0
			2	47			1,85		
			3	45			1,77		
			4	38			1,50		
			5	36			1,42		
AÇO-PVC-AÇO	50	38,0	1	42	-	-	0,84	-	-

FIGURA 46 - Resultados do ensaio de resistência à adesão obtidos com os corpos de prova enviados.

4.4.13.3 Perfil de PVC

Perfis laminados de PVC, com as medidas mostradas no croquis, foram colados à manta de PVC para simular a ancoragem da manta a ser usada, como mostram as Figuras 47 e 48. Deste tipo de colagem foram extraídos corpos de prova, para ensaio de adesão.

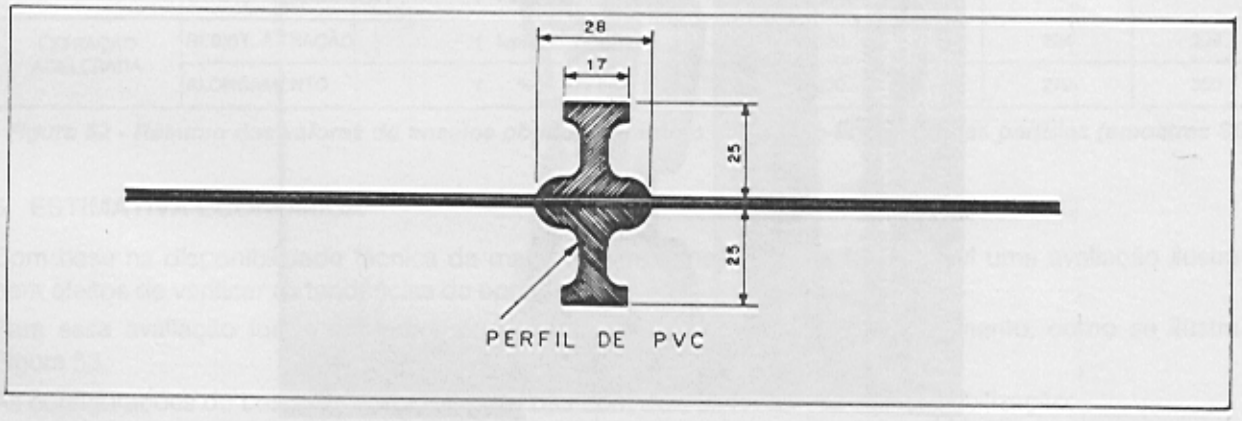


FIGURA 47 - Esquema de fixação de ancoragem à manta de PVC.

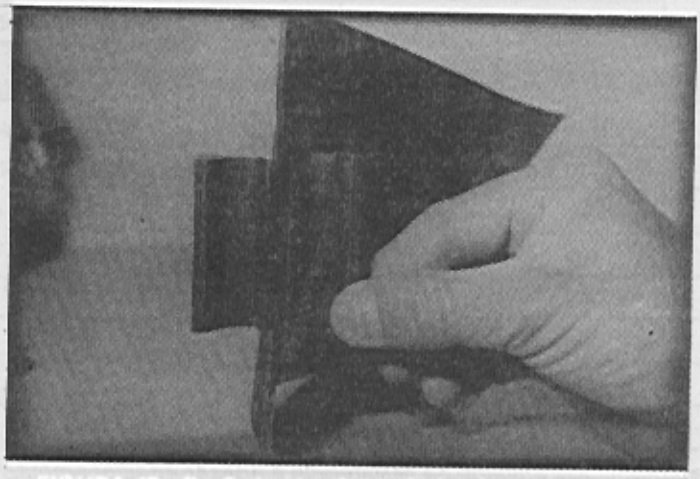


FIGURA 48 - Perfis laminados colados à manta de PVC.

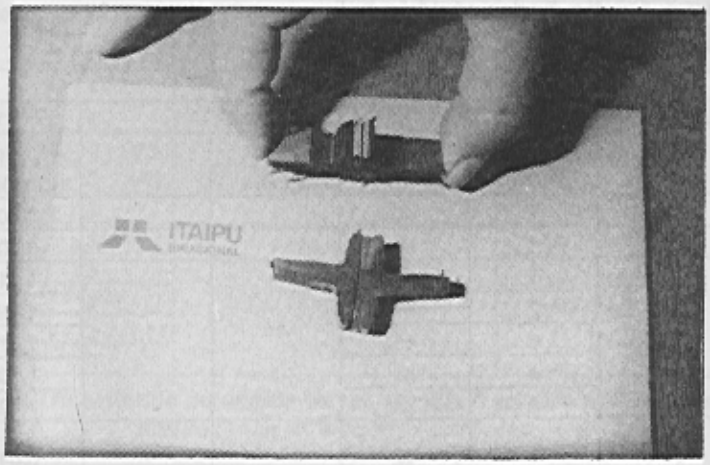


FIGURA 49 - Corpos de prova extraídos da amostra de perfis colados à manta de PVC.

O ensaio, neste caso, consistiu em submeter os corpos de prova, presos às "garras" da prensa através das "abas" de cada um dos perfis, à uma força de tração suficiente para provocar o deslocamento ou a ruptura. A Figura 50 mostra o corpo de prova posicionado para ensaio. Os resultados obtidos são mostrados na Figura 51.

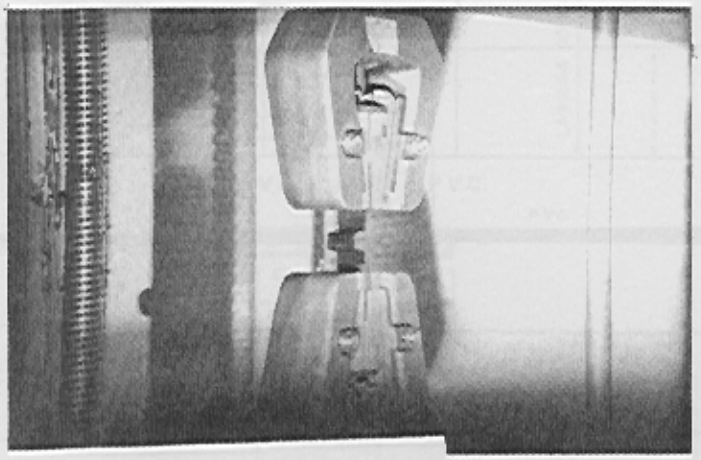


FIGURA 50 - Corpos de prova posicionado para ensaio de resistência à adesão de perfis laminados colados à manta de PVC.

COMPRIMENTO (mm)	CP	CARGA (kgf)		CV (%)	TENSÃO (kgf/mmLarg.)		CV (%)
		INDIVIDUAL	MÉDIA		INDIVIDUAL	MÉDIA	
± 20	1	114	102	10,6	6,00	5,47	11,1
	2	110			6,11		
	3	94			5,22		
	4	102			5,37		
	5	88			4,63		
± 10	1	58	50	22,6	4,46	4,56	3,2
	2	42			4,67		
	3	-			-		

FIGURA 51 - Resultados dos ensaios de resistência à adesão (deslocamento) obtidos com as amostras de perfis enviadas.

4.5 Considerações

A Figura 52 mostra os limites exigidos, para as propriedades ensaiadas, e comparativamente são mostrados, ainda, os valores máximos e mínimos obtidos nos ensaios sobre as amostras "SC" (de controle). Comparando os valores obtidos e os especificados, verifica-se que as mantas referentes às remessas enviadas sempre atendem os requisitos exigidos.

PROPRIEDADE			ESPECIFICAÇÃO PARA MANTA DE PVC DE 2,0 ± 0,15 mm DE ESPESSURA	RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE CONTROLE AMOSTRA "SC"	
				mín	máx
PESO ESPECÍFICO		(g/cm^3)	1,25 ± 0,05	1,24	1,25
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO		(kg/mmLarg.) - mín.	2,14	4,00	5,82
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO		(kgf/cm2) - mín.	120	166	259
ALONGAMENTO		(%) - mín.	300	290	380
RESISTÊNCIA AO RASGAMENTO		(kg) - mín.	6,4	13	21
ESTABILIDADE DIMENSIONAL		(%) - máx.	± 5	2,8	1,0
PERDA DE VOLÁTEIS		(%) - máx.	0,5	0,13	0,20
RESISTÊNCIA HIDROSTÁTICA		(kgf/cm2)	15 À 20	16	18
DUREZA		(Shore A)	90 ± 10	89	91
EFEITO DOS ÁLCALIS (7 DIAS)	AUMENTO DE PESO	(%) - máx.	0,25	0,10	0,11
	DIMINUIÇÃO DE PESO	(%) - máx.	0,10	-	-
	VARIAÇÃO DE DUREZA	(Pontos)	± 5	-1	-
EXTRAÇÃO ACELERADA	RESIST. À TRAÇÃO	(kgf/cm^2) - mín.	120	224	238
	ALONGAMENTO	(%) - mín.	200	270	350

Figura 52 - Resumo dos valores de ensaios obtidos durante o controle e liberação das partidas (amostras SC).

5. ESTIMATIVA ECONOMICA

Com base na disponibilidade técnica da manta de impermeabilização faz-se aqui uma avaliação ilustrativa para efeitos de verificar as tendências de opções.

Para essa avaliação foram adotadas algumas configurações básicas do barramento, como se ilustra na Figura 53.

As configurações do barramento foram admitidas com dois sistemas de impermeabilização:

A - Membrana de concreto de baixa permeabilidade, à montante (K ≅ 10^{-13} m/s).

B - Membrana de PVC, entre placas de pré-moldado e um concreto de proteção, em espessura constante.

A membrana de concreto de baixa permeabilidade teve sua espessura calculada com base na expressão:

$e = \sqrt{2.p.K.t/a}$, onde

e = espessura da membrana de concreto

p = pressão da coluna de água

K = permeabilidade do concreto

t = vida útil (admitida 100 anos)

a = absorção do concreto.

Para efeito de avaliação foram adotados os seguintes parâmetros de custo:

* Manta de PVC de 2 mm de espessura ≅ 15,0 US$/m^2
* Concreto de baixa permeabilidade, inclusive fôrma do paramento - concreto de face ≅ 130,0 US$/m^3
* Concreto pré-moldado das placas ≅ 150,0 US$/m^3
* Concreto de proteção da membrana ≅ 120,0 US$/m^3

Com esses parâmetros pode-se chegar aos valores aproximados da Figura 54.

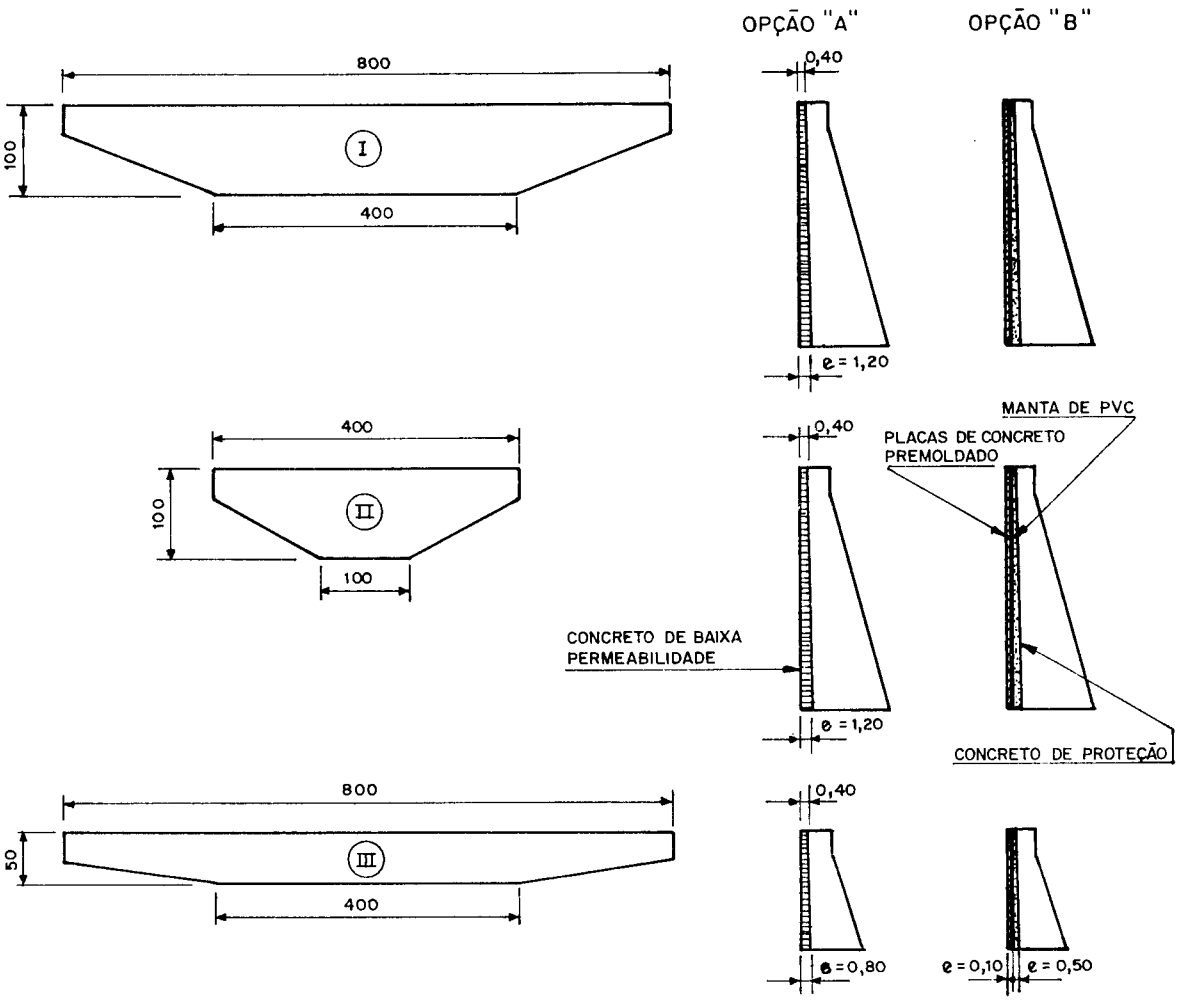


FIGURA 53 - Simulação dos barramentos

BARRAMENTO	ÁREA FRONTAL (m^2)	VOLUMES DE CONCRETO (m^3)			CUSTOS US$	
		CONCRETO DE FACE	CONCRETO PRÉ-MOLDADO	CONCRETO DE PROTEÇÃO	OPÇÃO "A"	OPÇÃO "B"
I -ALTURA 100m VALE ABERTO	60.000	48.000	6.000	30.000	48.000x130 = 6.240.000	60.000x15 + 6.000x150 + 30.000x120 = 5.400.000
II -ALTURA 100m VALE FECHADO	25.000	20.000	2.500	12.500	20.000x130 = 2.600.000	25.000x15 + 2.500x150 + 12.500x120 = 2.250.000
III - ALTURA 50m VALE ABERTO	30.000	18.000	3.000	15.000	18.000x130 = 2.340.000	30.000x15 + 8.000x150 + 15.000x120 = 2.700.000

FIGURA 54 - Avaliação (aproximada) de custos.

6. COMENTÁRIOS

Os parâmetros técnicos alcançados pela manta de PVC desenvolvida mostram que o material se apresenta como uma opção técnica para impermeabilização de barramentos.

As aferições de custo, embora com valores grosseiros (entretanto não muito diferentes dos praticados usualmente), mostram uma sensível vantagem econômica do emprego da manta de PVC, de espessura 2 mm. alertando para:

- A vantagem torna-se maior para barramentos altos (acima de 50 m) e vales abertos, do que para barramentos baixos.

Alerta-se ainda que para todas as opções (com mantas) foi considerada uma só espessura da manta (e = 2,00 ± 0,15 mm).

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi elaborado com apoio da Construtora Norberto Odebrecht S/A, representada pela equipe de Engenharia de Capanda:

- Engº Marcus Tulio Schmitt - Responsável pela Divisão
- Engº Fernando Resende - Controle de Qualidade
- Engº Jin Tien Quin - Projetos

Os autores e colaboradores agradecem ao Gamek - Gabinete de Aproveitamento do Médio Kwanza - pela publicação das informações contidas neste informe.

Os estudos foram elaborados no Laboratório de Concreto da Itaipu Binacional pela equipe:

- Engº José Augusto Braga
- Engº Luiz Cesar Rosário
- Químico Francilino Fernandes Netto
- Técnico Gilmar Fabro

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Siegfried Grossman; Franz Sänger - Experience with thermoplastic water proofing systems in dam construction in the German Democratic Republic - XVI ICOLD - S. Francisco 1988.

[2] Italian national Committee on Large Dams - Embankment dams with impervious upstream facings: An overview of Italian practice. XVI - ICOLD - S. Francisco - 1988.

[3] P. Sembenelli; J.S. Cuniberti - "Engineered geomembrane linings" - ICOLD - S. Francisco - 1988.

[4] Jiri Bartusek; Leonard Hobst; Ota Hobst - "The Development of dam lining using plastic foils in Czechoslovakia" - XVI - ICOLD - S. Francisco - 1988.

[5] M.P. Forrest; E.S. Smith; J.H. Kmetz; D. Buranek. - "Stillwater impoundment geomembrane liner: Engineering and Construction" - XVI - ICOLD - S. Francisco - 1988.

[6] H.S. Earie; I.R. McGregor - "The application of a geomembrane at Nigeria's Isanlu Dam" - Water Power - Dam Construction - June/88.

[7] H. Waechter; W. Haug; U. Hahn - "Specialist Construction Plant Developed for Alz Canal refurbishment" - Water Power - Dam Construction - December/88.

[8] T.L. Lippert and G.G. Hammer - "The use of a geomembrane in heightening the Pactola Dam" - Water Power - Dam Construction - February - 89.

[9] G. Zuccoli; C. Scalabrini; A. Scuero - The use of a geomembrane for an arch dam repair" - Water Power - Dam Construction - February - 89.

[10] PVC - Geomembrane Institute - "Test your knowledge of PVC - Geomembrane Lining Material".

[11] "Durability" - International Conference on Geomembranes - Denver USA.

[12] Brookman, Robert and Kamp Lawrence - "Flexible vinyl for exposed geomembrane use - Is it possible? " - International Conference on Geomembranes - Denver USA.

[13] Evelyne Y. Lange Vaidergorin - "Plásticos na construção civil - Durabilidade" - Construção São Paulo - Julho/90.

[14] Miguel Alfredo Golik - Francisco R. Andriolo - "Urugua-I" (CCR) - Controle de qualidade do concreto lançado no tramo principal da barragem - XVIII S.N.G.B. - Foz do Iguaçu - Abril/1989.

[15] Miguel Alfredo Golik - "Membrana de PVC su aplication en el tramo principal de la presa de H.C.R. de Urugua-I".

[16] Seção 8 - Dispositivos de vedação - Especificações Técnicas - Itaipu Binacional.

[17] CRD-C-572 - Corps of Engineers Specifications for Poly vinylchloride Waters Top -

[18] ASTM-D-3083 - Standard Specification for Flexible Poly (Vinylchloride) Plastic Sheeting for Pond, Canal and Reservoir Lining.

[19] Relatórios da Itaipu Binacional para a obra de Capanda.