

COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS USADOS EM LIGAÇÕES PREDIAIS, EM RELAÇÃO A SUA VIDA, E SUAS IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS

ENG. OSIAS MUTCHNIK (*)

1. OBJETIVO

O presente estudo visa informar experiências de comportamento dos materiais usualmente empregados, ferro galvanizado, cobre e plástico, em relação a sua vida útil e através de um modelo adotado deste comportamento, deduzirmos as conseqüências econômicas advindas do uso de cada um destes materiais nas ligações prediais.

2. PRINCIPAIS PROPRIEDADES

Um material para considerar-se apto a ser empregado em ligações prediais deverá ter as seguintes propriedades fundamentais:

- a) flexibilidade
- b) elasticidade
- c) resistência a choque
- d) resistência a pressão
- e) resistência a corrosão
- f) facilidade de instalação.

Da ponderação destas propriedades aliadas ao fator econômico e a facilidade de conseguir-se matéria-prima, poderemos chegar ao material mais indicado para ligações prediais.

3. TUBOS DE FERRO GALVANIZADO

Apesar de não apresentar a maioria das propriedades acima enumeradas, ain-

da é um dos materiais que vem sendo aplicado em larga escala no Brasil, pois sendo a matéria-prima nacional, tem preços compatíveis com o poder econômico da população e não sofre as influências externas na obtenção desta matéria-prima, o que dá uma certa garantia quanto a facilidade de ser encontrada na praça no momento oportuno.

No entanto, trata-se de um material de vida útil curta, tanto pelos problemas de seu envelhecimento, quanto pela idoneidade de seus fabricantes.

Estes problemas vem ocorrendo de longa data, mesmo quando tal material era importado, uma vez que em seu artigo «Tratamento de água de abastecimento de São Paulo, preventivo da corrosão das canalizações» do Eng.º Alvaro Cunha, publicado no Boletim da Repartição de Águas e Esgotos de São Paulo, n.º 3, cita um fato que vinha observando-se nos materiais empregados nas ligações prediais, os quais poderiam ser considerados preparados para a corrosão, devido a falhas na galvanização. É de se notar que tal material na época era importado e o autor considerava a luta entre os exportadores, procurando produzir material cada vez mais barato como causadores destes problemas.

Evidentemente os atuais métodos de compra, através de concorrências públicas levam os fabricantes nacionais a produzirem produtos de baixa qualidade a fim de competirem no mercado e no caso do comprador não baixar boas especificações

(*) Assessor Técnico da Coordenação de Projetos Especiais SAEC.

no momento da compra e um bom sistema de controle de qualidade, correrá o risco de comprar materiais previamente condenados a uma corrosão precoce.

No entanto, estes cuidados, apesar de tomados pelo comprador, não lhe garantirá uma vida longa, pois existem outros problemas inerentes ao próprio material que influirá na sua vida útil, tais como as incrustações e uma boa técnica usada na execução das ligações prediais.

No já citado artigo, o autor faz considerações sobre a formação de incrustações nos tubos de ferro galvanizado retirados de ligações prediais e analisa o fato como conseqüência da formação de um par termo elétrico entre o ferro e o zinco nas extremidades do tubo onde foram feitas as roscas, daí conclui que tal corrosão se processa sempre próximo a emendas destes tubos através de luvas e outras peças especiais.

Por outro lado, tratando-se de um material rígido, dificulta o seu manuseio, levando os operários a entortá-los com golpes a fim de evitar a inserção de uma peça especial necessária a uma mudança de direção, estrangulando a sua secção e destruindo a sua galvanização interna e externa.

Pelo exposto, podemos concluir que, apesar do ferro galvanizado ser um material cuja matéria-prima é nacional, acompanha-o outros inconvenientes que o contraindicam para o uso nas ligações prediais.

4. TUBOS DE COBRE

O tubo de cobre é cada vez mais empregado em ligações prediais de água. São utilizados para tal finalidade bobinas de tubo recozido de grandes comprimentos (50 m. ou mais, conforme pedido do comprador).

As características mecânicas e físicas do cobre, unidas a rapidez de instalação lhes dão numerosas vantagens nesta aplicação.

O cobre resiste perfeitamente a corrosão e pode ser utilizado, por conseguinte, em canalizações enterradas. Isto se deve ao fato de que o cobre quando enterrado, reveste-se, automaticamente, de um envólucro protetor, constituída de uma película de óxido, muito aderente, que impede toda a corrosão ulterior mais profunda.

Como prova evidente disto, podemos citar escavações arqueológicas que descobriram grandes quantidades de cobre dos tempos mais antigos, em excelente estado de conservação, apesar do longo tempo que passaram enterradas.

Sua grande elasticidade permite enterrá-lo sem as proteções especiais exigidas por alguns materiais. Os cuidados são os normais para todos os materiais que são enterrados, isto é, evitar contato direto com pedras, arestas vivas, blocos de grande dureza, os quais, ao longo do tempo, podem provocar danos devido ao efeito de uma pressão sobre a superfície do solo, ocasionado, por exemplo, pela passagem de um veículo pesado.

Resumindo, o tubo de cobre oferece o conjunto de qualidades: flexibilidade, elasticidade, resistência ao choque, à pressão e à corrosão que o tornam apto à condução subterrânea de água. Além disto, sendo o mesmo fornecido em grandes comprimentos, podem ser desenrolados diretamente na vala, aumentando a sua velocidade de instalação.

Consultados usuários brasileiros deste material foram revelados alguns problemas, tais como:

1. vazamentos nas juntas soldadas, motivado pelos locais de difícil trabalho, bem como mão-de-obra não qualificada. Este problema pode ser praticamente eliminado com o emprego de juntas frias.
2. rigidez dos tubos de bitolas maiores que 25 mm, os quais são fornecidos em barras de pequenos comprimentos, obrigando a prática do uso de mais de um material em ligações prediais.
3. Necessidade de proteção catódica contra a verdadeira pilha eletrolítica que é formada pela água em contato com o cobre e o ferro galvanizado. Este fenômeno tem ocorrido com usuário brasileiro, apesar de ser recente o emprego dos tubos de cobre.

Sendo este último um problema que independe de técnicas e aprimoramento da instalação deste tipo de tubo, cabe-nos citar sobre o assunto a publicação distribuída pelo «Centro brasileiro de informações sobre o cobre» (CEBRACO) «El tubo de cobre en las instalaciones de la edificación» no seu capítulo VII-2 «Instalações mistas de cobre e ferro».

Nesta publicação o problema das instalações mistas é apresentado através da

ocorrência de dois fenômenos: oxidação e transporte de partículas de material pela água.

Quanto ao primeiro fenômeno é comparado às potências de oxidação do cobre e do ferro (com relação ao hidrogênio tomado como potencial zero), sendo encontradas + 0,35 V para o cobre e - 0,44 V para o ferro. Em outras palavras, sendo o cobre um metal nobre e o ferro um metal relativamente corrosível, ao colocá-los em contato numa mesma instalação de água estaremos criando uma pilha eletroquímica, na qual o ferro faz o papel de anodo, o cobre o de catodo e a água o de eletrólito condutor da corrente de corrosão. Se esta instalação conduz água doce, mais ou menos carregada de sais minerais, a resistividade eletrolítica do eletrólito é tão grande que a corrente de corrosão não poderá alcançar uma distância maior que duas a quatro vezes o diâmetro do tubo, tal fenômeno se acentuaria no caso de condução de água do mar, uma vez que alta condutividade permitiria sentir os efeitos da corrosão a vários metros da união.

Nos sistemas de abastecimento de água, o uso de tubos de cobre nas ligações prediais, evitar-se-ia a corrosão motivada por este fenômeno, com a intercalação de um pedaço de tubo de plástico entre o cobre e o ferro.

Quanto ao segundo fenômeno citado, a situação agrava-se por ser difícil a solução; com efeito, num abastecimento predial a água deverá percorrer primeiro o cobre da ligação e em seguida o ferro galvanizado da instalação do prédio. Neste caso as partículas de cobre, dissolvidas em forma de ions na água, tenderão a precipitar-se sobre as paredes internas do tubo de ferro, formando uma camada de cobre de sedimentação, corroendo o zinco da galvanização, cujo potencial é -0,76 V, ainda menos nobre que o ferro, atacando em seguida o ferro desprovido daquela proteção.

Em se tratando de redes distribuídas de ferro sem proteção interna, o problema é ainda mais grave, uma vez que poderá produzir-se partículas de óxido em suspensão, que serão arrastadas pela corrente de água e no caso de sua deposição sobre o cobre da ligação poderão provocar a oxidação deste por aeração diferencial, podendo-se produzir a perfuração do cobre.

Portanto, os tubos de cobre, ressaltados os problemas acima indicados, poderão ser aplicados como material para ligação predial, não levando-se em conta os fatores econômicos e gastos de divisas com a sua importação.

5. TUBOS DE PLÁSTICOS

Nos nossos dias cada vez torna-se mais comum o uso de tubos de plástico nos sistemas de abastecimento de água. As causas deste aumento de interesse pelo emprego de tubos plásticos na condução de água são os pequenos investimentos iniciais, facilidade de instalação, excelentes características hidráulicas, não serem corrosíveis, boas experiências com sua aplicação e o constante aumento dos metais usados na fabricação de tubos.

Dentre as resinas plásticas mais usadas podemos citar o PVC, o ABS e o Polietileno.

TUBOS DE POLIETILENO

Os tubos de polietileno podem ser os mais comuns dos materiais plásticos em uso no transporte de água nas empresas de grande e pequeno porte. O polietileno, um produto derivado do gás eteno, foi originalmente desenvolvido na Inglaterra, em 1940, para ser usado na construção de radar.

Foi extrudado pela primeira vez como tubo para uso na condução de água em 1948 e desde então tem sido usado para esta finalidade. As pesquisas através dos anos produziram diversos tipos e diferentes classes de polietileno, cujas características físicas podem ter pequenas semelhanças.

O polietileno é um tubo extrudado, semi-flexíveis que pode ser fabricado em qualquer cor. É produzido em diâmetros até 6", ainda que raramente, em diâmetros superiores que 2", pois os tubos de diâmetro maiores são anti-econômicos porque sua baixa resistência a tração requer paredes grossas. É fornecido em rolos de qualquer comprimento, conforme pedido do comprador.

TUBOS DE ABS

É produzido pela combinação de três derivados do petróleo: acrilonitrilo, butadieno e estireno. Cada um destes três derivados são usados para produzir diferen-

tes tipos de borracha sintética, mas na sua combinação eles produzem um plástico que tem sido empregado em diversos usos na indústria moderna.

A principal característica dos tubos de ABS é sua resistência ao choque sendo bem mais rígido que o polietileno. Seu preço é superior ao do polietileno e caracteriza-se pela sua leveza e resistência à tração. São fornecidos em barras de 4 a 6 m de comprimento e são facilmente instalados através de conexões soldáveis.

TUBOS DE PVC

São os mais difundidos no Brasil, foi usado pela primeira vez por volta de 1940, na Alemanha, na indústria química para o transporte de corrosivos.

Por ser um material conhecido e usado em larga escala no Brasil torna-se desnecessário fornecer suas características físicas e hidráulicas.

No entanto, o uso dos tubos de plástico tem sofrido alguma resistência por parte dos engenheiros mais conservadores, principalmente no que se refere ao seu tempo de vida útil e, para tanto, citam frequentemente insucessos ocorridos, a fim de justificar-se.

Sobre o assunto, consultando a Revista da AWWA poderemos citar a opinião de autores americanos sobre a matéria.

No tocante ao insucesso de algumas entidades com o uso do tubo de plástico, observa-se que realmente houve ocorrências de grandes e pequenas falhas, mas que também são muitos os usuários que revelaram sucesso e satisfação. No entanto, as falhas dos novos produtos sempre são lembradas, enquanto que o sucesso de seu uso parece ser ignorado. Isto faz crer que certos engenheiros preferem rejeitar o material, usando as falhas como argumento, uma vez que a justificativa do seu uso acarretaria pesquisas, o que obviamente é muito mais trabalhoso.

PRIMEIRAS EXPERIÊNCIAS AMERICANAS

As falhas mais sérias e onerosas conhecidas do autor são aquelas que ocorreram mais ou menos no início de 1953 nos sistemas suburbanos de água na área do sul da Califórnia. Os usuários e os fornecedores cometeram alguns erros na seleção e instalação do material. As falhas ressaltaram devido ao número de serviços envolvidos.

O material então usado no sistema suburbano de água era o CAB (cellulose acetate butyrate) e polietileno (PE). A composição do CAB usada, provou ser completamente insatisfatória devido a tendência em tornar-se quebradiço e cristalizar-se e ainda devido a problemas de gosto e odor. O PE comportou-se bem melhor apesar de na sua instalação não ter sido considerada a pressão de trabalho do material.

No caso do polietileno houve insuficiência de informações, afim de alertar o usuário. Note-se que no Condado de Skagit, Washington, o tubo de polietileno começou a ser usado por volta de 1952, com sucesso, pois não apresentou falhas. Deve-se notar, também, que East Bay Water iniciou experiências com o CAB em 1951 e em princípios de 1953 teve evidências da inadequabilidade do material. Nenhuma destas informações, no entanto, foram utilizadas pelas indústrias.

INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DOS PRODUTOS

Um dos aspectos mais importantes na obtenção do sucesso ou fracasso nas instalações de tubos plásticos está diretamente ligada a capacidade e idoneidade do fabricante produzir com boa qualidade.

Nos primórdios do aparecimento deste material, inexisiam especificações, dimensões e tolerâncias eram deixadas a critério de cada fabricante e firmas inexperientes começaram a extrudar tubos acarretando a produção de milhões de metros de tubos de baixa qualidade que foram vendidos, provocando fracassos no seu emprego o que gerou a atual resistência a plásticos.

Atualmente a existência de normas e especificações garantem ao comprador criterioso o sucesso de seu uso, uma vez que os fabricantes são obrigados a produzir dentro de níveis de qualidades aceitáveis.

COMPARAÇÃO DE MATERIAIS

Pode-se ficar maravilhado com os relativos méritos dos três materiais PVC, ABS e PE, atualmente empregados em ligações de água. Certamente a experiência com ABS da East Bay Water indicaria que é satisfatório e a experiência com PVC não é má. Para pequenos diâmetros, 3/4" e 1", a East Bay Water prefere polietileno

linear devido à sua flexibilidade, facilidade de instalação e compatibilidade do uso de conexões para tubos de cobre. Outra razão que o recomenda é a inalterabilidade de suas propriedades físicas ou químicas após alguns anos de serviço, não ocorrendo, como em outros materiais, tendências de se tornarem quebradiços e perder parte de sua resistência ao impacto. Na verdade, estas tendências parecem estabilizar-se após dois ou três anos, mas qualquer mudança notada numa experiência de curta duração, provoca a necessidade de uma decisão mais demorada, antes de aceitar-se o material; contudo a facilidade de instalação do polietileno dispensa outras considerações.

Por outro lado, tanto usuários como fabricantes são unânimes em afirmar que para tubos de diâmetros maiores do que 1" o PVC e ABS são materiais melhores e a razão preponderante está no fato de que a espessura das paredes dos tubos de polietileno para uma mesma pressão de trabalho cresce na razão direta dos diâmetros.

O polietileno por ter resistência a tensão menor que o PVC e o ABS, deve ser fabricado com espessuras tais que dificultam a sua manipulação e execução de juntas, além de tornar o seu custo mais alto.

EFEITOS DA IDADE

Muita inquietação tem sido demonstrada no tocante ao envelhecimento dos tubos plásticos. A maioria de nós teme efeitos adversos com o envelhecimento. As primeiras tentativas para o uso de plásticos deu-se na manufatura de automóveis, brinquedos e mangueiras de jardim o que deixou certas dúvidas em nossa mente. Felizmente os fornecedores de matéria-prima tem feito muito para eliminar ou inibir o envelhecimento. O artigo escrito por Frank W. Reinhart «Força hidrostática e projeto de tensões para tubos termoplásticos com água», publicado pela ASTM é recomendado para aqueles que ainda estão preocupados com o envelhecimento destes tubos quando aplicados nos serviços de água. É uma completa explanação de métodos usados na determinação de tensões, recomendados para tubos plásticos e dá informações sobre limites de dilatação sob pressão. Infelizmente, não cobre outros importantes aspectos dos tu-

bos de plásticos, especialmente a mudança de resistência ao impacto com o envelhecimento e resistência a tensões repetidas.

Provavelmente o sucesso do uso destes materiais, continuará a ser o melhor método de avaliação da vida útil em serviço.

CONCLUSÕES DOS AUTORES AMERICANOS

Certamente a quantidade de evidências do uso com sucesso contribuirá para aquietar qualquer temor da ocorrência de uma falha desastrosa e total decorrida do seu emprego. É opinião pessoal dos escritores americanos que as atuais ligações de polietileno estarão em serviço pelo menos cinquenta e, provavelmente, cem anos a partir deste momento. Foi dado ênfase especial ao polietileno porque os diâmetros de 3/4" e 1" abrangem o grande volume de demanda de cobre e porque é o único material que pode ser usado com conexões de cobre. Isto não quer dizer que o PVC e o ABS não foram aprovados para grandes diâmetros.

Os pontos que devem ser notados pelos usuários em potencial são:

1. Aquisição de tubos que estejam com pressão devidamente especificados e esta exceda a pressão média de serviço;
2. Controlar a qualidade do material, ou por inspeção própria ou exigindo certificado de entidades capacitadas;
3. Seguir as práticas recomendadas para a instalação.

CONSIDERAÇÕES SOBRE O POLIETILENO

Vários são os tipos de polietileno produzidos, no entanto, o que vem sendo empregado com maior sucesso em diversos países para condução de água é o polietileno de alta densidade. Este material possui uma estrutura molecular tal que seu peso molecular é alto em relação ao polietileno linear convencional. É de melhor qualidade, apesar de mais caro, tem excelente resistência a repetidas aplicações de tensões e pode ser enrolado muitas vezes sem quebrar.

Atualmente este material vem sendo produzido pela indústria brasileira obedecendo as especificações de dimensões da DIN 8074. Tais tubos foram submetidos aos ensaios recomendados pela DIN 8075 (Condições Técnicas de Fornecimento) sendo os resultados considerados satisfatórios.

IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS

Afim de fazermos um estudo econômico dos três materiais, ferro galvanizado, polietileno e cobre, deveríamos conhecer «a priori» a média de suas vidas úteis, o que na realidade não ocorre, uma vez que devido a falta de dados estatísticos não nos é permitido definir os tempos em questão.

Com a finalidade de produzirmos um estudo, resolvemos adotar algumas premissas que a menos dos valores numéricos poderão nos dar uma idéia de seus comportamentos econômicos através dos tempos.

As premissas adotadas foram as seguintes:

1. Tempo médio de vida útil, no fim do qual todas as ligações estarão substituídas;
2. Modelo de substituição destas ligações através dos tempos.

Os tempos médios de vida útil adotados foram as seguintes:

- | | |
|----------------------|----------|
| a. ferro galvanizado | 12 anos |
| b. polietileno | 36 anos |
| c. cobre | 48 anos. |

Os modelos de porcentagem de substituição através do tempo de vida útil adotados foram os seguintes:

- | anos | % substituição |
|--------|----------------|
| 1 — 2 | 0,5 |
| 3 — 4 | 2,0 |
| 5 — 6 | 4,0 |
| 7 — 8 | 8,0 |
| 9 — 10 | 16,0 |
| 11 | 19,0 |
| 12 | 20,0 |

b. polietileno

anos	% substituição
1 — 6	0,25
7 — 12	0,75
13 — 18	2,00
19 — 24	4,00
25 — 30	4,50
31 — 34	5,00
35 — 36	5,50

c. cobre

	% substituição
1 — 8	0,125
9 — 16	0,500
17 — 24	1,200
24 — 32	2,000
33 — 40	4,000
41 — 44	4,750
45 — 48	5,000

Afim de projetarmos o número de manutenção de ligações, imaginamos um sistema que tem um crescimento uniforme de 1.000 ligações anuais, de 1974 a 1999 e fizemos nas três hipóteses: ferro galvanizado, polietileno e cobre.

Com o fito de compararmos os custos dos três materiais, adotamos todas as ligações com diâmetros mínimos, isto é,

ferro galvanizado	19 mm.
polietileno (diâmetro externo)	20 mm.
cobre	12,5 mm.

Foram adotados preços médios por ligação, onde estão incluídos mão-de-obra, material e reposição de vala:

ferro galvanizado	Cr\$ 105,00
polietileno	Cr\$ 80,00
cobre	Cr\$ 150,00

Nos quadros I e II, temos as projeções de substituições de manutenções devido ao envelhecimento dos tubos e falhas de execução e o total de ligações a serem executadas, anualmente, entre novas e substituídas.

Pelo quadro IV podemos verificar que os investimentos por ligação através dos anos tenderão a equilibrar entre o polietileno e o cobre, passando em seguida a ser menor para este, no entanto, contemplando-se o investimento inicial, o polietileno é o mais vantajoso.

QUADRO I - f9.g9.

ANO	TOTAL LIG+SUBST.	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99		
74	1.000	5	5	20	20	40	40	80	80	160	160	190	200															
75	1.005		5	55	20	20	40	40	80	80	161	161	191	201														
76	1.010			5	5	20	20	40	40	81	81	162	162	192	202													
77	1.030				5	5	21	21	41	41	82	82	165	165	196	206												
78	1.050					5	5	21	21	42	42	84	84	168	168	200	210											
79	1.090						5	5	22	22	44	44	87	87	174	174	207	218										
80	1.131							6	6	23	23	45	45	90	90	181	181	215	226									
81	1.213								6	6	24	24	49	49	97	97	194	194	230	243								
82	1.296									6	6	26	26	52	52	104	104	207	207	246	259							
83	1.461										7	7	29	29	58	58	117	117	234	234	278	292						
84	1.630											8	8	33	33	65	65	130	130	261	261	310	326					
85	1.833												9	9	37	37	73	73	147	147	293	293	348	367				
86	2.045													10	10	41	41	82	82	164	164	327	327	389	409			
87	2.085														10	10	42	42	83	83	167	167	334	334	396	417		
88	2.127															11	11	43	43	85	85	170	170	340	340	404		
89	2.184																11	11	44	44	87	87	171	171	349	349		
90	2.256																	11	11	45	45	90	90	180	180	361		
91	2.343																			12	12	47	47	94	94	187	187	
92	2.449																				12	12	49	49	98	98	196	
93	2.576																					13	13	52	52	103	103	
94	2.711																						14	14	54	54	108	
95	2.859																							14	14	57	57	
96	2.989																									15	15	60
97	3.108																										16	16
98	3.201																											16
99	3.274																											16

Q U A D R O II - Pe.

ANO	TOTAL LIG+SUBST.	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
74	1.000	3	3	3	3	3	3	8	8	8	8	8	20	20	20	20	20	20	40	40	40	40	40	40	40	45
75	1.003		3	3	3	3	3	3	8	8	8	8	8	8	20	20	20	20	20	20	40	40	40	40	40	40
76	1.006			3	3	3	3	3	3	8	8	8	8	8	8	20	20	20	20	20	20	40	40	40	40	40
77	1.009				3	3	3	3	3	3	8	8	8	8	8	8	20	20	20	20	20	20	40	40	40	40
78	1.012					3	3	3	3	3	3	8	8	8	8	8	8	20	20	20	20	20	20	40	40	40
79	1.015						3	3	3	3	3	3	8	8	8	8	8	8	20	20	20	20	20	20	41	41
80	1.018							3	3	3	3	3	8	8	8	8	8	8	8	20	20	20	20	20	20	41
81	1.026								3	3	3	3	3	3	8	8	8	8	8	8	21	21	21	21	21	21
82	1.034									3	3	3	3	3	3	8	8	8	8	8	8	21	21	21	21	21
83	1.042										3	3	3	3	3	3	8	8	8	8	8	8	21	21	21	21
84	1.050											3	3	3	3	3	3	8	8	8	8	8	8	21	21	21
85	1.058												3	3	3	3	3	3	8	8	8	8	8	8	21	21
86	1.066													3	3	3	3	3	3	8	8	8	8	8	8	21
87	1.086														3	3	3	3	3	3	8	8	8	8	8	8
88	1.106															3	3	3	3	3	3	8	8	8	8	8
89	1.126																3	3	3	3	3	3	8	8	8	8
90	1.146																	3	3	3	3	3	3	9	9	9
91	1.166																		3	3	3	3	3	3	9	9
92	1.186																			3	3	3	3	3	3	9
93	1.226																				3	3	3	3	3	3
94	1.267																					3	3	3	3	3
95	1.308																						3	3	3	3
96	1.349																							3	3	3
97	1.391																								3	3
98	1.434																									4
99	1.483																									

Q U A D R O III - Cu

ANO	TOTAL LIG+SUBST:	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	97	98	99	
74	1.000	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	10	10	20
75	1.001		1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	10	10
76	1.002			1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	10
77	1.003				1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10
78	1.004					1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	1	10	10	10
79	1.005						1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10
80	1.006							1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5		5	5	10	10
81	1.007								1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	10
82	1.008									1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	10
83	1.013										1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5
84	1.018											1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5
85	1.023												1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5
86	1.028													1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5
87	1.033														1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5
88	1.038															1	1	1	1	1	1	1	1	5	5
89	1.043																1	1	1	1	1	1	1	5	5
90	1.048																	1	1	1	1	1	1	1	5
91	1.058																		1	1	1	1	1	1	1
92	1.068																			1	1	1	1	1	1
93	1.078																				1	1	1	1	1
94	1.088																					1	1	1	1
95	1.098																						1	1	1
96	1.108																							1	1
97	1.118																								1
98	1.128																								1
99	1.148																								1

QUADRO IV

ANO	USUÁRIOS	LIG.NOVAS+SUBSTITUIÇÕES			CUSTOS ANUAIS X 10 ³			CUSTOS ACUMULADOS X 10 ³			CUSTO MÉDIO POR LIGAÇÃO		
		X10 ³	f9.ga.	Pe	Cu	f9.ga.	Pe	Cu	f9.ga.	Pe	Cu	f9.ga.	Pe
74	1	1.000	1.000	1.000	105,0	80,0	150,0	105,0	80,0	150,0	105,00	80,00	150,00
75	2	1.005	1.003	1.001	105,5	80,2	150,2	210,5	160,2	300,2	105,25	80,10	150,10
76	3	1.010	1.006	1.002	106,0	80,5	150,3	316,5	240,7	450,5	105,50	80,20	150,17
77	4	1.030	1.009	1.003	108,2	80,7	150,5	424,7	321,4	601,0	106,18	80,35	150,25
78	5	1.050	1.012	1.004	110,3	81,0	150,6	535,0	402,4	751,6	107,00	80,48	150,32
79	6	1.090	1.015	1.005	114,5	81,2	150,8	649,5	483,6	902,4	108,25	80,60	150,40
80	7	1.131	1.018	1.006	118,8	81,4	150,9	768,3	565,0	1.053,3	109,76	80,71	150,47
81	8	1.213	1.026	1.007	127,4	82,1	151,0	895,7	647,1	1.204,3	111,96	80,88	150,54
82	9	1.296	1.034	1.008	136,1	82,7	151,2	1.031,8	729,8	1.355,5	114,64	81,09	150,61
83	10	1.461	1.042	1.013	153,4	83,4	152,0	1.185,2	813,2	1.507,5	118,52	81,32	150,75
84	11	1.630	1.050	1.018	171,2	84,0	152,7	1.356,4	897,2	1.660,2	123,31	81,56	150,93
85	12	1.833	1.058	1.023	192,5	84,6	153,5	1.548,9	981,8	1.813,7	129,08	81,82	151,14
86	13	2.045	1.066	1.028	214,5	85,3	154,2	1.763,6	1.067,1	1.967,8	135,66	82,08	151,37
87	14	2.085	1.086	1.033	218,9	86,9	155,0	1.982,5	1.154,0	2.122,9	141,61	82,43	151,69
88	15	2.127	1.106	1.038	223,3	88,5	155,7	2.220,8	1.242,5	2.278,6	148,05	82,83	151,91
89	16	2.184	1.126	1.043	229,3	90,1	156,5	2.435,1	1.332,6	2.435,1	152,19	83,29	152,19
90	17	2.256	1.146	1.048	236,9	91,7	157,2	2.672,0	1.424,7	2.592,3	157,18	83,81	152,48
91	18	2.343	1.166	1.058	246,0	93,3	158,7	2.918,0	1.517,6	2.751,0	162,11	84,31	152,83
92	19	2.449	1.186	1.068	257,1	94,9	160,2	3.175,1	1.612,5	2.911,2	167,11	84,87	153,22
93	20	2.576	1.226	1.078	270,5	98,0	161,7	3.445,6	1.710,5	3.072,9	172,28	85,53	153,65
94	21	2.711	1.267	1.088	284,7	101,4	163,2	3.730,3	1.811,9	3.236,1	177,63	86,28	154,10
95	22	2.859	1.308	1.098	330,2	104,6	164,7	4.030,5	1.916,5	3.400,8	183,20	87,11	154,58
96	23	2.889	1.349	1.108	313,8	107,9	166,2	4.344,3	2.024,4	3.567,0	188,88	88,17	155,09
97	24	3.108	1.391	1.118	326,3	111,3	167,7	4.670,6	2.135,7	3.734,7	194,61	88,99	155,61
98	25	3.201	1.434	1.128	336,1	114,7	169,2	5.006,7	2.250,4	3.903,9	200,27	90,01	156,17
99	26	3.274	1.483	1.148	347,8	118,8	172,2	5.354,5	2.369,0	4.076,1	205,94	91,11	156,77