

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**PEDRO AUGUSTO NUNES CÂNDIDO
THALES AUGUSTO ASSUNÇÃO PEIXOTO**

**VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO PEX EM
CONSTRUÇÕES CIVIS**

ANÁPOLIS / GO

2019

PEDRO AUGUSTO NUNES CÂNDIDO
THALES AUGUSTO ASSUNÇÃO PEIXOTO

VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO PEX EM
CONSTRUÇÕES CIVIS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA

ORIENTADOR: AGNALDO ANTONIO M. T. DA SILVA

ANÁPOLIS / GO: 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

CÂNDIDO, PEDRO AUGUSTO NUNES / PEIXOTO, THALES AUGUSTO ASSUNÇÃO

Estudo da viabilidade do uso do PEX em construções civis residenciais.

83P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|----------------------------|-----------------------|
| 1. Pex | 2. Redução de Custos |
| 3. Instalações Hidráulicas | 4. Construções Cíveis |
| I. ENC/UNI | II. Título (Série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CÂNDIDO, Pedro Augusto Nunes; PEIXOTO, Thales Augusto Assunção. Estudo da viabilidade do uso do PEX em construções civis residenciais. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 83p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Pedro Augusto Nunes Cândido

Thales Augusto Assunção Peixoto

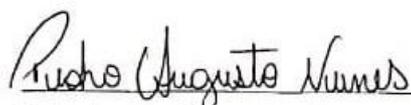
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Viabilidade do uso de PEX em construções civis

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

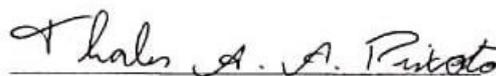
ANO: 2019

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Pedro Augusto Nunes Cândido

E-mail: pedro14madruga@gmail.com



Thales Augusto Assunção Peixoto

E-mail: thalesapeixoto@hotmail.com

**PEDRO AUGUSTO NUNES CÂNDIDO
THALES AUGUSTO ASSUNÇÃO PEIXOTO**

**VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO PEX EM
CONSTRUÇÕES CIVIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL

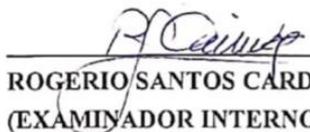
APROVADO POR:



AGNALDO ANTONIO M. T. DA SILVA, Mestre (UniEVANGÉLICA)
(ORIENTADOR)



MARCOS FRANCISCO NOVAES VALENTINO, Mestre (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)



ROGÉRIO SANTOS CARDOSO, Mestre (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 04 de dezembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as bênçãos dadas durante essa jornada que se chega ao fim, a toda minha família por sempre me incentivar, e a minha parceira e melhor amiga por estar sempre ao meu lado, minha namorada e, lógico, a todo corpo docente da faculdade.

Pedro Augusto Nunes Cândido

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, a minha família e a todo o corpo docente desta faculdade por tudo.

Thales Augusto Assunção Peixoto

RESUMO

Muito já se conhece sobre o PVC, há décadas sendo utilizado em instalações hidráulicas prediais, amplamente disponível no mercado e com uma vasta gama de informações disponíveis para auxiliar seu uso e dimensionamento. Não muito distante desse conhecimento, encontram-se o PPR e o CPVC, que de forma análoga atendem a transporte de fluidos, porém estes normalmente sob temperaturas mais elevadas ou sob pressões mais elevadas, que o PVC não suportaria. Nesse cenário surge uma alternativa sustentável e muito viável, o PEX. Além de muito flexíveis, um dos principais fatores que colaboram para a utilização do PEX em obras de construções civis, é o ganho de pressão que se tem nos pontos de consumo, pois o material não exige a utilização de muitas peças e consegue atender a grandes distâncias através da ligação ponto a ponto, fatores estes que proporcionam uma grande diminuição na perda de carga. Assim sendo, este trabalho realiza um estudo comparativo entre um projeto de uma planta predial em PEX e outra em PVC. Esse material pode proporcionar custos de até 54% a mais em relação ao PVC inicialmente, porém, levando em consideração todo o processo construtivo, desde de materiais, mão-de-obra, equipamentos até o tempo de produção, o mesmo se torna mais econômico e eficaz. Através das análises comparativas do estudo de caso deste trabalho, comprova-se que o PEX pode ser eficaz para instalações em edificações de grande porte com diversos pavimentos, ou ainda mais eficaz para obras de pequeno porte, como casas térreas ou de poucos pavimentos; além de se adaptar para o uso de água quente e fria sem a necessidade de troca do material. Esse fator de fácil adaptação a qualquer uso em edificações residenciais tem trazido expansão ao material, levando-o a se tornar mais conhecido e mais buscado por grandes e médias construtoras. Se corretamente dimensionado e executado, o PEX trará economias durante e pós obras e conforto ao usuário final, proporcionando benefícios para quem constrói e para quem utiliza a unidade habitacional.

PALAVRAS-CHAVE:

PEX. Instalações Hidráulicas. Inovações Tecnológicas. Redução de Custos. Construções Civis.

ABSTRACT

Much is known about PVC, which has been used for decades in hydraulic building installations, widely available on the market and with a wide range of information available to aid its use and sizing. Not far from this knowledge, are PPR and CPVC; which similarly cater for fluid transport, but these are usually at higher temperatures or higher pressures than PVC would not support. In this scenario, comes a sustainable and very viable alternative, the PEX. In addition to being very flexible, one of the main factors that contribute to the use of PEX in civil construction works is the pressure gain at the points of consumption, as the material does not require the use of many parts and can handle large quantities. distances through the point-to-point linkage, which factors in greatly reducing the pressure drop. Thus, this work makes a comparative study between a project of a building plant in PEX and another in PVC. This material can cost up to 17% more than PVC initially; but taking into account the entire construction process, from materials, labor, equipment to production time, it becomes more economical. it is efficient. Comparative analysis of the case study of this work shows that PEX can be effective for installations in large multi-storey buildings, or even more effective for small buildings, such as single-storey or low-floor houses; in addition to adapting to the use of hot and cold water without the need for material change. This factor of easy adaptation to any use in residential buildings has brought expansion to the material, leading it to become better known and sought after by large and medium builders. If properly sized and executed, PEX will bring savings during and after construction and end-user comfort, providing benefits to those who build and who use the housing.

KEYWORDS:

PEX. Hydraulics installations. Technologicals innovations. Cost reduction. Civil constructions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tubo soldável PVC	21
Figura 2 - Tubo roscável PVC	21
Figura 3 – Processo de solda do PVC soldável	23
Figura 4 - Tubos e conexões de PPR	25
Figura 5 – Processo de solda do PPR	27
Figura 6 - Tubos e conexões de CPVC	30
Figura 7 – Processo de execução do CPVC	31
Figura 8 – Execução de conexões do CPVC	32
Figura 9 - PEX multicamadas.....	34
Figura 10 – Bobina de PEX.....	35
Figura 11 – Elementos de uma instalação predial de água fria	39
Figura 12 - Vista em corte da edificação	39
Figura 13 - Planta baixa do pavimento tipo da edificação	40
Figura 14 – Vista em planta do apartamento tipo.....	41
Figura 15 – Modelo 3D arquitetônico da edificação	42
Figura 16 – Modelo 3D hidráulico da edificação	43
Figura 17 – Vista em corte da instalação hidráulica preliminar	43
Figura 18 – Nomograma.....	45
Figura 19 – Principais componentes PVC	46
Figura 20 – Principais componentes PEX	51
Figura 21 – Aplicação do Nomograma para o ramal do banheiro.....	57
Figura 22 – Aplicação do Nomograma para o ramal da cozinha	61
Figura 23 – Vista em corte do projeto	63
Figura 24 – Aplicação do Nomograma para a coluna PVC	63
Figura 25 – Divisão dos trechos para cálculo.....	66
Figura 26 – Aplicação do Nomograma para a coluna PEX.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Uso do PVC.....	20
----------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comprimentos equivalentes de peças PVC	22
Tabela 2 – Pesos relativos nos pontos de utilização	23
Tabela 3 - Tempo de termofusão para Tubos de PPR PN12, PN20 E PN25	28
Tabela 4 - Características do PEX monocamada.....	34
Tabela 5 - Características do PEX multicamadas.....	36
Tabela 6 – Consumo diário de água	41
Tabela 7 – Comprimentos equivalentes de peças PEX	52
Tabela 8 – Diâmetros mínimos de sub-ramais	56
Tabela 9 – Valores mínimos para o raio de curvatura.....	67
Tabela 10 – Custos para materiais em PVC	77
Tabela 11 – Custos para materiais em PEX	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
D.N.	Diâmetro nominal
DIN	Instituto alemão de padronização
ISO	Organização internacional de padronização
l/h	Litros por hora
m.c.a.	Metros de coluna d'água
mm	Milímetros
m/s	Metros por segundo
m ³ /s	Metros cúbicos por segundo
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 JUSTIFICATIVA.....	16
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
1.3 METODOLOGIA	17
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 POLICLORETO DE VINILA - PVC	20
2.1.1 Normatização	24
2.2 POLIPROPILENO COPOLÍMERO RANDOM (PPR)	24
2.2.1 Normatização	28
2.3 POLICLORETO DE VINILA CLORADO (CPVC).....	29
2.3.1 Normatização	32
2.4 POLIETILENO RETICULADO - PEX.....	33
2.4.1 Normatização	37
3 ESTUDO DE CASO	38
3.1 PREMISSAS PARA O DIMENSIONAMENTO	38
3.1.1 O projeto	38
3.1.2 Dados iniciais	40
3.1.2.1 Dados preliminares - PVC	44
3.1.2.1.1 <i>Dimensionamento de colunas - PVC.....</i>	48
3.1.2.2 Dados preliminares - PEX.....	50
3.1.2.2.1 <i>Dimensionamento de colunas - PEX.....</i>	54
3.1.3 Dimensionamento em PVC.....	55
3.1.4 Dimensionamento em PEX.....	66
4 RESULTADOS	75
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
REFERÊNCIAS	82

1 INTRODUÇÃO

Desde o princípio das construções, busca-se tornar o processo construtivo cada vez mais sustentável, rápido e limpo. No passado, construía-se grandes monumentos a partir da sobreposição de rochas; hoje, com as tecnologias disponíveis, levantam-se construções que parecem tocar o céu, e em um breve espaço de tempo. Muitos desses processos, no entanto, ainda são altamente poluidores para a natureza e para os cidadãos próximos. Alternativas eficazes surgem aos poucos, permitindo uma evolução em todas as etapas construtivas, desde a fundação ao acabamento.

Com a implementação desses novos recursos, os impactos gerados, bem como os custos gerais de uma construção, foram severamente diminuídos. São conhecidos hoje, por exemplo, materiais para instalações hidráulicas diferenciados, como polietileno reticulado (PEX), polipropileno copolímero random (PPR) e o cloreto de vinila clorado (CPVC). Estes materiais tornaram possíveis algumas evoluções, como uso de água quente em qualquer ponto de uma residência por exemplo; algo que até então era muito difícil ou até impossível de ser feito.

O PEX se sobressai no que tange às instalações hidráulicas. Sendo mais flexível que o PVC, o mesmo é mais resistente, suporta mais pressão, bem como água quente e fria. A instalação é mais limpa, e, mesmo tendo um custo um pouco mais elevado, em torno de 20% a mais, a diferença de gastos com pós obra, como vazamentos, ressecamentos, quebras, etc, é consideravelmente menor (SOUZA, 2011).

Este material ainda possui algumas limitações, como apenas pequenos diâmetros disponíveis comercialmente (até 32 mm) e necessidade de mão de obra especializada. Entretanto, com a expansão de seu uso, têm surgido inúmeros profissionais especializados na área, bem como um maior número de estabelecimentos que comercializam o tubo.

Devido a uma cultura bastante conservadora, as inovações tecnológicas em áreas como a envolvida, podem se apresentar incabíveis. Porém quando ligado à uma boa execução, o desperdício de materiais diminui e sua qualidade de serviço aumenta. Devido ao menor número de peças, as chances de vazamentos se tornam ainda menores. Dessa forma, na utilização do mesmo, ocorrem aumento de produtividade, diminuição de gastos quanto à desperdícios e também do seu custo em manutenção, devido à sua resistência a corrosão e durabilidade.

O PEX, por ser ainda pouco conhecido e sua utilização ainda pouco difundida em obras, tem como desvantagens os poucos fornecedores que trabalham com o material, escassa oferta de mão-de-obra especializada e diâmetros limitados.

O crescimento da construção civil, faz com que novos materiais sejam desenvolvidos e estudados, visando uma execução rápida e de melhor qualidade, onde a qualidade de vida do usuário irá depender diretamente da infraestrutura de sua edificação.

De acordo com Brandão (2010), a utilização do PEX ultrapassa em torno de 17% o sistema de PVC no quesito econômico; porém levando em conta o tempo de execução, a qualidade de serviço, a diminuição de desperdícios, a diminuição de peças, que afetam em menor perda de carga, o PEX se apresenta como material que poderá substituir os convencionais, visando menores problemas com pós obra, e tempo de execução para empreendimentos de prazos curtos. Assim, o presente trabalho tem o intuito de realizar um estudo apresentando as aplicações do PEX, bem como seus benefícios em relação a outros materiais.

1.1 JUSTIFICATIVA

As construções civis estão cada vez mais complexas quanto ao uso de novas tecnologias, todos os anos são apresentados novos produtos, softwares e normas capazes de abranger todas as etapas da obra. Isso porém torna, em boa parte das vezes, a construção mais limpa e mais eficaz no quesito problemas e defeitos.

Nota-se então, a necessidade em se adaptar ao novo e evoluir juntamente com o meio. O PEX, além de todos os benefícios já citados, torna o processo construtivo muito mais sustentável, diminuindo a quantidade de perdas e de lixo gerado; além de diminuir a quantidade de descartes por defeitos pós-instalação dos produto.

As peças utilizadas com o tubo, são fixadas de forma permanente. Isso reduz drasticamente a quantidade de vazamentos nessas ligações, o que faz com que prumadas extensas sejam muito mais duráveis e percam menos pressão ao longo do percurso. Com tantos benefícios, cabe comparar e apresentar resultados entre este material e seu principal concorrentes, o PVC rígido comum. Outros materiais serão citados para conhecimento.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Realizar o estudo comparativo entre projeto e execução de um projeto predial com PEX em relação ao PVC.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar um projeto de instalações hidráulicas de um prédio em PVC;
- Realizar um projeto de instalações hidráulicas de um prédio em PEX;
- Comparar os resultados obtidos em relação ao custo;
- Comparar os resultados obtidos em relação a execução;
- Apresentar as normas para projeto em PEX.

1.3 METODOLOGIA

Para realização do presente trabalho, inicialmente realizou-se um levantamento bibliográfico e uma pesquisa com o intuito de determinar a relevância do tema. Através de informações, artigos e outros trabalhos científicos, nasceu o desejo de se comparar os benefícios dessa evolução no quesito de transporte de fluidos, o PEX, com outros materiais. Aprofundando-se mais por pesquisas exploratórias, descobriu-se o quão positivo pode ser este estudo de caso, e quanto conhecimento o mesmo pode agregar sobre o tema ainda pouco explorado. Em seguida, já no estudo de caso, será realizado um projeto completo de um edifício residencial em PVC e, para a comparação, o mesmo projeto também será feito em PEX. Serão, então, discutidas as principais vantagens e desvantagens de cada sistema, de seus dimensionamentos e execuções, e a viabilidade econômica dos mesmos. Tendo em mãos estes resultados, os mesmos serão apresentados e analisados.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Com o intuito de melhor compreensão e entendimento do leitor, foi adotada a estruturação dividida em seis capítulos, apresentados como:

O capítulo 1 apresenta a introdução, a justificativa, os objetivos gerais e específicos, a metodologia do trabalho e a sua estrutura;

No capítulo 2 está a revisão bibliográfica onde foram abordados estudos, aplicações e normas técnicas de materiais utilizados para instalações hidro-sanitárias;

O capítulo 3 consiste no estudo para dimensionamento das tubulações, através de métodos e normas para utilização de dois materiais;

No capítulo 4 é realizado o estudo de caso, apresentando a metodologia e a demonstração dos cálculos para o dimensionamento das tubulações; e trata da comparação através do dimensionamento das tubulações e também do custo/benefício dos dois materiais, para análise de qual material pode atender de forma eficaz e eficiente a situação proposta;

Finalizando, o capítulo 5 trata-se das considerações finais, relacionado ao tema abordado e conclusões sobre todo o estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Após a década de 80, mudanças tecnológicas em toda indústria mundial, se apresentaram significativas para o crescimento econômico e social, e, desta maneira, a indústria de engenharia começa a buscar novos processos de produção, buscando assim atender ao seu cliente, que com o crescimento tecnológico cada vez mais acelerado não buscavam mais apenas economia em seus produtos adquiridos, mas procuravam também que o mesmo atendesse à durabilidade e a qualidade, bem como construções cada vez maiores (SÁ, 2012).

Desta maneira, quando se pensa em transporte de fluidos, vários pontos se vem à cabeça. O custo desta etapa em um empreendimento, sua execução, as possíveis falhas, os profissionais capacitados e os materiais a serem utilizados são alguns deles. Com a gama de produtos apresentados pelo mercado, são necessárias avaliações e comparações quanto a custo/benefício de cada item. Estudos recentes mostram o quanto o grafeno e o super-pvc podem ser positivos para esta área, mas ainda há muito para ser levado em consideração, a começar pelo seu elevado custo, desta forma esses materiais ainda se apresentam pouco difundidos no mercado brasileiro enquanto alguns mais conhecidos e utilizados como o PVC para instalações hidráulicas e de esgoto, são mais procurados e utilizados em construções (JORGE, 2013).

Se tratando de instalações hidráulicas prediais, diversos fatores são levados em consideração para o dimensionamento do seu sistema e a escolha do material; este deve oferecer de forma contínua água aos usuários da edificação, de modo que interrupções ou problemas na rede pública não interfiram no abastecimento do mesmo. Vale ressaltar a importância na utilização de materiais adequados, onde este sistema deve obedecer valores de velocidade e pressão, para o seu bom funcionamento. Existem no mercado diversos materiais para instalações hidráulicas, porém deve ser levado em consideração o seu custo/benefício, de forma que a qualidade oferecida no uso do material, quanto durante a sua construção e também em suas futuras manutenções, são de extrema importância na escolha do material (MOREIRA, 2010).

Quando levado em consideração instalações hidro-sanitárias, para utilização de determinado material, é de extrema necessidade que o mesmo atenda as especificações determinadas no dimensionamento do sistema, como diâmetro, pressão e temperatura. Os materiais apresentados a seguir são os mais utilizados neste ramo da construção civil, para instalações de água fria e quente, esgoto e gás; cada um desenvolvido com intuito de melhorar a qualidade das instalações e tornar o método de construção fácil e eficaz, buscando assim a

comodidade do usuário e a qualidade de toda a instalação, evitando futuras manutenções em seu sistema, que podem comprometer toda a sua construção (BRANDÃO, 2010).

2.1 POLICLORETO DE VINILA - PVC

O policloreto de vinila (PVC) é atualmente o material mais utilizado em instalações hidráulicas; se mostrou durante anos um material resistente, prático e de fácil instalação, sendo possível encontrar com facilidade profissionais no mercado de trabalho. Com o passar do tempo, surgiu a necessidade do uso de água quente, construções cada vez maiores com cada vez mais perda de carga ao longo do percurso, a preocupação com o meio ambiente cada vez mais acentuada e a frequente preocupação com os gastos e desperdícios de material. Mesmo com o surgimento de novas tecnologias, o PVC ainda se apresenta dominante para alguns fins, como efluentes residenciais e grandes diâmetros para transporte de água fria (SÁ, 2012).

O Policloreto de Vinila é o segundo material termoplástico mais consumido no mundo, e apesar de alguns países terem um baixo consumo, existe um grande potencial para o crescimento. Em parte, esse grande uso deve-se a ser um material termoplástico, ou seja, completamente reciclável, e pode ser transformado ou “moldado” in loco de acordo com a necessidade. Devido à sua versatilidade, o PVC pode produzir um grande número de produtos finais, com características variadas. De tubos mais rígidos a mangueiras mais flexíveis, com cores, aparências e texturas variadas, este material consegue se adaptar à diversos usos desde a construção civil a embalagens e itens médico-hospitalares (Quadro 1) (BRANDÃO, 2010).

Quadro 1 - Uso do PVC

SETORES	PRODUTOS
Construção Civil	Tubos, conexões, conduítes, fios e cabos, forros, perfil de janelas, mangueiras de jardim, tapetes de banheiro, pisos, juntas de dilatação, entre outros;
Área médica/hospitalar	Cateteres, conectores, bolsas de sangue e soro, laminados flexíveis para acondicionamento de sangue e plasma;
Indústrias no geral	Perfis rígidos, mangueiras com e sem alma rígida, botas de segurança, luvas, capacetes, e etc.;
Indústria de alimentos	Filmes esticáveis, frascos, etc.;
Indústria de automobilística	Mangueiras, fiação elétrica, frisos laterais;
Indústria de calçados	Solados, sandálias e chinelos;
Indústria de brinquedos	Brinquedos diversos.

Fonte: BRANDÃO, 2010, Adaptado.

Por ser muito estável quimicamente, o PVC aceita trabalhar bem com elementos ácidos e básicos, além de não ser inflamável, o que permite seu uso para passagens de cabos elétricos, fornecendo proteção aos mesmos; além de ser muito leve e de possuir boa resistência. Essa inércia química garante também potabilidade as águas que são transportadas por ele, e ótima estanqueidade em contato com solos contaminados ou no transporte de efluentes residenciais, impedindo contaminação de lençóis freáticos (LIMA, 2010).

O PVC 6,3 PN 750 kPa deve ser fabricado para suportar pressões de até 75 mca. Podem ser fabricados para uso de duas formas: roscáveis ou soldáveis. Para usos definitivos, é mais comum a utilização de peças soldáveis (figura 1); já em instalações provisórias, o uso de conexões e tubos roscáveis (figura 2) é maior, visto sua praticidade para trocas e manutenções e sua possibilidade de reutilização após a retirada, muito comum em canteiros de obras (SOUZA, 2011).

Figura 1 - Tubo soldável PVC



Fonte: TIGRE, 2019.

Figura 2 - Tubo roscável PVC



Fonte: TIGRE, 2019.

Devido a sua versatilidade, o seu fácil manuseio, e à não necessidade de mão de obra especializada o mesmo se apresenta adequado para utilização em sistemas prediais de esgoto. Por serem comercializados em grandes diâmetros, é pertinente o uso do PVC em sistemas que necessitam de tubulações com elevadas dimensões, como ligações entre redes de águas pluviais até a rede de descarga pública e prumadas de grandes edificações; e por possuir ainda pequenos diâmetros, usos como rede de irrigação de solos, ligação de ramais à sub ramais se tornam bem atendidos por ele. Comercializados em barras de 3 e 6 metros, o PVC é de fácil manuseio por

ser leve e pode ser usado em meios residenciais, comerciais e industriais, tanto para água fria quanto para efluentes. Seus diâmetros variam de 20mm a 200mm e a vida útil dos tubos é de até 50 anos. Podem ser soldados a frio e não requerem equipamentos especiais nem mão de obra especializada, apenas capacitada, visto que a oferta de mão de obra para este material é abundante (TIGRE, 2019).

O dimensionamento das tubulações é de fácil acesso, visto a quantidade de softwares e informações e catálogos já disponíveis. Quanto às instalações, devido ao peso do fluido durante o seu escoamento, parâmetros como perda de carga e rugosidade do material devem ser levados em consideração para o dimensionamento do sistema. A NBR 5626 (ABNT, 1998) dispõe de tabelas para esses cálculos, que convertem as perdas de carga localizadas em peças e conexões em pesos e comprimentos virtuais (Tabelas 1 e 2). Estes são somados ao comprimento real do tubo sem estas peças e o resultado é utilizado no cálculo dos diâmetros ideais para uso, que será melhor entendido no dimensionamento destas redes.

Os processos executivos de instalações em PVC soldável ou roscável são bastante conhecidos no meio da construção civil, e maior parte das grandes fabricantes disponibilizam estes procedimentos. Cita-se na figura 3 o modelo de execução fornecido pela Tigre em seu catálogo predial de 2019 para o tipo de tubo soldável.

Tabela 1 – Comprimentos equivalentes de peças PVC

Diâmetro nominal (DN)	Tipo de conexão					
	Cotovelo 90°	Cotovelo 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tê passagem direta	Tê passagem lateral
15	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3
20	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4
25	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1
32	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6
40	3,2	1,0	1,2	0,6	2,2	7,3
50	3,4	1,3	1,3	0,7	2,3	7,6
65	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8
80	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0
100	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,3
125	4,9	2,4	1,9	1,1	3,3	10,0
150	5,4	2,6	2,1	1,2	3,8	11,1

Fonte: NBR 5626 (ABNT, 1998), Adaptado.

Tabela 2 – Pesos relativos nos pontos de utilização

Aparelho Sanitário		Peça de utilização	Vazão de projeto L/s	Peso relativo
Bacia sanitária		Caixa de descarga	0,15	0,3
		Válvula de descarga	1,7	32
Banheira		Misturador (água fria)	0,3	1
Bebedouro		Registro de pressão	0,1	0,1
Bidê		Misturador (água fria)	0,1	0,1
Chuveiro ou ducha		Misturador (água fria)	0,2	0,4
Chuveiro Elétrico		Registro de pressão	0,1	0,1
Lavadora de pratos ou de roupas		Registro de pressão	0,3	1
Lavatório		Torneira ou misturador (água fria)	0,15	0,3
Mictório Cerâmico	Com sifão Integrado	Válvula de descarga	0,5	2,8
	Sem sifão Integrado	Caixa de descarga, registro de pressão ou válvula de descarga para mictório	0,15	0,3
Mictório tipo calha		Caixa de descarga ou registro de pressão	0,15/m de calha	0,3
Pia		Torneira ou misturador (água fria)	0,25	0,7
		Torneira elétrica	0,1	0,1
Tanque		Torneira	0,25	0,7
Torneira de jardim ou lavagem em geral		Torneira	0,2	0,4

Fonte: NBR 5626 (ABNT, 1998), Adaptado.

Figura 3 – Processo de solda do PVC soldável



a) Lixar a superfície do tubo a ser soldada



b) Limpar a superfície lixada



c) Distribuir sem excesso o adesivo na área lixada



d) Encaixar as extremidades a serem soldadas

Fonte: TIGRE, 2019.

2.1.1 Normatização

O Policloreto de Vinila se encaixa em diversas normas técnicas, devido à sua vasta gama de usos. Podem ser citadas: NBR 5626 (ABNT, 1998): Instalação predial de água fria; NBR 5648 (ABNT, 2010): Sistemas prediais de água fria – Tubos e conexões de PVC 6,3, PN 750 kPa com junta soldável – Requisitos; NBR 5580 (ABNT, 2015): Dimensões de tubos de PVC rígido. Levando em consideração essas normatizações, os tubos de PVC 6,3, PN 750 kPa devem suportar à pressão de trabalho máxima de 750kPa, temperatura de trabalho mínima de 45 °C, bem como não permitir a passagem de metais para a água por ele conduzida. Ainda na fase de produção, estes devem passar pelo teste de impacto, pelo teste de pressurização, pelo teste do teor de cinzas, e pelo teste de suporte ao calor, todos descritos e especificados pela NBR 5648 (ABNT, 2010), para aprovação da comercialização e posterior uso em edificações.

2.2 POLIPROPILENO COPOLÍMERO RANDOM (PPR)

O Polipropileno Copolímero Random (PPR) foi desenvolvido na Alemanha, com o intuito de solucionar problemas em instalações de água quente, onde ocorriam muita perda de calor, corrosão nas tubulações e também desperdícios. Este material é uma resina poliefínica, e, por ser um polímero, sua principal composição é o Petróleo. Um dos principais fatores que colaboram na sua utilização é ser ecologicamente correto, pois como suas peças são soldadas por termofusão o desperdício de materiais é pequeno. O PPR é um tipo de material utilizado em instalações hidráulicas nas quais há a necessidade de se trabalhar com elevadas temperaturas. Seus tubos e conexões são unidos por termofusão; deste modo o mesmo se torna um único material quando soldado à 260°C. Com a dispensa de isolamento térmico e com baixo risco de vazamentos, o material se apresenta muito viável para redes de água quente. Para sua montagem e manutenção, são necessários mão de obra qualificada e equipamentos específicos, como um termofusor, que aquece a ponta do tubo e da conexão para que a emenda seja realizada. Desta maneira, a sua utilização pode trazer benefícios ao sistema, por ser um método construtivo limpo, sem desperdícios de conexões, e, quando necessárias as manutenções, basta o aquecimento do material para desfazer a união das peças (BRANDÃO, 2010).

Existem no mercado três classes de Tubos de PPR: PN12, PN20 e PN25, o que difere destes três tipos são a resistência em relação a pressões e a temperatura. Estes produtos possuem diâmetros no mercado que variam de 20mm à 110mm: PN 25: 70°C a 80 m.c.a., suportando picos de 95°C a 80 m.c.a.; PN 20: 70°C a 60 m.c.a., suportando picos de 95°C a 60 m.c.a.; PN

12 (apenas para uso em instalações de água fria): até 100 m.c.a., para temperaturas médias de 27°C (AMANCO, 2019).

Figura 4 - Tubos e conexões de PPR



Fonte: AMANCO, 2019.

O material (figura 4) é um importante avanço tecnológico em instalações hidráulicas, já que o mesmo pode ser soldado por termofusão. Esse fator faz com que o PPR supere outros materiais em relação aos vazamentos que são praticamente nulos. O mesmo se apresenta bastante resistente a corrosão por ser um polímero e possui ótimo isolamento térmico e acústico. Como também poder ser utilizado em instalações de água fria, houve um grande crescimento e expansão em países europeus que possuem climas temperados, onde no inverno as temperaturas podem chegar a -5°C (BRANDÃO, 2010).

Em relação ao seu sistema de conexão com peças, não existe a utilização de roscas, colas ou anéis de vedação, por esse motivo a eficiência do material em relação à vazamentos é elevada, tornando-o eficaz para instalações hidráulicas de água fria e quente. Sendo um material soldado, seu sistema é ecologicamente correto, sendo limpo e rápido, resultando em uma maior precisão da sua instalação, menor tempo e maior custo-benefício (POSSAMAI *et al*, 2012).

De acordo com o Catálogo da Amanco de 2019, este material possui como maiores vantagens a redução de ruídos no sistema, alta resistência química, tornando-o um material bastante resistente a corrosão, resistente a picos de temperatura, sendo compatível com os principais tipos de aquecedores prediais; por ser um material atóxico possui maior segurança

para os usuários. Em relação ao seu custo-benefício, é um material de rápida instalação e pouco desperdício; possui bastante flexibilidade, e como pode ser utilizado em sistemas de água quente e fria, permite a otimização do projeto hidráulico.

A execução e instalação deste material são práticas e rápidas, mas ainda é necessário que a mão de obra seja especializada, e de equipamentos para sua instalação, e, por este motivo, ainda é pouco conhecido, e pouco utilizado. Muito se compara a seu custo no início da obra, por ser um material mais resistente à fatores externos. O seu valor de mercado supera os mais utilizados e comuns como o Policloreto de Vinila (PVC) em até 45% ; porém quando se compara ao tipo de sistema, seu tempo de execução, ao desperdícios do material e também ao seu tempo de vida útil e a sua manutenção, o PPR apresenta melhor custo benefício que o PVC (POSSAMAI *et al*, 2012).

O processo executivo a seguir, foi retirado do Catálogo da Amanco de 2019.

- a) Limpe o Termofusor antes de iniciar a solda;
- b) Corte os tubos com a tesoura específica e retire rebarbas;
- c) Limpe a ponta do tubo e da conexão que serão soldadas;
- d) Faça a marcação do tubo com a profundidade da conexão;
- e) Após o Termofusor atingir 260°C insira o tubo e a conexão nos bocais;
- f) A conexão e o tubo devem ser colocados corretamente;
- g) Retire a conexão e o tubo do termofusor após atingir o tempo necessário de aquecimento conforme a tabela 3;
- h) Após a retirada introduza a o tubo na conexão seguindo o intervalo para acoplamento, conforme a tabela 3.

Como apresentado no processo executivo e na figura 5 a seguir, para a utilização deste material em sistemas de água quente, levando em consideração o custo da mão de obra especializada e o prazo de execução deste, outros materiais se apresentam como propostas alternativas de eficiência em qualidade e prazo, como o PEX, podendo ser utilizado para água fria e quente (BRANDÃO, 2010).

Figura 5 – Processo de solda do PPR**a) Limpeza do termofusor****b) Corte do Tubo****c) Limpeza dos tubos e conexões****d) Marcação do tubo****e) Colocação da peça no termofusor****f) Aquecimento do termofusor****g) Retirada da peça do termofusor****h) União das peças aquecidas**

Fonte: AMANCO, 2019.

Desta forma, por ser um material com suas conexões termo fundidas, para seus diâmetros comercializados são necessários determinados tempos de aquecimento, intervalo de acoplamento e também tempo de resfriamento, conforme tabela 3.

Tabela 3 - Tempo de termofusão para Tubos de PPR PN12, PN20 E PN25

Diâmetro (mm)	Tempo de aquecimento (segundos)	Intervalo para acoplamento (segundos)	Tempo de resfriamento (minutos)
20	5	4	2
25	7	4	2
32	8	6	4
40	12	6	4
50	18	6	4
63	24	8	6
75	30	8	6
90	40	8	6
110	50	10	8

Fonte: AMANCO, 2019, Adaptado.

Como apresentado no processo executivo anteriormente, a execução do PPR é de fácil instalação, porém devido ao seu tipo de solda são necessários determinados equipamentos para a utilização do mesmo. Conforme mostrado na figura 5, o processo precisa de mão de obra especializada para que possa ser executado de maneira correta, onde não haja o desperdício de peças e a má execução, podendo ocasionar problemas futuros na instalação. O material é de bastante eficácia em sistemas hidráulicos prediais, por ser flexível consegue fazer alguns desvios sem nenhuma conexão, diferente do PVC. Também é compatível com os principais tipos de aquecedores prediais e, com a instalação executada de maneira rigorosa, terão menos problemas com manutenção do sistema (BRANDÃO, 2010).

2.2.1 Normatização

Os tubos e conexões Amanco PPR foram desenvolvidos de acordo com a norma NBR 15813 (ABNT, 2010) – Sistemas de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria – Polipropileno copolímero Random (PPR), atendendo às especificações exigidas pela NBR 7198 (ABNT, 1993) – Projeto e execução de instalações prediais de água quente. Porém, existem as normas internacionais aplicadas para o PPR, que são: DIN 8078 - (Especificações e métodos de ensaio), DIN 8077 (Dimensional) e a norma europeia ISO 15874

- Sistemas de tubulações de plástico para instalações de água quente e fria - Polipropileno (PP) (Amanco, 2019).

2.3 POLICLORETO DE VINILA CLORADO (CPVC)

O Policloreto de Vinila Clorado CPVC foi desenvolvido para utilização em instalações de água quente. Com o intuito de melhores desempenhos quanto à qualidade e ao prazo, este material vem se sobressaindo no mercado em relação a instalações de cobre, por ser um material isolante, que não sofre ataques de corrosão pela água e com métodos construtivos similares ao PVC Rígido. Um dos fatores que fazem do mesmo acessível para construções que envolvem instalações de água quente, é a sua facilidade para instalação, pois suas peças são soldadas a frio e não exigem a necessidade de mão de obra especializada. O mesmo consegue suportar pressões de até 60 m.c.a, e é utilizado em sistemas que necessitam de um material que possa suportar elevadas temperaturas, pois consegue alcançar conduções de até 80°C (GUGEL, 2005).

O CPVC é um material bastante semelhante ao PVC, em sua forma de obtenção há um aumento na concentração de cloro em relação ao PVC. A sua utilização iniciou em 1960, e seu desenvolvimento veio devido à necessidade de termoplásticos que pudessem ser utilizados para sistemas de água fria e de água quente. Desta maneira, com intuito de desenvolver materiais de processos executivos simples e que atendem à necessidade conforme citado acima, hoje este material é bastante utilizado nas Américas e também na Europa (BRANDÃO, 2010).

Em relação ao custo-benefício, este material se apresenta bastante vantajoso por não precisar de mão de obra especializada como outros. A sua forma de junta entre as conexões é soldada à frio, de maneira simples e rápida; assim a produtividade aumenta e o seu menor custo apresenta-se vantajoso. Quando aplicado em obras residenciais, o CPVC apresenta semelhanças técnicas de instalações em relação ao PVC, e devido ao seu custo abaixo dos demais concorrentes, ele atualmente é o material mais utilizado; além de ter um baixo coeficiente de dilatação, o que o faz um dos materiais hidráulicos mais utilizados em nosso país. O CPVC se apresenta como um material vantajoso quando utilizado em instalações hidráulicas prediais, que necessitem de tubulações de fácil execução e que suportam pressões e temperaturas elevadas. Se assemelhando ao processo executivo do PVC, este material possui maior qualidade quanto a acabamentos e também em relação a futuras manutenções que possam se apresentar necessária. Deste modo após o início da sua utilização em 1960, este cresce a cada dia mais no mercado (GUGEL, 2005).

Figura 6 - Tubos e conexões de CPVC

Fonte: AMANCO, 2019.

Criado com o intuito de ampliar a utilização de termoplásticos em sistema de água fria e quente, buscando também manter a forma simples e rápida da instalação do PVC, o CPVC (figura 6) cresce no mercado de obras residenciais, adotando métodos construtivos que viabilizam o custo-benefício de sua obra; porém o mesmo apresenta falhas quanto a seu tempo de vida útil, como todos materiais hidráulicos utilizados em obras civis, quando instalados de forma incorreta, ele pode apresentar diversos problemas futuros, como vazamentos em seu sistema, podendo prejudicar e comprometer toda sua construção. Desta maneira, quando submetido a pesquisas de preços no início da obra e também no seu pós-obra, este material pode se tornar mais caro para utilização no sistema hidráulico (BRANDÃO, 2010).

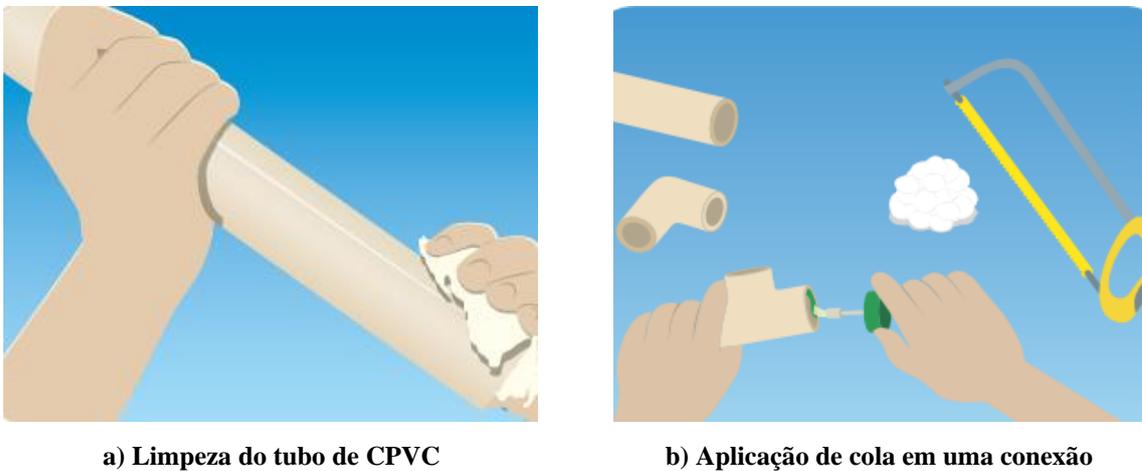
Fabricado e vendido pela Amanco o Super CPVC que possui como comprimento comercial barras de 3 metros, tem como principais vantagens a sua boa resistência e durabilidade relacionado à corrosão na condução de água quente. Não é aconselhável para condução de produtos químicos, porém apresenta resistência à cloro, flúor, ferro entre outras substâncias e possui bom isolamento térmico. A união entre suas peças (conexões e tubos) é por meio de solda a frio, que acontece de forma eficaz e rápida, sem a necessidade de mão de obra especializada. Como seu custo é inferior em relação a outros materiais, o mesmo é aconselhável para aplicação em construções civis (Amanco, 2019).

Como discutido acima, devido ao processo de fabricação e instalação do CPVC ser similar ao PVC, o processo executivo deste, além de ser prático e seguro, não exige mão de obra especializada. Sua instalação consiste em união a partir de solda a frio, sendo utilizado cola adesiva para fixação e vedação de suas conexões e tubos. Porém mesmo apresentando

processos parecidos com o PVC, este material exige diferentes tipos de ferramentas e insumos, como por exemplo a sua cola adesiva utilizada para fixar a união entre conexões e tubos deve ser específica para este material, pois ela deve ser resistente a elevadas temperaturas e pressões, de forma que o seu sistema possa estar seguro e livre de problemas futuros, ocorridos devido a falta de utilização de produtos exigidos ou aconselhados pelo seu fabricante (BRANDÃO, 2010).

Na figura 7 , encontra-se o processo executivo demonstrado pela fabricante do CPVC Amanco, de como deve ser realizada a soldagem a frio de conexões e tubos:

Figura 7 – Processo de execução do CPVC



a) Limpeza do tubo de CPVC

b) Aplicação de cola em uma conexão

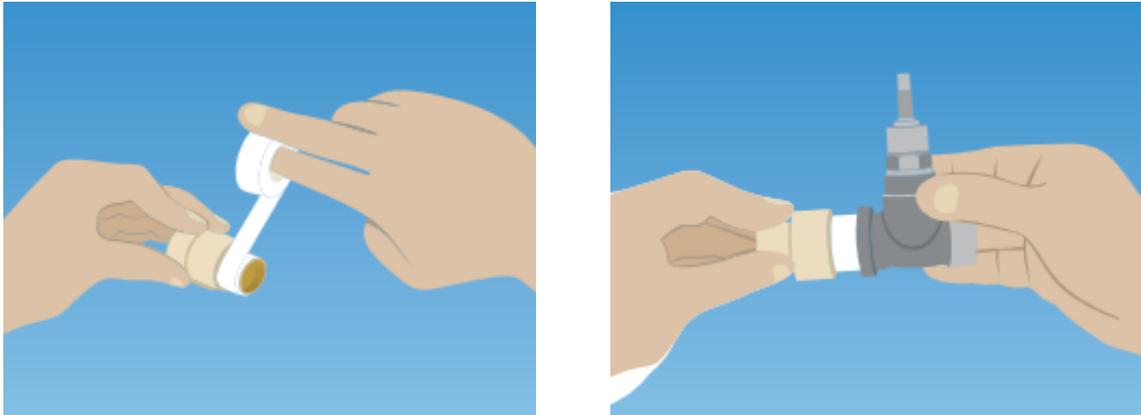
Fonte: AMANCO, 2019.

Conforme apresentado na figura 7 , como primeiro passo para o início da união entre conexão e tubos de CPVC, para que possa ser feito desvios ou pontos específicos que necessitem de conexões, é de extrema importância a limpeza da ponta de sua tubulação onde irá o adesivo utilizado para unir e vedar a conexão entre as peças, para que o mesmo possa ser aplicado em uma superfície lisa onde ele entra em contato com o tubo e não existam impurezas que possam prejudicar a união. Como demonstrado no passo (b) da figura 04, após realizado o corte desejado da sua tubulação e feita corretamente a limpeza, é feita a aplicação do adesivo apropriado para esse tipo de material, é necessária a aplicação na ponta do tubo e na conexão, depois é encaixado a ponta do tubo com a conexão e pressionada dentro de 30 segundos. Após isso, retirar excesso e esperar a secagem total da solda (Amanco, 2019).

Em alguns pontos específicos do seu sistema hidráulico, surge a necessidade de conexões de tipos que são utilizadas para bloqueio da condução de água, entre outras conexões. Em materiais do tipo CPVC, estas conexões exigem o uso de peças metálicas nas uniões, desta

forma do tipo de solda roscável. Quando existe a necessidade deste tipo de união entre essas peças, é necessária a aplicação de uma Veda Rosca para garantir a segurança quanto a vazamentos do sistema, conforme demonstrado a execução na figura abaixo:

Figura 8 – Execução de conexões do CPVC



a) Aplicação do veda rosca na conexão

b) União por rosca entre peças

Fonte: AMANCO, 2019.

Antes de iniciar a união entre as peças é necessária a aplicação do Veda Rosca, em sentido horário e de maneira correta, observando se o elemento de vedação está apertado. Desta maneira, após aplicação do Veda Rosca de forma manual, é necessário o aperto manual entre as conexões, garantindo que a aplicação foi realizada de maneira rigorosa para que o sistema tenha segurança e não necessite de futuras manutenções quanto a vazamentos (Amanco, 2019).

Desta forma, quando o sistema é realizado com padrões rigorosos de qualidade, e feito por profissionais qualificados, o CPVC pode se tornar um material eficiente para determinadas instalações em construções civis. Entretanto vale ressaltar a importância de sempre ser observado e realizado estudos de viabilidade de matérias, de forma que seja observado parâmetros como manutenções futuras e garantias de segurança, onde alguns materiais se apresentem bastante interessantes, para serem utilizados em sistemas de grande porte, tendo como principal fator o custo-benefício equivalente a possíveis gastos futuros, que não são levados em conta em orçamentos (BRANDÃO, 2010).

2.3.1 Normatização

O CPVC foi projetado para atender diversas situações que uma construção civil possa apresentar durante sua instalação. Foi desenvolvido pela necessidade de condutores hidráulicos

que conseguissem suportar elevadas pressões e temperaturas, para que atendessem a diversos sistemas. Desta maneira, o mesmo suporta pressões que alcançam até 60 m.c.a e temperaturas de 80° C, sendo assim atende e está de acordo com normas regulamentares brasileiras.

Sendo desenvolvido por sistemas semelhantes ao comum PVC, e podendo ser utilizado quanto em instalações prediais e residenciais de água fria e quente, este atende à NBR 15884 (ABNT, 2011) – Sistemas de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria em policloreto de vinila clorado (CPVC) e também NBR 7198 (ABNT, 1993) – Projeto e execução de instalações prediais de água quente. Fundamentadas com o intuito de garantir a eficácia e segurança de sistemas hidráulicos.

2.4 POLIETILENO RETICULADO - PEX

O PEX é a evolução mais atual no quesito transporte de fluidos; de água quente ou fria, até gás sob pressões elevadas. O polietileno reticulado (PEX) é flexível e capaz de fazer curvas com grandes angulações, evitando uso de conexões e, conseqüentemente, de alguns de seus pontos negativos, como vazamentos, trincas e perda de carga. Este tubo é capaz de proporcionar redução de gastos à longo prazo, principalmente quando se trata de construtoras com grande fluxo de obras de grande porte, por possuir um baixo índice de ocorrências pós entrega de obras. Apesar de ainda possuir pouca mão de obra especializada, a crescente busca por seu uso em instalações de gás e água força o mercado a se adequar. Já é possível encontrar escolas de especialização apenas para instalação e manutenção do PEX, bem como uma variada gama de fabricantes do produto. Este material consegue reunir as melhores características presentes nos já citados materiais: PVC, CPVC e PPR (Amanco, 2019).

O PEX teve sua criação e primeiro desenvolvimento na Europa em meados de 1970. Alguns anos depois, em 1984, o material começou a ter seu uso difundido na América do norte para transporte de água quente em países frios. Mesmo tendo outros concorrentes também feitos em plástico, o PEX se destaca por seu custo-benefício, tendo uma composição polimérica mais durável e segura, principalmente no aquecimento de pisos (BRANDÃO, 2010).

O PEX se divide em dois tipos: o monocamada e o multicamada. O monocamada é amplamente utilizado para transporte de água fria e quente, já o multicamada é utilizado no transporte de água quente, gás natural e gás liquefeito de petróleo. A versão monocamada do PEX pode ser encontrada comercialmente em diâmetros de 16, 20, 25, e 32 mm e podem suportar uma pressão máxima de 60 mca a 80 °C (tabela 4). A versão multicamada (figura 9) do PEX possui uma camada de alumínio no interior do tubo (figura 10). Essa característica faz

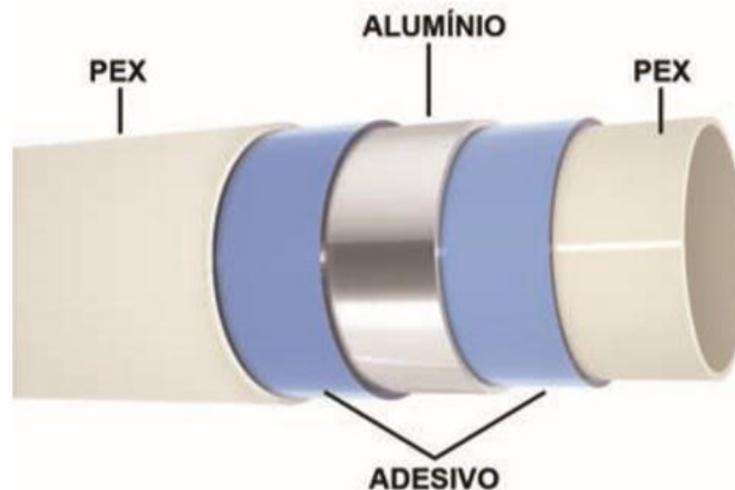
com que maiores pressões e maiores temperaturas sejam suportadas em relação ao monocamada, elevando sua pressão de trabalho para até 100 mca de pressão a 95 °C, podendo suportar picos de até 110 °C (tabela 5). Existem estudos ainda não concluídos sobre o uso deste material também em redes frigorígenas de ar, como ar condicionados residenciais e industriais e para ar quente e frio de veículos frigoríficos, visto que a perda de calor para o meio tem se apresentado menor dos que os materiais já utilizados e por suportar grandes pressões, como já mencionado anteriormente. Os diâmetros e o comprimento das bobinas disponíveis comercialmente são os mesmos do monocamada: 16, 20, 25, e 32 mm (TIGRE, 2019).

Tabela 4 - Características do PEX monocamada

Propriedade do tubo	Valor	Unidade
Coeficiente de dilatação	1,4x10 ⁻⁴	m/m°C
Temperatura de serviço	80	°C
Temperatura de pico	95	°C
Pressão de serviço	60	mca
Rugosidade	0,004	
Condutividade térmica	0,35	w/m°C
Densidade	938	kg/m ³

Fonte: TIGRE, 2019, Adaptado.

Figura 9 - PEX multicamadas



Fonte: TIGRE, 2019.

Um grande benefício do PEX é sua forma de comercialização, em bobinas de 50 e 100 metros, conforme figura 10. Isso facilita muito seu transporte, armazenagem e instalação em

pequenos e, principalmente, grandes empreendimentos, sendo possível utilizar a instalação de ponto a ponto, reduzindo o número de conexões e de possíveis vazamentos, bem como diminuindo coeficientes negativos no cálculo do dimensionamento. As conexões utilizadas nas versões monocamada e multicamada do PEX são as mesmas, e são compostas por um material denominado Polissulfona (PSU), que oferece um ótimo desempenho hidráulico e altas resistências à temperatura e pressão. Essas peças são ligadas aos tubos através de crimpagem e, uma vez ligados, só é possível desfazer o mesmo cortando o tubo e realizando uma nova ligação, o que garante a estanqueidade. (TIGRE, 2019).

Figura 10 – Bobina de PEX



Fonte: OS AUTORES, 2019.

A fabricante Tigre, cita ainda como principais benefícios do PEX: rápida e fácil instalação do material; a possibilidade do uso de menores bitolas por possuir paredes internas lisas e de bom desempenho hidráulico; boa durabilidade dos tubos e conexões, por não sofrerem corrosão. Se utilizado internamente à paredes de drywall, a manutenção dos tubos se torna ainda mais fácil. O PEX é instalado de duas maneiras: por crimpagem e por rosca. A definição de qual usar se assemelha aos anteriores: crimpagem visa atender instalações permanentes e rosca à instalações provisórias, como canteiros de obras por exemplo, por permitir o reaproveitamento e fácil troca dos componentes quando necessário.

A manutenção em instalações hidro-sanitárias prediais é um grande fator na escolha de qual material utilizar, danos podem ser causados ao usuário quando escolhido de forma inadequada o material, de maneira que patologias como infiltrações por vazamentos e danos à estrutura podem ser ocasionados. Desta forma com a qualidade oferecida pelo PEX em relação a manutenções, sendo de fácil acesso e manuseio, se necessário, este material se apresenta

adepto para diversos tipos de construções, sejam elas residenciais, hospitalares, ou industriais (BRANDÃO, 2010).

Como apresentado na (figura 10) é possível destacar a camada de alumínio presente na tubulação, de maneira que este material utilizado em elevadas temperaturas e pressões se apresente com ótima eficiência comparado ao PEX monocamada, de maneira que o PEX multicamadas consegue alcançar temperaturas com picos de até 110°C e pressões de 100 mca, conforme demonstrado na (tabela 5).

Tabela 5 - Características do PEX multicamadas

Propriedade do tubo	Valor	Unidade
Coefficiente de dilatação	2,3x10-5	m/m°C
Temperatura de serviço	95	°C
Temperatura de pico	110	°C
Pressão de serviço	100	mca
Rugosidade	0,004	
Condutividade térmica	0,35	w/m°C
Densidade	1470	kg/m ³

Fonte: TIGRE, 2019, Adaptado.

Devido a flexibilidade deste material, para execução de curvas e conexões, de forma que curvas de até 90° podem ser realizadas pela própria tubulação, vale ressaltar a eficácia deste sistema comparado ao PVC Rígido, de maneira que devido ao menor uso de conexões a velocidade do fluido se apresenta mais rápida, e assim o sistema que utiliza PEX possui uma menor perda de carga comparado ao PVC, onde a perda de carga é a energia perdida pelo fluido quando esta escoando. Conforme apresentado na (tabela 5) o PEX multicamadas apresenta-se como material com grande relevância em seu uso, conseguido alcançar resistência a elevadas temperaturas e pressões, que o próprio PVC, não consegue alcançar, levando também em consideração quanto ao número de conexões o PEX se sobressai quando comparado ao PVC (BRANDÃO, 2010).

Por ainda ser pouco conhecido, o fornecimento do PEX é escasso, o que tem mudado ao longo dos últimos anos. Atualmente devido a procura por materias para execução de sistemas que atendam de forma eficiente e eficaz, o aumento na busca por este material cresceu. Assim, com o aumento do número de fornecedores disponíveis, o preço dos tubos e das conexões também diminuíram em comparação com os primeiros anos do produto no país. Grandes

fabricantes como Amanco, Tigre e Astra já possuem catálogos completos para aquisição e dimensionamento de redes hidráulicas residenciais (HIDRO JÁ, 2019).

2.4.1 Normatização

Com intuito de apresentar maior segurança quanto ao sistema, cada material deve atender a normas e especificações dispostas abaixo, com intuito de que este possa apresentar boas condições para seu uso, levando em consideração pressão e temperatura, como principais fatores a serem considerados. A normatização do PEX se divide em três partes: NBR 15939-1 (ABNT, 2011) – Sistema de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria – Polietileno reticulado (PE-X) Parte 1: Requisitos e métodos de ensaio; NBR 15939-2 (ABNT, 2011) – Sistema de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria – Polietileno reticulado (PE-X) Parte 2: Procedimentos para projeto; NBR 15939-3 (ABNT, 2011) – Sistema de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria – Polietileno reticulado (PE-X) Parte 3: Procedimentos para instalação. Existe ainda a norma internacional que regulamenta a fabricação do produto, a ISO 15875. Como requisitos gerais de trabalho, o PEX deve suportar à pressão mínima de 60 m.c.a. e temperatura mínima de 80 °C, bem como preservar a potabilidade da água.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 PREMISSAS PARA O DIMENSIONAMENTO

3.1.1 O projeto

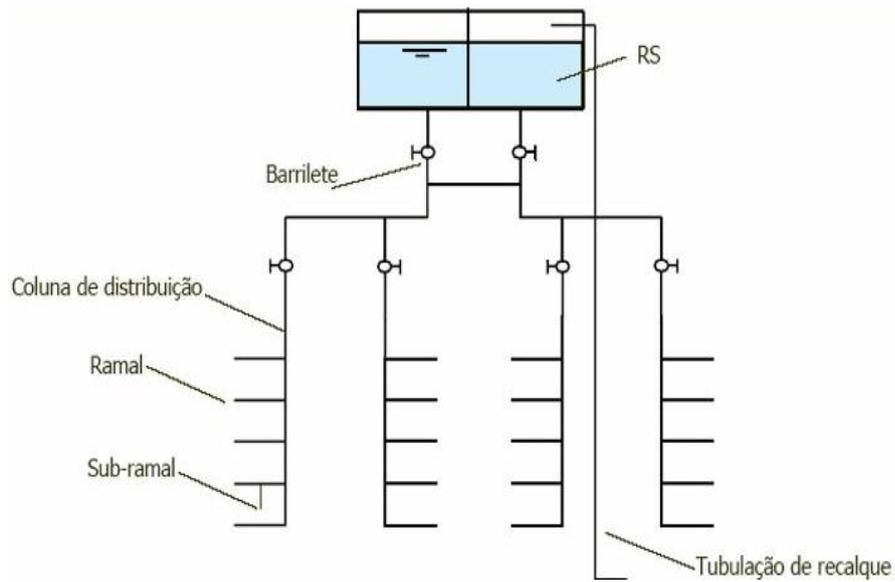
Para as análises que serão realizadas nos próximos capítulos, serão levadas em considerações as premissas básicas deste capítulo. Para isso, serão realizados um projeto de uma planta arquitetônica em PVC rígido comum e a mesma planta em PEX, ambos para abastecimento de água fria. Como já explicado anteriormente, o PEX possui, até a data deste trabalho, um limite de diâmetro de 32 mm; assim sendo, o dimensionamento em PEX terá a presença de tubos em PVC sempre que forem necessários diâmetros superiores a tal medida. As normas utilizadas como parâmetros para o dimensionamento são as já citadas no capítulo anterior, nos tópicos de normatizações dos materiais.

Para o calcular e dimensionar sistemas de abastecimento prediais de água fria em PVC e em PEX, basicamente se considera a pressão inicial (dada pela altura de coluna d'água formada linearmente no sentido vertical da edificação) e a perda dessa pressão ao longo da rede, ambos medidos em m.c.a. Essa perda de pressão não se dá apenas pelo atrito da água com a tubulação e com as peças, mas também pelas turbulências existentes com as mudanças de fluxo, que se dão em registros, tês, joelhos ou curvas; ou no caso do pex, com a própria curvatura da tubulação. De posse dos valores da pressão inicial e das perdas de carga ao longo do transporte do fluido, faz-se a diferença entre aquele e este e verifica-se então se a pressão que chega ao ponto de consumo é suficiente para o uso do equipamento pensado para aquele ponto.

Os dimensionamentos serão feitos a partir de sistemas de abastecimento indiretos sem bombeamento, que consistem que a água passe por um reservatório, normalmente situado na parte mais alta de uma edificação, como a cobertura por exemplo, e depois seja distribuída pela edificação através de pressão gravitacional, ou seja, sem o uso de bombas; diferentemente do sistema direto sem bombeamento, no qual a água vem diretamente da rede de fornecimento público da concessionária e vai aos ramais, sub-ramais e pontos de consumo da instalação (OLIVE; PEREIRA, 2018).

Neste tipo de sistema, a rede de distribuição interna à edificação se divide em: recalque, reservatório(s), barriletes, colunas de distribuição, ramais e sub-ramais que levam ao ponto de consumo final, conforme é mostrado na figura 11.

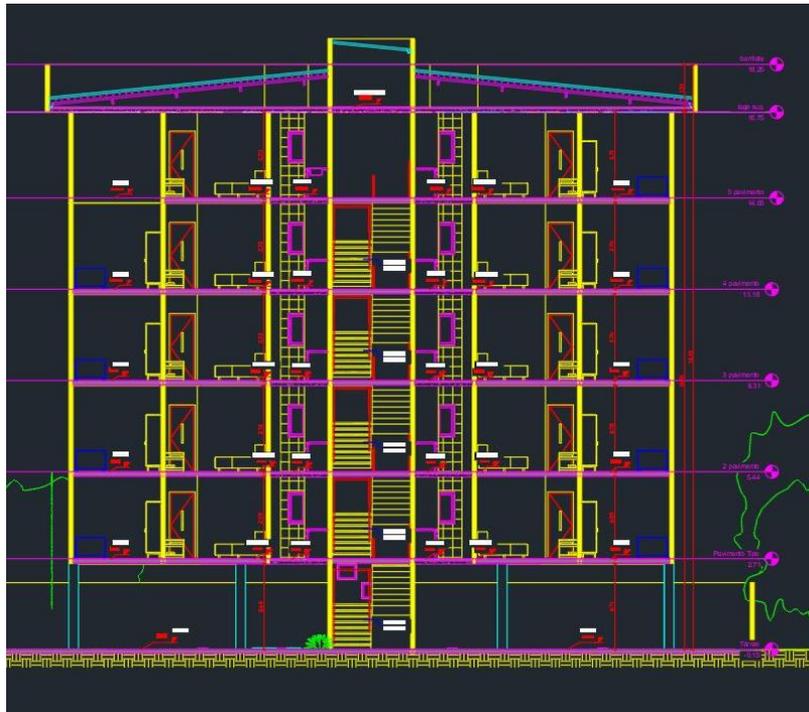
Figura 11 – Elementos de uma instalação predial de água fria



Fonte: OLIVE; PEREIRA, 2018.

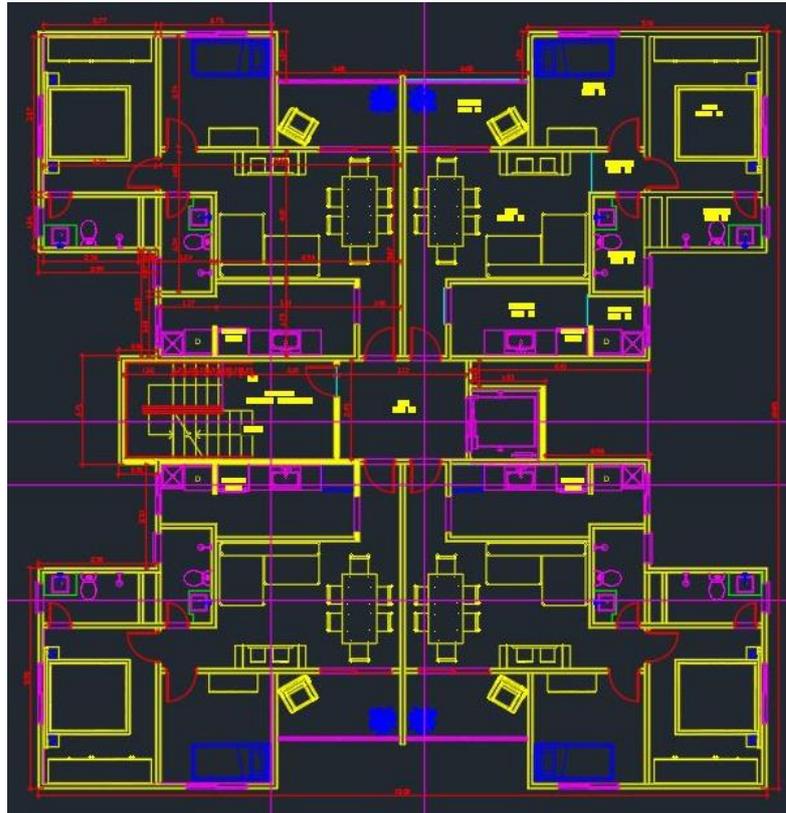
Para a execução deste trabalho, o dimensionamento será feito para uma edificação composta de 5 pavimentos tipo, contendo 4 apartamentos também tipo por pavimento, que totalizará 20 unidades habitacionais, conforme figuras 12 e 13 a seguir.

Figura 12 - Vista em corte da edificação



Fonte: OS AUTORES, 2019.

Figura 13 - Planta baixa do pavimento tipo da edificação



Fonte: OS AUTORES, 2019.

3.1.2 Dados iniciais

Para os cálculos a seguir, muito se determinará regiões denominadas “trechos”. Um trecho é uma região a ser especificada de acordo com cada etapa do dimensionamento e que é analisada isoladamente. De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 1998), após ter em mãos o projeto preliminar das tubulações, o primeiro passo para o dimensionamento é obter a demanda mínima diária dos moradores da edificação. Deve-se fazer uso da equação 1 para tal cálculo:

$$D = P_e \cdot C_d \cdot U \quad (1)$$

Onde:

D é a demanda de água fria diária em litros;

P_e é o número de pessoas por unidade habitacional ou apartamento;

C_d é o consumo diário de água fria por pessoa em litros;

U é a quantidade de apartamentos da edificação.

Os dados de consumo diário de água por morador devem ser conforme a tabela 6, também retirada da NBR 5626:

Tabela 6 – Consumo diário de água

Estimativa de consumo predial diário	
Tipo de construção	Consumo médio (litros/dia)
Alojamentos provisórios	80 por pessoa
Casas populares ou rurais	120 por pessoa
Residências	150 por pessoa
Apartamentos	200 por pessoa
Quartéis	150 por pessoa
Escritórios	50 por pessoa
Creche	50 por pessoa
Oficina de costura	50 por pessoa

Fonte: NBR 5626 (ABNT, 1998), Adaptado.

Figura 14 – Vista em planta do apartamento tipo



Fonte: OS AUTORES, 2019.

Para habitações com 1 dormitório comum e 1 dormitório para empregado(a), conforme o apartamento tipo da figura 14, são 2 pessoas no quarto da suíte e 1 pessoa no quarto do empregado(a), dessa forma são 3 pessoas por apartamento. Com 4 apartamentos por pavimento,

são 12 pessoas por andar, multiplicado por 5 pavimentos totalizam 60 pessoas na edificação NBR 5626 (ABNT, 1998). De posse desses dados, pode-se utilizar a equação 1:

$$D = 3 \cdot 200 \cdot 20 = 12000$$

$$D = 12000$$

Obtém-se a demanda diária de 12000 litros de água. Prevendo-se futuros problemas com abastecimento por parte da concessionária, muito comum no Brasil, calcula-se uma reserva para 2 dias sem abastecimento, que resulta em um total de 24000 litros de água. Ainda sobre esse valor, soma-se mais 20% referente à uma reserva para incêndio, totalizando assim 28800 litros ou 28,8 m³ de água.

De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 1998), o dimensionamento de uma rede hidráulica predial deve ser feito a partir do andar mais inferior em direção ao mais superior, já que valores como perdas de carga, pressão e velocidade se acumulam ao longo do percurso feito pelo fluido. Dessa forma, dimensiona-se primeiro o “pior caso”, que é onde haverá o maior acúmulo destes valores.

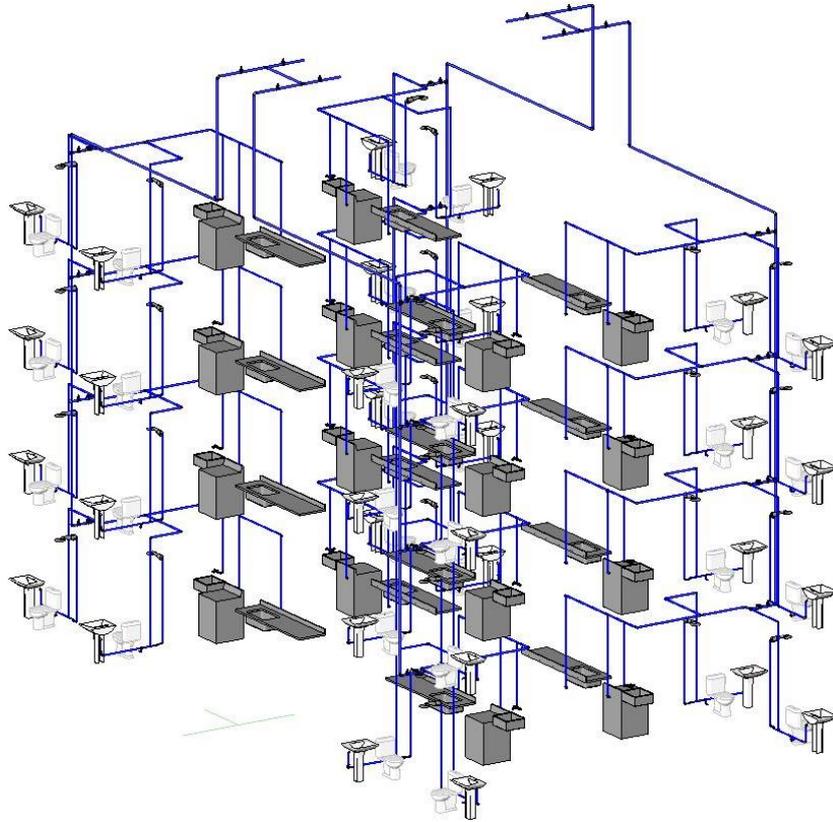
No projeto preliminar, o abastecimento foi dividido em 4 colunas d’água, dessa forma cada uma das colunas alimenta um apartamento por andar. As imagens 15 a 17 mostram sobre a edificação e o projeto preliminar hidráulico feito para o abastecimento de água fria deste prédio.

Figura 15 – Modelo 3D arquitetônico da edificação



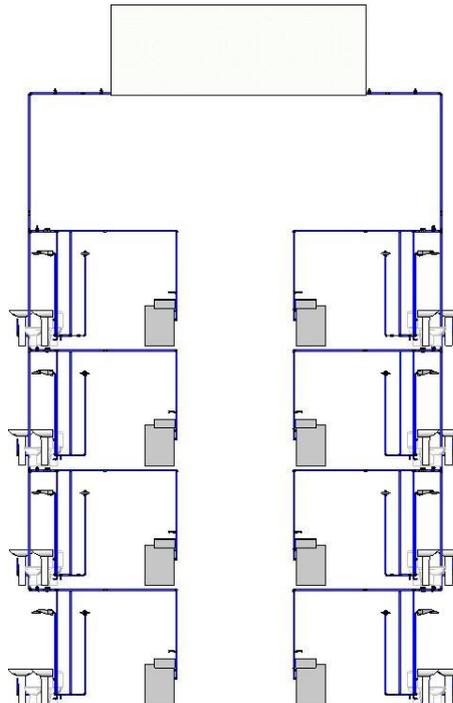
Fonte: OS AUTORES, 2019.

Figura 16 – Modelo 3D hidráulico da edificação



Fonte: OS AUTORES, 2019.

Figura 17 – Vista em corte da instalação hidráulica preliminar



Fonte: OS AUTORES, 2019.

3.1.2.1 Dados preliminares - PVC

De acordo também com a NBR 5626 (ABNT,1998), os dimensionamentos em PVC são efetuados levando-se em consideração pesos virtuais e comprimentos equivalentes para as perdas de cargas nas peças e tubulações. Estes são os mesmos já apresentados neste trabalho nas tabelas 1 e 2. Para o prosseguimento do dimensionamento, o próximo passo é obter a vazão necessária para o abastecimento do ramal analisado através do somatório dos pesos equivalentes dos pontos de utilização deste trecho. Esse cálculo é feito através da equação 2, representada abaixo:

$$Q = 0,3 \sqrt{\sum P} \quad (2)$$

Onde:

Q é a vazão calculada em litros por segundo (l/s);

$\sum P$ é o peso virtual de cada peça ou conexão;

Com o valor da vazão obtido na equação 2 e o somatórios dos pesos, utiliza-se um ábaco denominado “Nomograma” para definição do diâmetro do ramal analisado. Esse ábaco está representado na figura 18 e fornece os diâmetros em milímetros. Para utilizá-lo, faz-se uma marcação com um ponto no valor da somatório dos pesos (valores à direita das linhas principais), e outra marcação no valor da vazão (valores à esquerda das linhas principais). Feito isso, liga-se com uma reta as marcações feitas, e estende-se a reta até às linhas externas que indicam o diâmetro a ser utilizado. Esse processo será mais detalhado e exemplificado no decorrer deste trabalho.

De posse do diâmetro a ser usado na parte analisada da tubulação, utiliza-se a equação de Fair-Whipple-Hsiao, que pode ser utilizada apenas no cálculo da perda de carga na tubulação dos ramais e sub-ramais, ao longo de cada metro linear de tubo. Esta equação está representada a seguir:

$$J = 8,6910^6 \cdot Q^{1,75} \cdot d^{-4,75} \quad (3)$$

Onde:

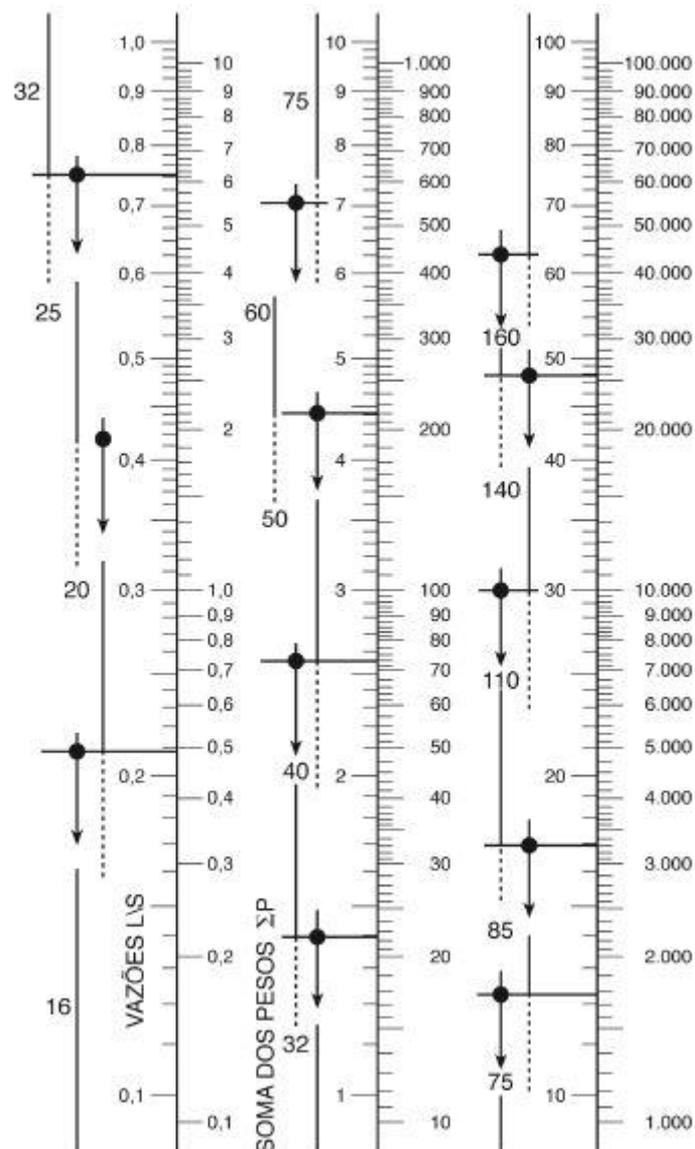
J é a perda de carga por metro de tubulação (kPa/m);

Q é a vazão calculada na equação 2 para o trecho analisado (l/s);

D é o diâmetro encontrado através do Nomograma (mm);

Para a conversão de unidade da vazão de l/s para m³/s, basta dividir o valor de Q por 1000, já que 1 m³ é igual a 1000 l.

Figura 18 – Nomograma



Fonte: CREDER, 2006.

O próximo passo é descobrir o tipo e quantidade de peças utilizadas (joelhos, curvas, tês, etc) em cada trecho para calcular a perda de carga nestas. Essas quantidades também serão

obtidas através do projeto preliminar feito anteriormente. Os principais componentes utilizados em uma instalação de água fria predial estão relacionados na figura 19. Ao se obter o tipo e a quantidade destes, multiplica-se as quantidades pelos comprimentos equivalentes apresentados na tabela 1. Desta forma, a equação ficará:

$$C_{eq} = Q_{tdp} \cdot v_p \quad (4)$$

Onde:

C_{eq} é o comprimento equivalente total do tipo de peça analisada no trecho (m);

Q_{tdp} é a quantidade dessas peças no trecho analisado;

v_p é o valor do comprimento de cada uma dessas peças, conforme tabela 1 (m);

Figura 19 – Principais componentes PVC



a) Tubo soldável



b) Tê soldável



c) Curva de 45° soldável



d) Curva de 90° soldável



e) Cotovelo de 45° soldável



f) Cotovelo de 90° soldável

Fonte: TIGRE, 2019.

De posse dos comprimentos equivalentes no trecho analisado, faz-se a soma destes e obtém-se o comprimento equivalente acumulado. Levanta-se, então, o valor do comprimento linear da tubulação, do início do ramal até o sub ramal deste trecho, através do projeto hidráulico preliminar feito previamente para a edificação. Tendo em mãos este valor em metros (m), some-se o comprimento equivalente total com o comprimento real da tubulação e multiplica-se pelo J encontrado na equação 3, para se descobrir a perda de carga que ocorre durante a circulação do fluido. Dessa forma, tem-se as equações 5 e 6:

$$C_t = \sum C_{eq} + C_r \quad (5)$$

Onde:

C_t é o comprimento total de tubulação do trecho analisado (m);

$\sum C_{eq}$ é o somatório dos comprimentos equivalentes de todas as peças deste trecho (m);

C_r é o comprimento real das tubulações deste trecho (m);

$$P_c = 0,1J \cdot C_t \quad (6)$$

Onde:

P_c é a perda de carga total na tubulação do trecho analisado (m.c.a.);

J é a perda de carga por metro de tubulação (kPa/m);

C_t é o comprimento linear total da tubulação do trecho analisado (m);

De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 1998), um quilopascal é equivalente a aproximadamente 0,1 metros de coluna d'água; dessa forma o resultado da equação 6 pode ser convertido para m.c.a. multiplicando-se o valor obtido P_c por 0,1.

A NBR 5626 (ABNT,1998) recomenda também a velocidade máxima do líquido dentro da tubulação, que é 3,0 m/s. Para se realizar tal verificação, faz-se o uso da equação 7, sendo necessário a vazão encontrada na equação 2 em litros por segundo (l/s) e o diâmetro, obtido pelo nomograma, em milímetros (mm). Caso esta velocidade seja maior que 3,0 m/s, procura-se diminuí-la através do aumento do diâmetro da tubulação.

$$v = \frac{4000Q}{\pi D^2} \quad (7)$$

Onde:

- v é a velocidade do líquido dentro da tubulação no trecho analisado (m/s);
- Q é a vazão do trecho analisado (l/s);
- D é o diâmetro do tubo no trecho analisado (mm);

3.1.2.1.1 Dimensionamento de colunas - PVC

Após determinado o valor v e este sendo menor que 3m/s, dimensiona-se a coluna de água que alimentará esses ramais. O procedimento é análogo ao dos ramais e sub-ramais:

- a) Começa-se com a obtenção dos totais dos pesos equivalentes de cada ramal (processo precedente à equação 2).;
- b) Aplica-se a equação 2 utilizando o somatório dos pesos acumulados da coluna d'água analisada e obtém-se a vazão Q necessária para esta coluna;
- c) Faz-se a aplicação do Nomograma para obtenção dos diâmetros de cada parte da coluna de acordo com os pesos acumulados;
- d) Determina-se a velocidade do fluido na coluna analisada através da equação 7, comparando à velocidade máxima de 3,0 m/s;
- e) Indica-se o comprimento real dos tubos, obtido através do projeto hidráulico preliminar, e o somatório dos comprimentos virtuais equivalentes das peças;
- f) Aplica-se, a equação 5 e obtém-se o comprimento total C_T ;
- g) Determina-se a perda de carga por metro de tubulação J_C . Este valor é obtido através da equação 8:
- h) Multiplica-se o valor J_C da equação 8 pelo valor C_T da equação 5, obtendo-se a equação 9;

$$J_C = \left(\frac{Q \cdot 10^{-3}}{55,934D^{2,714}} \right)^{\frac{1}{0,571}} \quad (8)$$

Onde:

J_c é a perda de carga por metro de tubulação na coluna (m.c.a./m);

Q é a vazão do trecho analisado (l/s);

D é o diâmetro do tubo no trecho analisado (m);

$$P_{cc} = J_c \cdot C_t \quad (9)$$

Onde:

P_{cc} é a perda de carga do trecho analisado (m.c.a.);

J_c é a perda de carga por metro de tubulação na coluna (m.c.a./m);

C_t é o comprimento total da tubulação da coluna analisada (m);

Repete-se esse procedimento com todos os trechos da coluna da rede para se obter todas as perdas de carga.

Para finalização das verificações, mede-se a pressão estática disponível (que consiste na distância vertical linear entre o nível da água do reservatório superior e o ponto de consumo mais alto, em relação ao piso do andar, do ramal analisado) e faz-se a diferença entre ela e a perda em cada trecho P_{cc} , conforme equação 10. Essa distância vertical pode ser obtida no projeto preliminar.

$$P_{dd} = D_v - P_{cc} \quad (10)$$

Onde:

P_{dd} é a pressão dinâmica disponível (m.c.a.);

D_v é a distância vertical entre o nível da água e do ponto mais alto do ramal (m);

P_{cc} é a perda de carga do trecho analisado (m.c.a.);

Repete-se a equação 10 em todos os ramos derivados da coluna. A pressão dinâmica disponível deve atender ao intervalo de pressões mínima e máxima adotadas pela NBR 5626 (ABNT,1998), que são:

- a) Pressão disponível mínima: 10 kPa ou 1 mca;
- b) Pressão disponível máxima: 400 kPa ou 40 mca;

3.1.2.2 Dados preliminares - PEX

O dimensionamento em tubulações de PEX é tem como base a NBR 15939/2011; e é bem semelhante ao em PVC. Em resumo, obtém-se os comprimentos equivalentes das peças e os comprimentos reais das tubulações; logos após somam-se esses valores e multiplica-se por um fator de perda de carga por metro de tubulação. O que torna o PEX mais viável são principalmente dois fatores: os valores das perdas consideravelmente menores na tubulação, devido a rugosidade deste material ser menor; e a quantidade de peças reduzida, já que o tubo é flexível e consegue, na maior parte das situações, realizar curvas sem ajuda de peças.

Há entretanto uma peculiaridade a ser verificada no PEX que não se tem no PVC. Para que se possa utilizar o próprio tubo em uma curvatura sem o uso de peças, é necessário que a relação raio de curvatura R dividido pelo diâmetro do tubo D seja maior ou igual a 8, ou seja:

$$\frac{R}{D} \geq 8 \quad (11)$$

Onde:

R é o raio de curvatura (mm);

D é o diâmetro do tubo (mm);

Caso essa relação não seja atendida, a vida útil da tubulação tende a não atingir o mínimo de 50 anos; essa relação, porém, é facilmente atendida quando se trata de pex, já que o material se adapta bem a muitas situações com este raio de curvatura.

Após ser feita essa verificação, inicia-se a o dimensionamento a partir do levantamento do quantitativo de peças por trecho analisado. As principais peças utilizadas em instalações de PEX estão relacionadas na figura 20. Procede-se então com o somatório dos pesos de cada ponto de consumo deste trecho. Estes pesos estão relacionados na tabela 2 e são os mesmos do PVC.

Após a obtenção do somatório dos pesos, aplica-se a equação 12 para cálculo da vazão necessária no ramal analisado. Essa equação está descrita abaixo:

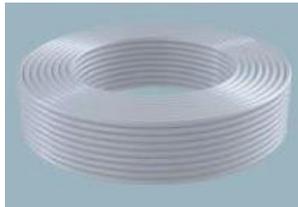
$$Q_{\text{pex}} = 0,3 \sqrt{\sum P} \quad (12)$$

Onde:

Q_{pex} é a vazão calculada em litros por segundo (l/s);

ΣP é o peso virtual de cada peça ou conexão;

Figura 20 – Principais componentes PEX



a) Bobina de PEX



b) Joelho 90°



c) Tê



d) Curva de 45°



e) Distribuidor com 3 saídas



f) Conexão para pontos de consumo

Fonte: TIGRE, 2019.

De posse desses dados, aplica-se o ábaco Nomograma (figura 18) para obtenção do diâmetro do ramal analisado. Faz-se logo após este cálculo o levantamento, através do projeto preliminar, do comprimento real de tubulação que deriva da coluna d'água e vai até o sub-ramal analisado; procedimento idêntico ao de dimensionamento do PVC.

Para o cálculo da perda de carga total ao longo de todo o trecho analisado, falta ainda o somatório dos comprimentos virtuais equivalente das peças. Nesse cálculo, os valores mudam em relação ao PVC; como já dito, são consideravelmente menores, e estão relacionados na tabela 7.

Para se obter o valor do comprimento equivalente das peças, busca-se no projeto a quantidade de cada peça no trecho analisado e multiplica-se pelo comprimento unitário de cada uma. De posse desses valores, basta aplicar a equação 13:

$$C_{eqp} = Q_{tdp} \cdot v_p \quad (13)$$

Onde:

C_{eqp} é o comprimento equivalente total do tipo de peça analisada no trecho (m);

Q_{tdp} é a quantidade dessas peças no trecho analisado;

v_p é o valor do comprimento de cada uma dessas peças, conforme tabela 1 (m);

Tabela 7 – Comprimentos equivalentes de peças PEX

Perdas de carga em conexões de PEX (m)				
Conexões	ø16	ø20	ø25	ø32
Joelho 90°	0,37	0,29	0,26	0,26
Redução	0,14	0,11	0,10	0,09
Tê de passagem lateral	0,44	0,34	0,34	0,26
Tê de passagem direta	0,10	0,08	0,08	0,07
Tê com entrada de água lateral	0,39	0,31	0,28	0,23

Fonte: TIGRE, 2019, Adaptado.

O próximo passo é obter a perda de carga para cada metro de tubulação, conforme a equação 14. Para isso, toma-se os valores Q_{pex} em l/s e o diâmetro obtido pelo Nomograma em mm:

$$J_{pex} = 8,6910^6 \cdot Q^{1,75} \cdot d^{-4,75} \quad (14)$$

Onde:

J_{pex} é a perda de carga por metro de tubulação (kPa/m);

Q é a vazão calculada na equação 2 para o trecho analisado (l/s);

D é o diâmetro encontrado através do Nomograma (mm);

Obtém-se então o comprimento total de tubulação, sendo este a soma do comprimento real com o acumulado do comprimento equivalente do trecho analisado, conforme equação 15:

$$C_{tp} = \sum C_{eqp} + C_r \quad (15)$$

Onde:

C_{tp} é o comprimento total de tubulação do trecho analisado (m);

$\sum C_{eqp}$ é o somatório dos comprimentos equivalentes de todas as peças deste trecho (m);

C_r é o comprimento real das tubulações deste trecho (m);

Logo após, multiplica-se a perda unitária J_{pex} da equação 14 pelo comprimento total de tubulação C_{tp} da equação 15:

$$P_{cp} = 0,1J_{pex} \cdot C_{tp} \quad (16)$$

Onde:

P_{cp} é a perda de carga total na tubulação do trecho analisado (m.c.a.);

J_{pex} é a perda de carga por metro de tubulação (kPa/m);

C_{tp} é o comprimento linear total da tubulação do trecho analisado (m);

Após se obter a perda de carga final, verifica-se a velocidade do fluido no tubo utilizando a equação 17, e esta deve ser menor que 3m/s.

$$v_{pex} = \frac{4000Q_{pex}}{\pi D^2} \quad (17)$$

Onde:

v_{pex} é a velocidade do líquido dentro da tubulação no trecho analisado (m/s);

Q_{pex} é a vazão do trecho analisado (l/s);

D é o diâmetro do tubo no trecho analisado (mm);

3.1.2.2.1 Dimensionamento de colunas - PEX

Após essa aplicação em todos os ramais, dimensiona-se a coluna que irá alimentá-los:

- a) Inicia-se com a soma dos pesos equivalentes acumulados dos pontos de consumo dos ramais ligados ao trecho analisado da coluna;
- b) De posse desse valor, aplica-se a equação 12 para calcular a vazão necessária Q_{pex} para este trecho;
- c) Faz-se a aplicação do Nomograma (figura 18) e obtém-se o diâmetro, em milímetros, necessário para este trecho;

É muito comum que este valor obtido no passo “c” seja um diâmetro superior a 32 mm, o que implica na utilização de tubos em PVC para estas colunas. Caso seja esta a situação, procede-se com os cálculos apresentados para o dimensionamento de colunas em PVC, apresentados no item 3.1.2.1.1 deste trabalho. Caso essa coluna seja passível de dimensionamento com diâmetros iguais ou inferiores a 32 mm, procede-se com o uso do PEX e com a continuação dos cálculos, que são os mesmos dos ramais, conforme a seguir:

- d) Determina-se a velocidade do fluido na coluna analisada através da equação 17, comparando à velocidade máxima de 3,0 m/s;
- e) Indica-se o comprimento real dos tubos, obtido através do projeto hidráulico preliminar, e o somatório dos comprimentos virtuais equivalentes das peças;
- f) Aplica-se, a equação 15 e obtém-se o comprimento total C_{tp} ;
- g) Determina-se a perda de carga por metro de tubulação J_{cp} , através da equação 18;

$$J_{cp} = \left(\frac{Q \cdot 10^{-3}}{55,934D^{2,714}} \right)^{\frac{1}{0,571}} \quad (18)$$

Onde:

J_{cp} é a perda de carga por metro de tubulação na coluna (m.c.a/m);

Q é a vazão do trecho analisado (l/s);

D é o diâmetro do tubo no trecho analisado (m);

- h) Multiplica-se o valor J_{cp} pelo valor C_{tp} da equação 15, obtendo-se a equação 19:

$$P_{ccp} = J_{pex} \cdot C_{tp} \quad (19)$$

Onde:

P_{ccp} é a perda de carga na coluna do trecho analisado (m.c.a.);

J_{cp} é a perda de carga por metro de tubulação na coluna (m.c.a./m);

C_{tp} é o comprimento total da tubulação da coluna analisada (m);

- i) Repete-se o passo anterior em todos os ramais que derivam da coluna para se obter o valor de todas as perdas de carga;

A partir desses dados, analisa-se a pressão disponível, utilizando o mesmo procedimento do item 3.1.2.1.1: a diferença entre a pressão estática disponível e a perda de carga do trecho analisado; e essa diferença também deve atender ao intervalo de pressões mínima e máxima adotadas pela NBR 5626 (ABNT,1998), que são:

- a) Pressão disponível mínima: 10 kPa ou 1 mca;
- b) Pressão disponível máxima: 400 kPa ou 40 mca;

3.1.3 Dimensionamento em PVC

Neste item, há de se aplicar as teorias e equações explicadas anteriormente, principalmente no item 3.1.2. A NBR 5626 (ABNT,1998) indica um modelo de tabela a ser usado para os cálculos e dimensionamentos da coluna, já que as equações são repetitivas. Dessa forma, há de se dimensionar manualmente os ramais e sub ramais de um apartamento e o trecho da coluna que o alimenta, nos demais trechos da coluna a tabela será utilizada. Vale citar ainda que dentro das unidades habitacionais, os dimensionamentos serão idênticos, já que são unidades tipo. Há de ser feito, então, o dimensionamento para uma unidade e as outras repetirão os valores; assim como para as colunas d'água, há de se dimensionar uma coluna e as outras 3 serão iguais. Para os sub-ramais, serão adotados os diâmetros mínimos fornecidos na tabela 8 adaptada do catálogo predial da Tigre.

Tabela 8 – Diâmetros mínimos de sub-ramais

Diâmetros mínimos dos sub-ramais	
Peça	D.N. (mm)
Bacia sanitária com caixa de descarga	20
Bacia sanitária com válvula de descarga	50
Bebedouro	20
Chuveiro	20
Lavatório	20
Lavadora de roupas	25
Pia	20
Tanque	25

Fonte: TIGRE, 2019, Adaptado.

Analisando-se o apartamento tipo (figura 14) do projeto preliminar, obtém-se o somatório de pesos relativos do primeiro ramal que alimenta o banho suíte. Este é composto por sub ramais que alimentam uma bacia sanitária com caixa acoplada, um lavatório e um chuveiro elétrico. A partir da tabela 8, os diâmetros dos sub ramais serão: 20 mm para a bacia sanitária, 20 mm para o lavatório e 20 mm para o chuveiro. De acordo com a tabela 2 do item 2.1 os pesos serão respectivamente **0,3**, **0,3**, e **0,1** sendo o somatório igual a **0,7**. De posse dessa informação, se utiliza a equação 2:

$$Q = 0,3\sqrt{0,7}$$

$$Q = 0,251 \text{ l/s}$$

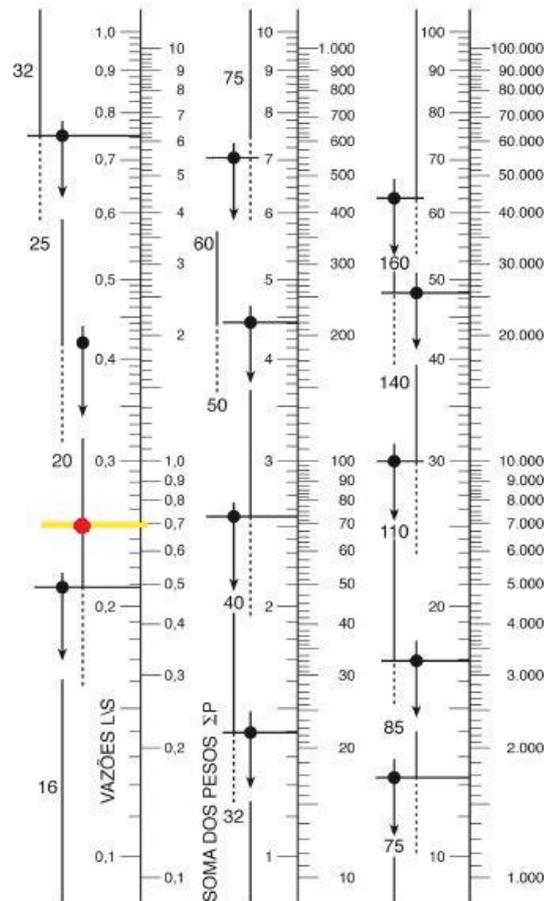
Aplica-se então o nomograma para se obter o diâmetro deste ramal (figura 21). A linha amarela no ábaco indica a marcação dos dados de entrada: somatório dos pesos igual a 0,7 e vazão igual a 0,251 l/s; e o ponto vermelho indica onde esses dados cruzam a linha do diâmetro.

Com o Nomograma, obtém-se o diâmetro (linhas à esquerda das vazões) igual a **20 mm** para esse ramal. Cabe, então, o cálculo da perda de carga por metro de tubulação, indicado pela equação 4:

$$J = 8,6910^6 \cdot 0,251^{1,75} \cdot 20^{-4,75}$$

$$J = 2,53 \cdot 10^{-2} \text{ kPa/m}$$

Figura 21 – Aplicação do Nomograma para o ramal do banheiro



Fonte: CREDER, 2006.

Descobre-se agora a quantidade de peças neste ramal pelo projeto preliminar e os valores da perda por peça, citados na tabela 1, e aplica-se a equação 2 para se obter a perda de carga nas peças:

a) Para 4 passagens laterais de t \hat{e} de 20 mm:

$$C_{eq} = 4 \cdot 2,4$$

$$C_{eq} = 9,60 \text{ m}$$

b) Para 6 cotovelos de 90° de 20 mm:

$$C_{eq} = 6 \cdot 1,2$$

$$C_{eq} = 7,20 \text{ m}$$

c) Para 1 passagem direta de tê de 20 mm:

$$C_{eq} = 1 \cdot 0,8$$

$$C_{eq} = 0,80 \text{ m}$$

d) Comprimento equivalente total do ramal:

$$C_{eq} = 9,6 + 7,2 + 0,8$$

$$C_{eq} = 17,60 \text{ m}$$

Obtém-se, então, com o projeto preliminar, o comprimento de tubulação real deste ramal e toma-se nota dos comprimentos equivalentes, para se aplicar a equação 5. O comprimento da tubulação real é igual a 6,70 metros, e o equivalente das peças 17,6 metros:

$$C_T = 6,70 + 17,6$$

$$C_T = 24,30 \text{ m}$$

Com este comprimento total, aplica-se a equação 6 para se encontrar a perda de carga neste ramal:

$$P_c = 0,1 \cdot 2,53 \cdot 10^{-2} \cdot 24,30$$

$$P_c = 6,16 \cdot 10^{-2} \text{ m. c. a.}$$

Realiza-se a verificação da velocidade máxima da água neste trecho, através da equação 7 e compara-se ao limite máximo de 3,0 m/s:

$$v = \frac{4000 \cdot 0,251}{\pi 20^2}$$

$$v = 0,80 \text{ m/s}$$

Como o valor é inferior a 3 m/s, prossegue-se com o dimensionamento. Repete-se então todo o procedimento para o próximo ramal, que alimenta o banho social. O ramal alimenta pontos idênticos ao anterior, logo a soma dos pesos relativos é a mesma: **0,7**.

$$Q = 0,3\sqrt{0,7}$$

$$Q = 0,251 \text{ l/s}$$

O diâmetro será novamente **20 mm**, já que os valores de entrada do ábaco são iguais; e igualmente para a perda de carga por metro de tubulação, que também será **0,0253 kPa/m**. As quantidades de peças mudarão, logo mudará também o valor do comprimento equivalente total, que será:

- a) Para 4 passagens laterais de tê de 20 mm:

$$C_{eq} = 4 \cdot 2,4$$

$$C_{eq} = 9,60 \text{ m}$$

- b) Para 8 cotovelos de 90° de 20 mm:

$$C_{eq} = 8 \cdot 1,2$$

$$C_{eq} = 9,60 \text{ m}$$

- c) Para 1 passagem direta de tê de 20 mm:

$$C_{eq} = 1 \cdot 0,8$$

$$C_{eq} = 0,80 \text{ m}$$

- d) Comprimento equivalente total do ramal:

$$C_{eq} = 9,6 + 9,6 + 0,8$$

$$C_{eq} = 20,00 \text{ m}$$

O comprimento real de tubulação é de 8,94 m. O total de comprimento de tubulação e a perda de carga deste ramal estão a seguir:

$$C_T = 8,94 + 20,00$$

$$C_T = 28,94 \text{ m}$$

$$P_c = 0,1 \cdot 2,53 \cdot 10^{-2} \cdot 28,94$$

$$P_c = 7,33 \cdot 10^{-2} \text{ m. c. a.}$$

A velocidade do fluido também será a mesma, já que a vazão e o diâmetros são os mesmos, logo a velocidade é de **0,80 m/s** e é inferior ao limite, 3,0 m/s.

Há de se calcular ainda o último ramal deste apartamento, que alimenta a cozinha. Este é composto por uma pia, uma máquina de lavar roupas e um tanque, cujos pesos relativos são respectivamente **0,7, 1,0 e 0,7**. Os diâmetros dos sub ramais de acordo com a tabela 8 serão: 20 mm para a pia, 25 mm para a máquina de lavar roupas e 25 mm para o tanque. Calcula-se a vazão:

$$Q = 0,3\sqrt{2,4}$$

$$Q = 0,465 \text{ l/s}$$

Aplicando-se o nomograma da figura 18, obtém-se o diâmetro igual a **25 mm**, conforme figura 22. Calcula-se a perda de carga por metro de tubulação:

$$J = 8,6910^6 \cdot 0,465^{1,75} \cdot 25^{-4,75}$$

$$J = 2,58 \cdot 10^{-2} \text{ kPa/m}$$

Obtém-se logo após, pelo projeto, a quantidade e o tipo das peças, e calcula-se suas respectivas perdas e a perda total nas mesmas:

a) Para 1 passagem lateral de tê de 25 mm:

$$C_{eq} = 1 \cdot 3,1$$

$$C_{eq} = 3,10 \text{ m}$$

b) Para 5 cotovelos de 90° de 25 mm:

$$C_{eq} = 5 \cdot 1,5$$

$$C_{eq} = 7,50 \text{ m}$$

c) Para 3 passagem direta de tê de 25 mm:

$$C_{eq} = 3 \cdot 0,9$$

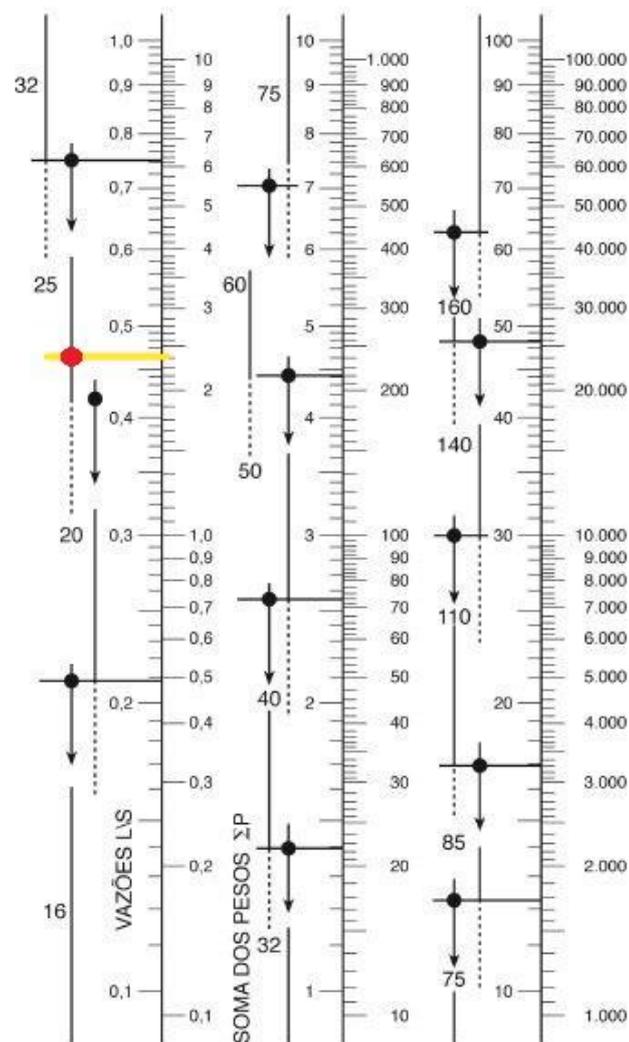
$$C_{eq} = 2,70 \text{ m}$$

d) Comprimento equivalente total do ramal:

$$C_{eq} = 3,1 + 7,5 + 2,7$$

$$C_{eq} = 13,30 \text{ m}$$

Figura 22 – Aplicação do Nomograma para o ramal da cozinha



Fonte: CREDER, 2006.

Obtém-se agora o comprimento total de tubulação e o valor da perda de carga total neste ramal, que serão respectivamente:

$$C_T = 9,24 + 13,30$$

$$C_T = 22,54 \text{ m}$$

$$P_c = 0,1 \cdot 2,58 \cdot 10^{-2} \cdot 22,54$$

$$P_c = 5,82 \cdot 10^{-2} \text{ m. c. a.}$$

Para finalização destes ramais, verifica-se a velocidade de escoamento da água na tubulação e compara-se ao limite máximo de 3,0 m/s:

$$v = \frac{4000 \cdot 0,465}{\pi 25^2}$$

$$v = 0,95 \text{ m/s}$$

Finalizado o dimensionamento dos ramais, o próximo passo consiste no dimensionamento do trecho da coluna que alimenta estes ramais. Conforme explicado no item 3.1.2.1.1, o procedimento é semelhante ao de dimensionamento do ramal. O primeiro trecho a ser dimensionado é o que alimenta o apartamento do 1^a pavimento, identificado pelo destaque vermelho na figura 23.

No somatório dos pesos equivalentes, soma-se o peso total de cada ramal ligado neste trecho da coluna, ou seja, o peso total do ramal do banho social, do banho suíte e da cozinha. O somatório total dos pesos equivalentes neste caso será:

$$\sum P = 0,7 + 0,7 + 2,4$$

$$\sum P = 3,8$$

Calcula-se então a vazão Q que atende este trecho:

$$Q = 0,3\sqrt{3,8}$$

$$Q = 0,585 \text{ l/s}$$

Obtém-se o diâmetro necessário de **25 mm**. Verifica-se então a velocidade do fluido neste tubo e compara-se com o limite máximo de 3 m/s:

$$v = \frac{4000 * 0,585}{\pi 25^2}$$

$$v = 1,19 \text{ m/s}$$

Calcula-se então o valor dos comprimentos equivalentes das peças. Para a coluna, o comprimento equivalente deve levar em consideração o caminho percorrido pela água do início do trecho analisado da coluna até o sub ramal mais distante ligado a este trecho. Dessa forma, será:

a) Para 1 passagem lateral de tê de 25 mm:

$$C_{eq} = 1 \cdot 3,1$$

$$C_{eq} = 3,10 \text{ m}$$

b) Para 5 cotovelos de 90° de 25 mm:

$$C_{eq} = 5 \cdot 1,5$$

$$C_{eq} = 7,50 \text{ m}$$

c) Para 4 passagem direta de tê de 25 mm:

$$C_{eq} = 4 \cdot 0,9$$

$$C_{eq} = 3,60 \text{ m}$$

d) Comprimento equivalente total do trecho:

$$C_{eq} = 3,1 + 7,5 + 3,6$$

$$C_{eq} = 14,20 \text{ m}$$

Através do projeto mede-se o comprimento real da tubulação deste mesmo trecho especificado anteriormente e soma-se com o comprimento equivalente das peças desse trecho para se obter o comprimento total:

$$C_T = 9,94 + 14,2$$

$$C_T = 24,14 \text{ m}$$

Calcula-se a perda de carga por metro de tubulação através da equação 8:

$$J_c = \left(\frac{0,585 \cdot 10^{-3}}{55,934 \cdot 0,025^{2,714}} \right)^{\frac{1}{0,571}}$$

$$J_c = 7,80 \cdot 10^{-2} \text{ m. c. a.}$$

Aplica-se a equação 9 para se obter a perda de carga neste trecho da coluna:

$$P_{cc} = 7,80 \cdot 10^{-2} \cdot 24,14$$

$$P_{cc} = 1,88 \text{ m. c. a.}$$

Para conclusão e obtenção do valor da pressão disponível, mede-se a pressão disponível estática através do projeto. Esta é igual a **13,71 m.c.a.**, que é a distância vertical entre o ponto de consumo mais alto do andar e o nível da caixa d'água. Logo, a pressão disponível dinâmica encontrada através da equação 10 será:

$$P_{dd} = 13,71 - 1,88$$

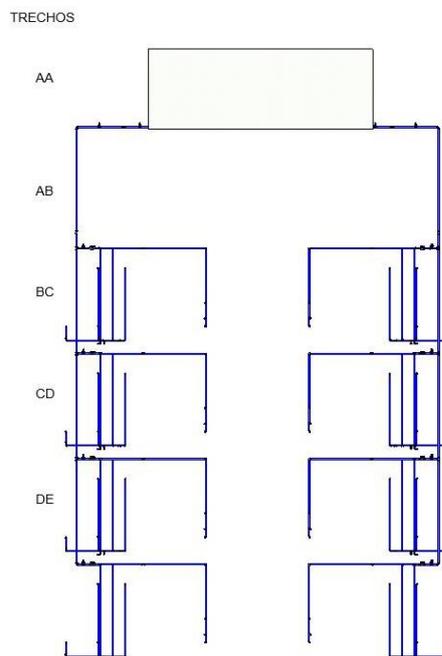
$$P_{dd} = 11,83 \text{ m. c. a.}$$

Como este valor está no intervalo de 1 m.c.a. a 40 m.c.a. disposto pela norma, a instalação prevista para esse patamar conseguirá atender a todos os pontos de utilização (sub ramais) ligados a este ramal.

Na figura 25, está a divisão dos trechos para o cálculo e dimensionamento da coluna, que são a parte entre duas ramificações desta; já no anexo A, constam os cálculos de todos os trechos do abastecimento predial em PVC, com seus valores finais de pressões dinâmicas disponíveis.

De acordo com os cálculos, o último trecho da coluna poderia ser alimentado por um tubo de 25 mm, porém adotou-se o diâmetro de 32 mm, já que a maior parte da coluna é neste diâmetro essa troca facilita a execução do serviço bem como evita a compra de pedaços menores para ligar apenas essa parte inferior da coluna. Além desses benefícios, esse aumento de diâmetro é benéfico também para a pressão nos pontos de consumo, já que diminui a turbulência do fluido dentro do tubo e causa diminuição da perda de carga, logo é aumentada a pressão disponível nos sub ramais.

Figura 25 – Divisão dos trechos para cálculo



Fonte: OS AUTORES, 2019.

3.1.4 Dimensionamento em PEX

O dimensionamento da rede predial em PEX é bem semelhante ao em PVC, conforme já explicado. Dessa forma, há de se utilizar a mesma tabela 9 fornecida pela NBR 5626 (ABNT,1998) para cálculo e dimensionamento dessa rede, já que o intuito deste trabalho são os comparativos finais de preço e quantitativos. O projeto preliminar é o mesmo, já que esse tem como função apenas demarcar locais de passagem das tubulações e seus comprimentos; logo, as divisões dos trechos também serão iguais.

Para a verificação do valor do raio de curvatura sem o uso de peças, é possível realizar uma tabela com os valores mínimos em função dos diâmetros. Esses limites estão representados na tabela 9.

Tabela 9 – Valores mínimos para o raio de curvatura

Raios mínimos de curvatura PEX	
Diâmetro do tubo (mm)	Raio (mm)
16	128
20	160
25	200
32	256

Fonte: OS AUTORES, 2019.

O dimensionamento começará pelo ramal que alimenta o banho suíte, conforme representado na figura 14. Para os sub ramais, serão utilizados os diâmetros mínimos citados na tabela 8. Faz-se, então, o dimensionamento da vazão necessária para o ramal através da equação 12:

$$Q_{pex} = 0,3\sqrt{0,7}$$

$$Q_{pex} = 0,251 \text{ l/s}$$

Aplica-se logo após, o Nomograma para obtenção do diâmetro a ser utilizado no ramal dimensionado, que será a mesma aplicação da figura 21, ou seja, **20 mm**; e obtém-se através do projeto a quantidade de peças para cálculo do comprimento equivalente. Os valores unitários de cada peça estão representados pela tabela 7. Os comprimentos equivalentes serão:

a) Para 4 passagens laterais de tê de 20 mm:

$$C_{eqp} = 4 \cdot 0,34$$

$$C_{eqp} = 1,36 \text{ m}$$

b) Para 1 passagem direta de tê de 20 mm:

$$C_{eqp} = 1 \cdot 0,08$$

$$C_{\text{eqp}} = 0,08 \text{ m}$$

c) Comprimento equivalente total do ramal:

$$C_{\text{eqp}} = 1,36 + 0,08$$

$$C_{\text{eqp}} = 1,44 \text{ m}$$

De posse do comprimento equivalente total, obtém-se a medida do comprimento real de tubulação deste ramal através do projeto. Este comprimento é igual a **6,46 m**. Calcula-se então o valor da perda por metro de tubulação J_{pex} , através da equação 14:

$$J_{\text{pex}} = 8,6910^6 \cdot 0,251^{1,75} \cdot 20^{-4,75}$$

$$J_{\text{pex}} = 2,53 \cdot 10^{-2} \text{ kPa/m}$$

Após esta aplicação, procede-se então às equações 15 e 16, para se obter o comprimento total e a perda de carga na tubulação deste ramal respectivamente.

$$C_{\text{tp}} = 1,44 + 6,46$$

$$C_{\text{tp}} = 7,90 \text{ m}$$

$$P_{\text{cp}} = 0,1 \cdot 2,53 \cdot 10^{-2} \cdot 7,9$$

$$P_{\text{cp}} = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ m. c. a.}$$

Verifica-se então se a velocidade do fluido na tubulação, dada pela equação 17, não ultrapassa o limite máximo de 3 m/s:

$$v_{\text{pex}} = \frac{4000 \cdot 0,251}{\pi 20^2}$$

$$v_{\text{pex}} = 0,80 \text{ m/s}$$

Repete-se o procedimento para os ramais do banho social e da cozinha para se obter a perdas em todos os ramais. Para o banho social, os resultados serão:

$$Q_{pex} = 0,3\sqrt{0,7}$$

$$Q_{pex} = 0,251 \text{ l/s}$$

Como o somatório dos pesos e a vazão são iguais ao banho anterior, o diâmetro será o mesmo, **20mm**. Prossegue-se com os comprimentos equivalentes, comprimento real e as perdas de carga:

a) Para 4 passagens laterais de tê de 20 mm:

$$C_{eqp} = 5 \cdot 0,34$$

$$C_{eqp} = 1,7 \text{ m}$$

b) Para 1 passagem direta de tê de 20 mm:

$$C_{eqp} = 1 \cdot 0,08$$

$$C_{eqp} = 0,08 \text{ m}$$

c) Comprimento equivalente total do ramal:

$$C_{eqp} = 1,7 + 0,08$$

$$C_{eqp} = 1,78 \text{ m}$$

$$J_{pex} = 8,6910^6 \cdot 0,251^{1,75} \cdot 20^{-4,75}$$

$$J_{pex} = 2,53 \cdot 10^{-2} \text{ kPa/m}$$

Neste ramal, são **8,21 m** de comprimento real de tubulação.

$$C_{tp} = 1,78 + 8,21$$

$$C_{tp} = 9,99 \text{ m}$$

$$P_{cp} = 0,1 \cdot 2,53 \cdot 10^{-2} \cdot 9,99$$

$$P_{cp} = 2,53 \cdot 10^{-2} \text{ m. c. a.}$$

A velocidade será a mesma, já que a vazão e o diâmetro do ramal não se alteraram. Para conclusão dos ramais, dimensiona-se agora o ramal da cozinha. A vazão é dada por:

$$Q_{\text{pex}} = 0,3\sqrt{2,4}$$

$$Q_{\text{pex}} = 0,465 \text{ l/s}$$

Aplicando-se o Nomograma, se terá a mesma situação da figura 23, ou seja, **25 mm** de diâmetro para este ramal. Calcula-se os comprimentos equivalentes, comprimento real e as perdas de carga:

a) Para 1 passagem lateral de tê de 25 mm:

$$C_{\text{eqp}} = 1 \cdot 0,34$$

$$C_{\text{eqp}} = 0,34 \text{ m}$$

b) Para 2 joelho de 90° de 25 mm:

$$C_{\text{eqp}} = 2 \cdot 0,26$$

$$C_{\text{eqp}} = 0,52 \text{ m}$$

c) Para 4 passagem direta de tê de 25 mm:

$$C_{\text{eqp}} = 4 \cdot 0,08$$

$$C_{\text{eqp}} = 0,32 \text{ m}$$

d) Comprimento equivalente total do trecho:

$$C_{\text{eqp}} = 0,34 + 0,52 + 0,32$$

$$C_{\text{eqp}} = 1,18 \text{ m}$$

$$J_{\text{pex}} = 8,6910^6 \cdot 0,465^{1,75} \cdot 25^{-4,75}$$

$$J_{\text{pex}} = 2,58 \cdot 10^{-2} \text{ kPa/m}$$

Neste ramal, existem **9,44 m** de tubulação real, logo o comprimento total e a perda de carga total neste trecho serão respectivamente:

$$C_{tp} = 1,18 + 9,44$$

$$C_{tp} = 10,62 \text{ m}$$

$$P_{cp} = 0,1 \cdot 2,58 \cdot 10^{-2} \cdot 10,62$$

$$P_{cp} = 2,74 \cdot 10^{-2} \text{ m. c. a.}$$

Por último, calcula-se a velocidade e faz-se a comparação com o limite já citado anteriormente:

$$v_{pex} = \frac{4000 \cdot 0,465}{\pi 25^2}$$

$$v_{pex} = 0,95 \text{ m/s}$$

Terminados os ramais, dimensiona-se o trecho da coluna que irá alimentá-los. O padrão de contas é o mesmo seguido para os ramais, e será dimensionado o trecho identificado na figura 24. Inicia-se pelo cálculo da vazão. Utiliza-se o somatório dos pesos equivalentes dos ramais ligados neste trecho:

$$Q_{pex} = 0,3\sqrt{3,8}$$

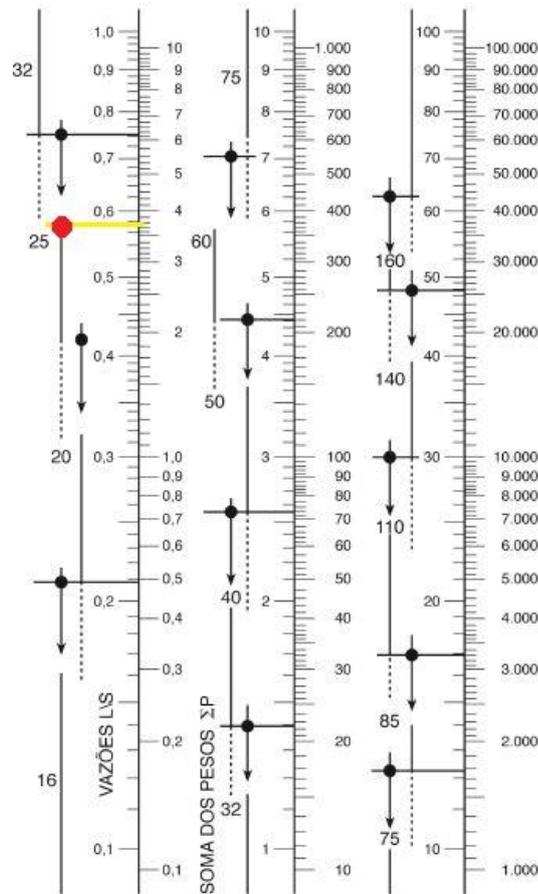
$$Q_{pex} = 0,585 \text{ l/s}$$

Aplica-seentão o nomograma, conforme figura 26, e obtém-se o diâmetro mínimo necessário para este trecho. Encontra-se o diâmetro de **25 mm** para este ramal. Calcula-se, então a velocidade do fluido no tubo através da equação 17, e, de igual forma, deve-se compará-la ao limite máximo de 3,0 m/s:

$$v_{pex} = \frac{4000 \cdot 0,465}{\pi 25^2}$$

$$v_{pex} = 0,95 \text{ m/s}$$

Figura 26 – Aplicação do Nomograma para a coluna PEX



Fonte: CREDER, 2006.

Da mesma forma do PVC, os comprimentos real e equivalente da coluna devem considerar do início do trecho analisado desta até o sub ramal mais distante deste trecho. Dessa forma, os comprimentos serão:

a) Para 1 passagem lateral de tê de 25 mm:

$$C_{eq} = 1 \cdot 0,34$$

$$C_{eq} = 0,34 \text{ m}$$

b) Para 3 passagem direta de tê de 25 mm:

$$C_{eq} = 3 \cdot 0,08$$

$$C_{eq} = 0,24 \text{ m}$$

c) Comprimento equivalente total do trecho:

$$C_{eq} = 0,34 + 0,24$$

$$C_{eq} = 0,58 \text{ m}$$

Através do projeto mede-se o comprimento real da tubulação deste mesmo trecho especificado anteriormente, que é igual a **9,57 m** e soma-se com o comprimento equivalente das peças desse trecho para se obter o comprimento total:

$$C_{tp} = 9,57 + 0,58$$

$$C_{tp} = 10,15 \text{ m}$$

$$J_{cp} = \left(\frac{0,585 \cdot 10^{-3}}{55,934 \cdot 0,025^{2,714}} \right)^{\frac{1}{0,571}}$$

$$J_{cp} = 7,80 \cdot 10^{-2} \text{ m. c. a.}$$

Com o valor da perda por metro de tubulação em mãos, basta aplicar a equação 19 e encontrar a perda ao longo de toda a tubulação do trecho analisado da coluna:

$$P_{ccp} = 7,80 \cdot 10^{-2} \cdot 10,15$$

$$P_{ccp} = 7,91 \cdot 10^{-1} \text{ m. c. a.}$$

Mede-se então a pressão dinâmica disponível para os pontos de consumo através da equação aplicação da 10:

$$P_{dd} = 13,71 - 7,91 \cdot 10^{-1}$$

$$P_{dd} = 12,92 \text{ m. c. a.}$$

Apresenta-se no apêndice A, a tabela com os cálculos e dimensionamentos de toda a coluna. Há de se aumentar e unificar os diâmetros da coluna para 32 mm, visto que a maior parte é neste diâmetro, reduzindo ainda mais a perda de carga devido a diâmetros pequenos.

Assim como no dimensionamento em PVC, calculando-se uma das colunas todas as outras estarão dimensionadas, já que são idênticas a esta.

4 RESULTADOS

Neste tópico serão discutidos e comparados os materiais PEX e PVC; tomando nota de informações e análises necessárias, como dimensionamento dos sistemas, orçamentos e manutenções pós obra. Com intuito de apresentar as análises discutidas, pretende-se iniciar pelo dimensionamento, buscando demonstrar o quanto importante se faz um sistema bem projetado, visando melhores execuções e qualidade.

Após a realização do dimensionamento, conforme itens 3.1.3 e 3.1.4 e adotados os orçamentos, conforme tabelas 10 e 11, tem-se como premissas as vantagens e desvantagens que os dois materiais podem apresentar na execução do projeto citado. Vale ressaltar que, para efeito de análise, levando em consideração apenas os orçamentos do material, que foram cotados para faturamento em CNPJ, percebe-se que os resultados obtidos são de grande valia para obras de médio e grande porte, de modo que edificações de pequeno porte ainda não apresentam quadros muito favoráveis para inovação de alguns materiais que apresentam valores superiores de seus produtos. Vale lembrar ainda que o kit para execução das instalações em PEX, tem um custo inicial alto porém este custo se dilui ao longo da quantidade de empreendimentos que se executa, tornando o mesmo rentável. Se os resultados forem analisados levando em consideração o ganho de pressão para os pontos de consumo, o cenário muda e se terá um benefício muito grande para residências de pequeno porte, que em geral apresentam pouca pressão para o uso, limitando a potência de alguns equipamentos como chuveiros, máquinas de lavar roupa e lavadora de louças.

Tomando para efeitos comparativos entre o PEX e PVC, pode-se mencionar a perda de carga distribuída nos dois sistemas, adotando-se os trechos que alimentam os sub ramais dos aparelhos dos apartamentos, ou ramais, e as colunas que saem do barrilete e alimentam os ramais. Conforme item 3.1.3 a perda de carga total nos ramais da tubulação de PVC é igual a $1,93 \cdot 10^{-1}$ m. c. a., e a mesma para coluna que alimenta estes ramais equivale à 1,88 m. c. a. O item 3.1.4 determina a Perda de Carga na tubulação de PEX, sendo $7,27 \cdot 10^{-2}$ m. c. a. de perda nos ramais, e para a coluna $7,91 \cdot 10^{-1}$ m. c. a. De posse desses resultados, pode-se comparar e analisar a diferença entre as perdas nestes diferentes materiais, fator muito importante quando se tange sobre a pressão disponível em cada aparelho alimentado pelo sistema, ou seja, com uma menor perda de carga, melhores pressões serão alcançadas, de modo que o sistema terá um melhor funcionamento.

Não obstante, vale ressaltar o fator prazo de execução dos projetos. Foi executado por uma construtora X (que pediu para não ser identificada) em Anápolis, com décadas de experiência em PVC, um empreendimento que fez o uso de PEX em todos os ramais e sub ramais da edificação. Para instalações em PVC, a média é de conclusão das instalações hidráulicas de água fria de 7 unidades habitacionais por semana; com o uso do PEX este índice alcançou 10 unidades habitacionais por semana para uma equipe do mesmo tamanho e edificações com instalações semelhantes. Quanto ao PVC, sendo este soldável rígido comum com métodos construtivos convencionais, não é necessária mão-de-obra especializada, e não existe a necessidade de equipamentos específicos para a execução da instalação. Já para o PEX, é necessário mão-de-obra qualificada e equipamentos específicos para a execução das instalações; porém, se levado em consideração o tempo para execução do sistema, este foi de aproximadamente 43% menor em relação à empreendimentos semelhantes da mesma construtora com a utilização de PVC.

Nas tabelas 10 e 11 estão contidos os orçamentos realizados para efeito comparativo de custos dos materiais. Como o PEX ainda é pouco difundido no Brasil, nem todos os comércios que fornecem materiais hidráulicos possuem o mesmo, fator este que alavanca um pouco os valores. O valor das peças e tubulações de PVC foram aproximadamente 54% menores que as tubulações de PEX, contudo se tratando do pós obra, o PEX se apresenta como melhor alternativa para estes sistemas de água fria e quente. No mesmo empreendimento citado anteriormente em Anápolis, os gastos com pós obra e manutenção técnica de instalações hidráulicas de água fria se reduziram para 0,0% do gasto total com manutenções no primeiro ano após a entrega do empreendimento; já para o PVC, nos mesmos critérios, esse custo foi de 49% para edificações semelhantes o que resulta em aproximadamente R\$ 10.000,00 reais por mês, ou seja, R\$ 120.000,00 reais por ano apenas com manutenções técnicas dessas instalações pós entrega; e média de 52% de custo para uma série das últimas 12 edificações entregues pela construtora. Boa parte dessa porcentagem de custo se deve à grande dificuldade para uma manutenção em uma instalação hidráulica, já que na maior parte das vezes é necessário quebrar revestimentos, paredes, pisos ou danificar pinturas, o que onera muito todo o ciclo da manutenção.

Como o Polietileno Reticulado utiliza menos peças e essas são prensadas, a quantidade de problemas ou vazamentos que podem ocorrer diminui muito. Associando este fator, o tempo de execução, a satisfação do usuário que adquire uma unidade de uma construtora com instalações em PEX, e a redução do gasto com pós obra, o PEX supera seu concorrente PVC,

promovendo ganhos para quem constroi e para quem utiliza a unidade habitacional com este tipo de instalação.

Tabela 10 – Custos para materiais em PVC

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA PVC					
Item	Descrição	Quantidade	Und	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
1	Tube Soldavel PVC 20mm	127	MT	R\$ 2,79	R\$ 354,33
2	Tube Soldavel PVC 25mm	191	MT	R\$ 3,89	R\$ 742,99
3	Tube Soldavel PVC 32mm	177	MT	R\$ 4,42	R\$ 782,34
7	Joelho Soldavel 90 x 20mm	224	PÇ	R\$ 0,54	R\$ 120,96
8	Joelho Soldavel 90 x 25mm	80	PÇ	R\$ 0,86	R\$ 68,80
9	Joelho Soldavel 90 x 32mm	20	PÇ	R\$ 1,40	R\$ 28,00
10	Tê Soldavel 20mm	160	PÇ	R\$ 0,56	R\$ 89,60
11	Tê Soldavel 25mm	64	PÇ	R\$ 0,75	R\$ 48,00
12	Tê Soldavel 32mm	20	PÇ	R\$ 2,82	R\$ 56,40
14	Registro Gaveta 3/4"	20	PÇ	R\$ 40,81	R\$ 816,20
TOTAL					R\$ 3.107,62

Fonte: OS AUTORES, 2019.

Tabela 11 – Custos para materiais em PEX

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA PEX					
Item	Descrição	Quantidade	Und	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
1	Tube PEX 20mm	127	MT	R\$ 4,39	R\$ 557,53
2	Tube PEX 25mm	191	MT	R\$ 6,23	R\$ 1.189,93
3	Tube PEX 32mm	177	MT	R\$ 9,70	R\$ 1.716,90
7	Cotovelo 20mm	0	PÇ	R\$ 3,17	R\$ 0,00
8	Cotovelo 25mm	32	PÇ	R\$ 4,78	R\$ 152,96
9	Cotovelo 32mm	0	PÇ	R\$ 6,39	R\$ 0,00
10	Tê 20mm	240	PÇ	R\$ 3,26	R\$ 782,40
11	Tê 25mm	80	PÇ	R\$ 5,12	R\$ 409,60
12	Tê 32mm	64	PÇ	R\$ 6,33	R\$ 405,12
14	Registro Gaveta 3/4"	20	PÇ	R\$ 43,40	R\$ 868,00
15	Ferramental Completo de Fixação	1	PÇ	R\$ 590,00	R\$ 590,00
16	Kit Extrator	1	PÇ	R\$ 120,00	R\$ 120,00
TOTAL					R\$ 6.792,44

Fonte: OS AUTORES, 2019.

O PVC é um material bastante comercializado e barato, assim seus custos de materiais são menores; mas tendo em mente que este necessita de maior prazo para execução dos serviços os valores que discriminam a mão-de-obra colabora com os orçamentos do PEX; sua perda de carga é maior e o mesmo não necessita de mão-de-obra especializada. Já sobre o PEX, este perde no quesito valor dos materiais e exigência de mão de obra qualificada, mas ganha quanto ao prazo de execução, quanto à suas perdas de carga, quanto à pressão disponível para uso nos pontos de consumo e quanto ao pós obra e manutenções técnicas, que devem ser mantidas por

no mínimo 3 anos de acordo com a norma de desempenho de edificações NBR 15575 (ABNT, 2013).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na construção civil a todo tempo surgem e são desenvolvidos novos materiais com o intuito de melhorar de alguma forma o padrão que já se usa, seja aumentando a produtividade, diminuindo o custo ou melhorando a satisfação de quem usará a edificação. A área de instalações hidráulicas em edificações no Brasil vem tendo um lento processo de inovação, e alguns materiais, como o próprio PVC, que se mostrou muito promissor em sua criação, se mantém por décadas no topo da cadeia de utilização, o que é interessante quando não há melhores alternativas disponíveis; quando se tem, porém, alternativas mais viáveis já sendo utilizadas em larga escala em outros lugares do mundo, cabe a análise e, se a inovação for viável, a implementação desta e consequente renovação da cadeia construtiva.

Levando em consideração a grande utilização do PVC em instalações hidráulicas, este possui características que atendem construções de pequeno, médio e grande porte, como baixo custo com tubulações e peças, boa resistência química e fácil execução, além de abundante mão de obra capacitada. Diversos materiais surgiram com intuito de ofertar para o mercado soluções em sistemas de água quente, água fria e gás, entre estes materiais se sobressai o PPR utilizado para sistema de água quente, também de fácil execução, porém possui menor custo-benefício. O PEX apresenta como benefício fatores importantes relacionados a prazos de execução, facilidade e praticidade na mesma, diminuição nos gastos com perdas e, por ser um tubo flexível, consegue realizar curvas sem a necessidade de conexões fatores que colaboram positivamente nas perdas de cargas do sistema.

Buscando levantar soluções para diminuição de patologias, o PEX resolve ainda um frequente problema enfrentado por residências térreas ou pavimentos próximos ao reservatório superior de empreendimentos verticais: a pouca pressão disponível nestes locais. Como se encontram muito próximos ao reservatório, não se tem um grande acúmulo de pressão, causando em casos mais graves até a limitação do uso de alguns equipamentos que necessitam de pressões maiores, como duchas, alguns modelos de lavadoras de roupas ou sanitários com válvulas de descarga. Com o PEX este problema é sanado. Comparando os resultados do apêndice A, nos pavimentos mais próximos do reservatório o ganho de pressão chegou a ser de 62%, benefício esse que se estendeu aos outros pavimentos, promovendo resolução para o frequente problema relatado anteriormente.

Após a realização de todos os cálculos, para determinação de perdas de cargas, pressões dinâmicas e também o diâmetro das tubulações nos sistemas quanto de PVC e de PEX,

levantou-se todo material hidráulico que seria utilizado para a execução do projeto, e também foi analisado todos os cálculos de dimensionamento. Desta maneira, realizou-se orçamentos com o intuito de analisar e determinar qual material possui o melhor custo para o projeto apresentado. Analisando os valores descritos nas tabelas 10 e 11, nota-se que inicialmente o PVC se mostra cerca de 54% mais barato, porém, considerando o fator pós obra, o custo com manutenções de instalações hidráulicas em PEX foi 100% menor comparado às mesmas em PVC. Partindo deste, ponto foram analisados todos os cálculos para se obter qual destes materiais possui uma menor perda de carga, melhores pressões e menor tempo de execução, com intuito de ofertar uma melhor qualidade para utilização da edificação. Vale ressaltar ainda que, se este material for usado conforme especificações do fabricante, possui tempo de vida útil mínimo de 50 anos.

Com os dados obtidos através da construtora X, com o uso do PEX houve, além da grande economia de gastos, um grande aumento na satisfação dos clientes, que após mais de um ano de residência em sua unidade habitacional não teve problemas com este tipo de instalação, que quando ocorre gera um grande desconforto e perda de credibilidade para a empresa.

Num cenário que leva em consideração todos fatores citados, o PEX se sobressai em relação ao PVC, e é capaz de elevar a qualidade de um empreendimento como um todo, diminuir custos e proporcionar usos diversos com o mesmo material.

Apêndice A

Tabela de dimensionamento de água fria em PVC

A.1 – Cálculo do dimensionamento hidráulico em PVC

PLANILHA DE CÁLCULO DE INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA FRIA - PVC												
Trecho	Peso		Vazão (l/s)	Diâmetro	Velocidade	Comprimento			Pressão disponível estática	Perda de carga		Pressão disponível dinâmica
	Unitário	Acumulado				Real	Equivalente	Total		Unitário	Total	
AA	3,8	15,2	1,170	32 mm	1,455 m/s	0,00 m	0,00 m	0,00 m	-	0,081 mca	0,000 mca	-
AB	3,8	15,2	1,170	32 mm	1,455 m/s	15,62 m	20,40 m	36,02 m	5,51 mca	0,081 mca	2,925 mca	2,58 mca
BC	3,8	11,4	1,013	32 mm	1,260 m/s	9,78 m	17,90 m	27,68 m	8,16 mca	0,063 mca	1,747 mca	6,41 mca
CD	3,8	7,6	0,827	32 mm	1,029 m/s	9,78 m	17,90 m	27,68 m	10,80 mca	0,044 mca	1,225 mca	9,57 mca
DE	3,8	3,8	0,585	32 mm	0,728 m/s	9,94 m	14,20 m	24,14 m	13,71 mca	0,024 mca	0,582 mca	13,13 mca

Fonte: OS AUTORES, 2019.

A.2 – Cálculo do dimensionamento hidráulico em PEX

PLANILHA DE CÁLCULO DE INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA FRIA - PEX												
Trecho	Peso		Vazão (l/s)	Diâmetro	Velocidade	Comprimento			Pressão disponível estática	Perda de carga		Pressão disponível dinâmica
	Unitário	Acumulado				Real	Equivalente	Total		Unitário	Total	
AA	3,8	15,2	1,170	32 mm	1,455 m/s	0,00 m	0,00 m	0,00 m	-	0,081 mca	0,000 mca	-
AB	3,8	15,2	1,170	32 mm	1,455 m/s	15,22 m	1,38 m	16,60 m	5,51 mca	0,081 mca	1,348 mca	4,16 mca
BC	3,8	11,4	1,013	32 mm	1,260 m/s	9,38 m	0,86 m	10,24 m	8,16 mca	0,063 mca	0,646 mca	7,51 mca
CD	3,8	7,6	0,827	32 mm	1,029 m/s	9,38 m	0,86 m	10,24 m	10,80 mca	0,044 mca	0,453 mca	10,34 mca
DE	3,8	3,8	0,585	32 mm	0,728 m/s	9,94 m	0,34 m	10,28 m	13,71 mca	0,024 mca	0,248 mca	13,46 mca

Fonte: OS AUTORES, 2019.

REFERÊNCIAS

AMANCO, 2019. **Catálogo predial Amanco**. Disponível em:<www.amanco.com.br/> Acesso em: 15/03/2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalação predial de Água Fria: NBR 5626**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistemas prediais de água fria – Tubos e conexões de PVC 6,3, PN 750 kPa com junta soldável – Requisitos: NBR 5648**. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Dimensões de tubos de PVC rígido: NBR 5580**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistemas de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria – Polipropileno copolímero Random (PPR): NBR 15813**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto e execução de instalações prediais de água quente. NBR 7198**. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistemas de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria em policloreto de vinila clorado (CPVC). NBR 15884**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria – Polietileno reticulado (PE-X) Parte 1: Requisitos e métodos de ensaio: NBR 15939-1**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria – Polietileno reticulado (PE-X) Parte 2: Procedimentos para projeto: NBR 15939-2**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria – Polietileno reticulado (PE-X) Parte 3: Procedimentos para instalação: NBR 1539-3**. Rio de Janeiro, 2011.

ASTRA, 2019. **Produtos PEX**. Disponível em:<www.astra-sa.com.br/> Acesso em: 18/06/2019.

BRANDÃO, R.G. **Estudo de viabilidade da utilização de PVC, PEX e PPR em empreendimentos multifamiliares**. 2010. 104p. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

CREDER, Hélio. **Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. 6ª ed. Rio de Janeiro - RJ: LTC, 2006. 391 p.

GUGEL, Eloir Carlos. **Instalações prediais de água quente**. 2005. 22 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2005.

HIDRO JÁ, 2019. **Catálogo predial Hidro já**. Disponível em:<www.hidroja.com/> Acesso em: 15/03/2019.

JORGE, Felipe Mignone Quinteiros. **Práticas construtivas capazes de reduzir o tempo de execução de obra**. 2013. 112 p. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

LIMA, D.S. **Avaliação do ciclo de vida dos tubos de PVC produzidos no Brasil**. 2010. 63p. Monografia apresentada à Comissão do Trabalho de Formatura do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Unesp, Campus de Rio Claro (SP). Rio Claro, 2010.

MOREIRA, G.L.A. **Inovação tecnológica e aplicação de novos sistemas construtivos nas instalações hidráulicas e sanitárias**. 2010. 50p. Trabalho de Final de Curso - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

OLIVE, Luan Felipe Rodrigues; PEREIRA, Lucas Fernando Freire. **Estudo comparativo entre projeto hidráulico em PVC e PEX**. 2018. 69 p. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Graduação em Engenharia Civil) - UNIEVANGÉLICA, Anápolis, 2018.

POSSAMAI, J.Z. ; BACK, N. **Estudo comparativo entre diferentes tipos de tubulações nas redes de instalações hidráulicas prediais**. 2012. 15p. Artigo Científico - UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, 2012.

SÁ, Nuno José Marques E. **Optimização de sistemas prediais de distribuição de água fria**. Orientador: Professor Carlos Alberto Baptista Medeiros. 2012. 133 p. Dissertação (mestre em engenharia civil — especialização em construções) - Faculdade de engenharia - Universidade do Porto, Portugal, 2012.

SOUZA, Caroline Corrêa de. **Aspectos econômicos e hidráulicos da utilização do PEX como alternativa em projetos de instalações hidráulicas prediais**. Orientador: Professor Doutor Ramon Lucas Dalsasso. 2011. 73 p. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis - SC, 2011.

TIGRE, 2019. **Catálogo técnico predial Tigre**. Disponível em:<www.tigre.com.br/> Acesso em: 15/03/2019.