

KLEBER BASÍLIO SENEFONTE



**DIRETRIZES DE PROJETO, EXECUÇÃO E CONTROLE DE
PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO PROTENDIDO**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para a obtenção de Título
de MBA – Especialista em Tecnologia e Gestão na
Produção de Edifícios.

Orientadora:
Profa. Dra. Mércia Maria S. Bottura de Barros

**São Paulo
2007**

FICHA CATALOGRÁFICA

Senefonte, Kleber Basílio

Diretrizes de projeto, execução e controle de pisos industriais de concreto protendido, São Paulo, 2007.

80 p

Monografia (Especialista) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

MBA Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios - TGP

Dedico este trabalho:

À minha esposa Márcia e minha filha Bárbara, fontes de inspiração, pelo amor, companheirismo e dedicação; e também pela compreensão aos momentos de convívio que tivemos que abdicar. “Elas são as minhas maiores conquistas!”.

Aos meus pais, por terem “plantado” os registros mais importantes, que alimentam e aquecem os meus sonhos e desejos de muitas realizações.

À minha orientadora Mércia M. S. B. Barros, pela contribuição, motivação e dedicação inestimáveis na condução para a elaboração deste trabalho.

Ao Amigo Fernandes, pela contribuição dos textos fornecidos, das sugestões, das obras realizadas em conjunto e também pelas longas conversas entusiasmadas sobre pisos pretendidos.

Aos Amigos Renato e Marcelo, pelo apoio e incentivo mútuos, verdadeiros companheiros de jornada durante o curso.

Índice

Resumo:.....	6
Capítulo 1 - Introdução	7
1.1) Justificativa:.....	7
1.2) Objetivo:.....	10
1.3) Metodologia	11
1.4) Estrutura do Trabalho	11
Capítulo 2 - Tipos de Pisos Industriais em Concreto.....	12
2.1) Piso de Concreto Simples.....	13
2.2) Piso de Concreto Armado.....	14
2.3) Piso de Concreto Reforçado com Fibras Estruturais e Fibras Não Estruturais... 16	
2.3.1) Piso em concreto reforçado com fibras de aço estrutural	16
2.3.2) Piso em concreto reforçado com fibras não estruturais	20
2.4) Piso em Concreto Armado e Reforçado (sistema misto)	22
2.5) Piso em Concreto Protendido	23
Capítulo 3 – Diretrizes de Projeto de Piso Industrial em Concreto Protendido com a Utilização de Cordoalhas Engraxadas.....	28
3.1) Requisitos de Projeto de Piso Industrial de Concreto Protendido.....	30
3.2) Informações necessárias no Projeto.....	31
3.3) Características do Subleito e Sub- Base	32
3.4) Características do Concreto	34
3.5) Características das Cordoalhas Engraxadas.....	37
3.6) Critério de Dimensionamento das Placas	41
3.7) Interação com Elementos Estruturais	44
3.8) Projeto gráfico do piso industrial	46
Capítulo 4: Diretrizes de Execução e Controle	50
4.1) Tecnologia de Execução.....	50
4.1.1) Regularização ou Preparo do Subleito.....	50
4.1.2) Execução da Sub-base	53
4.1.3) Montagem das Fôrmas:	55
4.1.4) Colocação da Camada de Deslizamento	56

4.1.5) Armação da Placa	57
4.1.6) Concretagem da Placa	59
4.1.7) Acabamento Superficial	61
4.1.8) Cura do Concreto	66
4.1.9) Protensão	66
4.1.10) Juntas	67
4.2) Controle da Execução	68
4.2.1) Controle da Regularização ou Preparo do Subleito	69
4.2.2) Controle da Sub-base	70
4.2.3) Controle do Posicionamento das Fôrmas	70
4.2.4) Controle da Armação da Placa	71
4.2.5) Controle da Concretagem da Placa	73
4.2.6) Controle do Acabamento Superficial Final	74
4.2.7) Controle da Protensão	75
Capítulo 5: Considerações Finais	77
5.1) Quanto ao objetivo proposto	77
5.2) Quanto à continuidade do trabalho	78
Referências Bibliográficas	79
Bibliografia Consultada	80

Resumo:

A inserção do Brasil dentro de um contexto de economia globalizada trouxe diversas alterações à sociedade, inclusive à tecnologia tradicionalmente empregada na construção civil. Há alguns anos, desde a abertura econômica e o estabelecimento de alianças comerciais, a indústria da construção civil brasileira colocou-se diante de novas tecnologias de produtos e métodos construtivos.

Inseridos neste contexto, os pisos de plantas industriais e centros de distribuição desempenham um importante papel, pois se constituem na plataforma por onde o trabalho industrial se realiza e, conseqüentemente, por onde se escoia a produção. Unidades industriais e centros de distribuição modernos impõem condições particulares de higiene, limpeza e de operação que exigem a especificação e execução de pisos adequados às condições de utilização e solicitação. Infelizmente, muitos ainda são os casos de insucesso, onde se verifica a incidência de várias patologias, advindas de falhas no dimensionamento e ou execução dos pisos, que acarretam a deterioração precoce desses pisos.

Frente a este cenário, o presente trabalho tem por objetivo, sistematizar as diretrizes de projeto, de execução e controle de pisos industriais de concreto, particularmente o de concreto protendido, de modo que se tenha um adequado desempenho do produto final.

O desenvolvimento do presente trabalho foi motivado pelo histórico profissional do autor na execução de pisos industriais de concreto protendido, pela oportunidade de apresentação de uma tecnologia relativamente nova, enfatizando a abordagem do piso como um sistema, abordando todas as etapas que constituem o sistema piso.

Para se atingir o objetivo do trabalho, apresenta-se uma breve revisão da literatura disponível associada à larga experiência do autor, abordando-se aspectos relativos às características ligadas ao subleito, especificação do concreto e das cordoalhas engraxadas, diretrizes de dimensionamento do piso, interação com outros elementos estruturais, tecnologia e controle da execução.

Como resultado deste trabalho tem-se a proposição de diretrizes de projeto, execução e controle de pisos industriais de concreto protendido que poderão ser utilizadas, tanto pelo meio técnico como acadêmico.

Capítulo 1 - Introdução

1.1) Justificativa:

Nas indústrias, pisos bem projetados e executados podem resistir a solicitações conseqüentes de esforços provenientes de carregamentos dinâmicos (trânsito de empilhadeiras e demais veículos) e estáticos (cargas derivadas de estocagem). Porém, condições extremas de impacto sobre a sua superfície e, sobretudo, em suas juntas, podem provocar a sua rápida deterioração, tornando-os inseguros e criando problemas sérios tais como, a redução na velocidade de deslocamento de insumos, o que afeta diretamente a produtividade e os custos de produção, bem como, criando problemas de segurança.

O uso crescente de equipamentos mecânicos especiais de manejo de carga, como por exemplo, empilhadeiras com garfos de longo alcance e sistemas automáticos de transporte, bem como a necessidade de desempenho frente às mais variadas utilizações (empilhadeiras de grande capacidade de carga, armazenagem com capacidade de atingir alturas elevadas acima de 15 metros), requerem pisos com superfícies lisas e com capacidade e resistência à abrasão elevadas, já que em se tratando de empilhadeiras de rodas rígidas, sua área de contato é cerca de 30% menor do que uma roda pneumática (pneu com câmara) acarretando um desgaste acentuado na camada superficial do piso ou pavimento.

Analisando a evolução dos pisos e pavimentos nos últimos vinte anos, observa-se que as dimensões dos panos destes pisos e pavimentos aumentaram, exigindo dos projetistas, construtores e fabricantes de materiais, novas tecnologias, novos métodos de cálculo, novos materiais e novos equipamentos que aliados às boas técnicas, são responsáveis por vencer vãos maiores objetivando atender às necessidades atuais, como os destacados nas figuras 1.1 e 1.2..



Figura 1.1 – Bobina de cordoalha engraxada e plastificada para protensão não aderente (Fonte Belgo Bekaert)



Figura 1.2 – Equipamento *Laser Screed* para nivelamento, adensamento e sarrafeamento do concreto ¹

¹ As figuras contendo fotos, cuja autoria não estiver identificada, constituem-se em fotos do autor.

Os pisos industriais de concreto em um período relativamente curto de tempo (aproximadamente 20 anos) evoluíram para acompanhar esta tendência, indo de um piso de calçada em dama, com baixa demanda de responsabilidade técnica com pequenos módulos (1m x 1m) utilizando concreto simples, até pavimentos protendidos com dimensões acima de 12.000 m², sem juntas.

Frente a este cenário, pode se dizer que toda a evolução baseia-se na busca de uma maior vida útil de um piso industrial, sendo que entre os principais fatores que contribuem para isto estão: a redução do número de juntas de retração, utilização de concreto com adequada resistência à abrasão e características compatíveis da sub-base.

Segundo Vasconcelos (1979), pode-se afirmar, de modo geral, “que a durabilidade de um piso ou pavimento de concreto diminui quando aumenta o número de juntas, seja pelas condições extremas de impacto devido ao trânsito de equipamentos e veículos, seja pela infiltração de água pelas juntas, que percolando pelo terreno, provocando saída das partículas finas, tornando a base mais recalçável e, portanto, favorecendo o aumento das solicitações da placa sob a ação dos carregamentos a que esta está submetida. Os defeitos que aparecem nos pisos e pavimentos de concreto quase sempre aparecem nas juntas ou em fissuras de retração”.

Segundo Bina, Teixeira (2002), “se a maioria das futuras patologias dos pisos e pavimentos está ligada diretamente às juntas, e se as juntas são as principais responsáveis pelas interdições e redução da vida útil do piso, criou-se a necessidade pela busca de uma solução capaz de atender a esse requisito, neste caso a solução está diretamente relacionada a um melhor método construtivo que permite a redução do número de juntas, que atualmente pode-se dizer tratar-se dos pisos e pavimentos de concreto protendido”.

A protensão constitui um meio eficiente de diminuir o número de juntas. Com uma pré-compressão de pelo menos 7kgf/cm² é possível reduzir enormemente a probabilidade de fissuração dos pisos e pavimentos de concreto.

Segundo Schmid (1997), “as juntas de dilatação, maior fonte de quebras na placa convencional, podem ser distanciadas de até 150 m umas das outras, sendo, porém de execução mais sofisticada”.

Segundo Vasconcelos (1979), “a principal razão da utilização da protensão está na diminuição do número de juntas e na eliminação do perigo de fissuração dos pisos e pavimentos de concreto”.

Frente a estas considerações, a utilização do concreto protendido para execução de pisos industriais, constitui-se de tecnologia que oferece uma alternativa tecnicamente superior, com elevada durabilidade e economicamente competitiva.

Trata-se de uma tecnologia relativamente nova e ainda pouco conhecida, portanto, sistematizar as diretrizes de projeto, de execução e de controle, contribuirá para difundir esta tecnologia.

No presente trabalho será abordado a execução do piso como um sistema - desde características ligadas ao subleito, concreto e demais materiais constituintes, critérios de dimensionamento, interação com outros elementos estruturais, tecnologia de produção, métodos de ensaio e controle. Através da exploração de bibliografias acerca do tema, bem como, aproveitando o histórico profissional do autor na execução de várias obras de piso industrial de concreto protendido.

1.2) Objetivo:

O presente trabalho tem por objetivo sistematizar as diretrizes para o projeto, a execução e o controle de pisos industriais de concreto protendido, contribuindo para a difusão desta técnica junto aos meios acadêmico, técnico e à sociedade.

1.3) Metodologia

O presente trabalho está fundamentado em pesquisas à Norma Brasileira NBR7197 – Projeto de Estruturas de Concreto Protendido, especificações técnicas, boletins e manuais técnicos de fabricantes de materiais e equipamentos, pesquisa bibliográfica, entrevistas com projetistas, investidores, gerenciadores e executores e na experiência do autor, que já participou da produção de 250.000 m² de pisos empregando esta tecnologia.

1.4) Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos, sendo o primeiro destinado à introdução, onde se destacam as justificativas, a partir do contexto atual dos pisos protendidos, a delimitação do objetivo do trabalho e a metodologia empregada na elaboração do mesmo.

O segundo capítulo está destinado à definição de piso industrial, bem como, à descrição dos diferentes tipos de piso industrial em concreto, incluindo o piso de concreto protendido e a definição do conceito de protensão.

O terceiro capítulo dá início ao aprofundamento ao tema principal do trabalho, iniciando pela apresentação do piso em concreto protendido com a utilização de cordoalhas engraxadas e das diretrizes de projeto. Neste capítulo serão abordados os aspectos relativos às informações necessárias no projeto, características do subleito e sub-base, características do concreto, características das cordoalhas engraxadas, critério de dimensionamento das placas e interação com elementos estruturais. Ao final deste capítulo constam no anexo três projetos geométricos de obras executadas pelo autor.

O quarto capítulo está destinado à apresentação das diretrizes de execução e controle. Neste capítulo serão abordados os aspectos relativos à execução e controle de todas as etapas executivas de um piso industrial de concreto protendido, desde a execução do subleito ao acabamento final do piso.

O quinto capítulo está destinado às considerações finais acerca do tema pesquisado.

Capítulo 2 - Tipos de Pisos Industriais em Concreto

Segundo Carvalho, Pitta (1996), “os pisos industriais são estruturas que devem suportar, na maior parte das vezes, solicitações tão diferenciadas em magnitude quanto em tipo e forma de atuação, o que lhes torna a concepção e o projeto atividades que exigem precauções extremadas, posto que o partido adotado deva ser a solução que resolva e controle todas as situações de carga e ofereça resultados economicamente viáveis”.

O conceito proposto pelos autores anteriores é bastante genérico, servindo para qualquer elemento estrutural de um edifício e quando salientam a exigência de “precauções extremadas”, pode-se estar exagerando em relação a determinados tipos de pisos industriais, pois estes são estruturas horizontais, continuamente apoiadas, com capacidade de redistribuição de esforços, o que os torna diferentes das estruturas de um edifício, por exemplo. Portanto, neste trabalho propõe-se redefinir o conceito de “pisos industriais” da seguinte forma:

“Pisos industriais são estruturas horizontais, continuamente apoiadas, que devem suportar, na maior parte das vezes, solicitações diferenciadas em magnitude, tipo e forma de atuação tais como carregamentos dinâmicos – tráfego de equipamentos e veículos – e estáticos – cargas derivadas de estocagem de matérias primas ou produtos acabados”.

Serão apresentados neste capítulo os diversos tipos de piso de concreto existentes, bem como, a diferenciação da concepção estrutural e funcional dos mesmos para atendimento aos requisitos de carregamentos aos quais os referidos pisos são submetidos.

2.1) Piso de Concreto Simples

O piso de concreto simples é composto de placas contíguas, executadas em damas ou faixas alternadas, com largura e comprimento reduzidos, formando faixas de juntas longitudinais e transversais.

Segundo Carvalho, Pitta (1996), “as juntas das placas de piso de concreto simples têm a função de combater as tensões geradas pelas variações térmicas e higroscópicas e controlar a formação de fissuras devidas à retração do concreto”.

O dimensionamento destes pisos resulta em espessuras elevadas já que o concreto possui excelente resistência à compressão e baixa resistência à tração. O número de juntas neste tipo de piso é elevado, já que o concreto simples não é capacitado para absorver os efeitos de retração intensa. As dimensões das placas são reduzidas, não ultrapassando, na maioria dos casos, 30m², conforme ilustrado na figura 2.1. Outro fator de desvantagem está ligado à necessidade de barras de transferência de grande diâmetro, pois seu dimensionamento está ligado diretamente à espessura do pavimento.

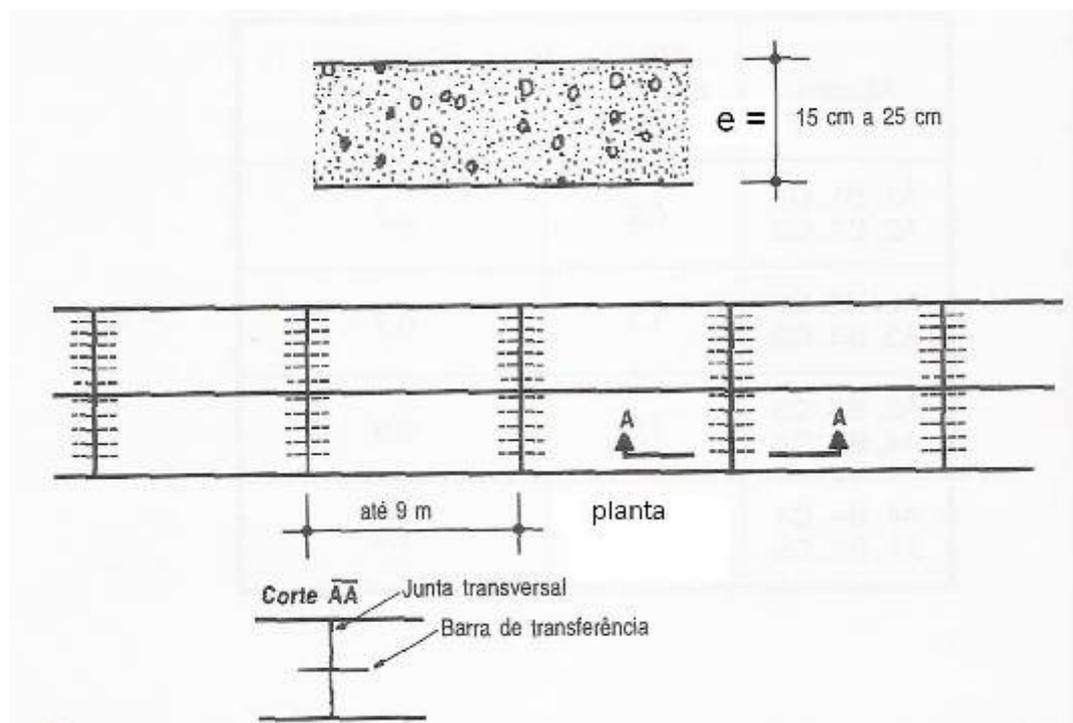


Figura 2.1 – Planta e perfil típico de piso de concreto simples, onde se observam as dimensões reduzidas das placas. (Fonte Carvalho, Pitta, 1996).

Nesse tipo de piso somente o concreto contribui para a resistência às tensões de tração na flexão produzidas pelos esforços aplicados sobre o piso.

Segundo Bina, Teixeira (2002), pode-se dizer que este método construtivo é o mais antigo, além disso, este é de tecnologia mais simples na construção de um piso industrial, e, até anos atrás, o mais utilizado. No entanto, por apresentar limitações como elevada incidência de juntas e por conseqüência mais manutenção, sua utilização vem diminuindo.

Ainda segundo esses mesmos autores, estes pisos de concreto são dimensionados para absorver carregamentos em que só a camada de concreto absorve as tensões de tração na flexão, não sendo necessário nenhum tipo de armadura. Um exemplo de emprego dessa tecnologia que se pode citar é a rodovia Castelo Branco SP no seu trecho pedagiado, na interligação entre São Paulo e o bairro de Alphaville. Outro exemplo é a rodovia dos Imigrantes que liga São Paulo ao litoral.

2.2) Piso de Concreto Armado

O piso de concreto armado utiliza armaduras com finalidade estrutural, isto é, a armadura tem, de fato, a função de combater as tensões de tração na flexão geradas na placa. A armadura principal, habitualmente constituída de telas eletrosoldadas ou de aço convencional em barras, é sempre colocada na parte inferior das placas, região onde as principais tensões se desenvolvem. Neste tipo de piso é possível executar placas de até 25 metros de comprimento, desde que se inclua uma armadura complementar na face superior destinada a absorver os esforços devidos à retração e variações térmicas do concreto, conforme figura 2.2.

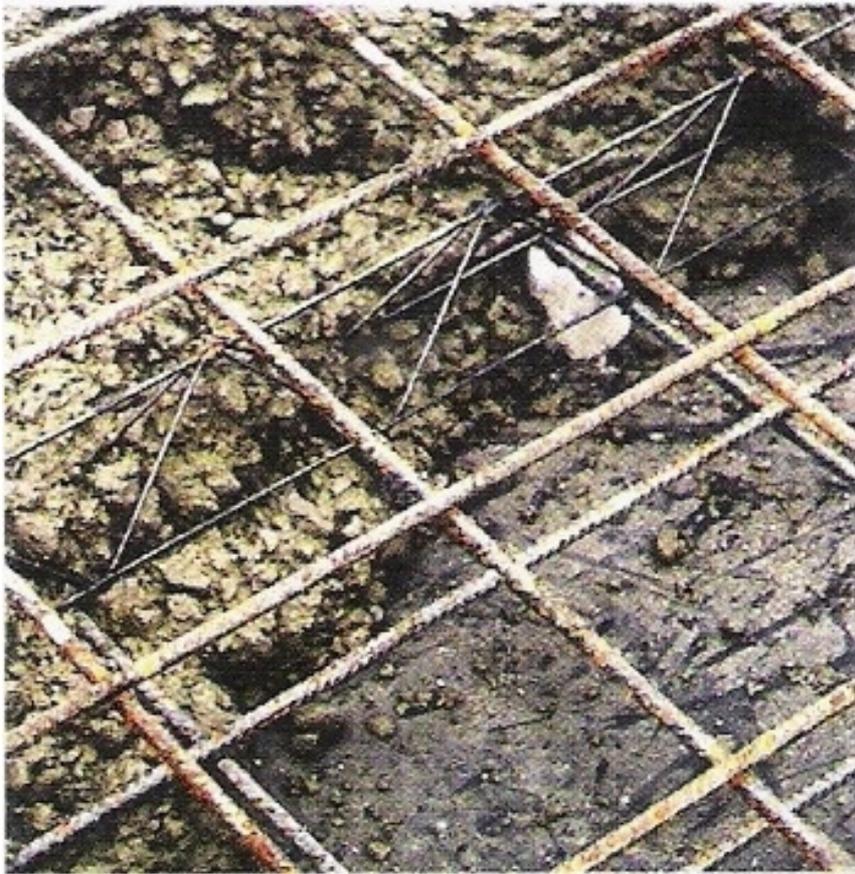


Figura 2.2 – Detalhe de piso estruturalmente armado com utilização de tela eletrosoldada (Fonte Ibracon s.d.)

Quando se utiliza armadura simples, ela é posicionada a 3 cm da face superior do piso, apenas para absorver os esforços provenientes da retração; esta armadura não tem nenhuma função estrutural, isto é, não é dimensionada para absorver esforços de tração na flexão do conjunto, mas somente para carga distribuída, onde a tensão de tração na flexão é produzida na parte superior da seção do piso. Alguns projetistas afirmam que a tela superior é estrutural, mas pode-se dizer que a contribuição da tela superior na região inferior tracionada não ultrapassa 10 %. Desta maneira, o dimensionamento utilizando armadura simples deverá ser feito utilizando os critérios de cálculo para concreto simples.

2.3) Piso de Concreto Reforçado com Fibras Estruturais e Fibras Não Estruturais

Este tipo de piso caracteriza-se pela sua execução com adição de fibras de aço e fibras sintéticas diretamente ao concreto, em substituição às armaduras estruturais e armaduras de retração. A dosagem e o emprego de cada tipo de fibra dependem das características das solicitações dos carregamentos dinâmico e estático aos quais o piso está submetido.

2.3.1) Piso em concreto reforçado com fibras de aço estrutural

Segundo Bina, Teixeira (2002) “nos pisos industriais e pavimentos rígidos de concreto apoiados sobre base elástica, as tensões produzidas pelos carregamentos externos: cargas distribuídas, porta-pallets, empilhadeiras e trens-tipo variados são tensões de certa forma pequenas comparadas a uma laje suspensa. Desta forma pode-se substituir totalmente a armadura pelas fibras de aço, com dosagens que variam de 10 a 35 kg/m³, dependendo do tamanho das placas e dos seus carregamentos”.

As fibras de aço foram introduzidas nos pisos industriais brasileiros há cerca de 15 anos, inicialmente trazidas pela Belgo Mineira Bekaert chamadas de fibras Dramix; posteriormente, foram desenvolvidas fibras de aço de outros fabricantes como as fibras Harex fabricadas pela Vulkan e as fibras Sheikan oriundas do sub-produto da palha de aço, conforme figura 2.3.

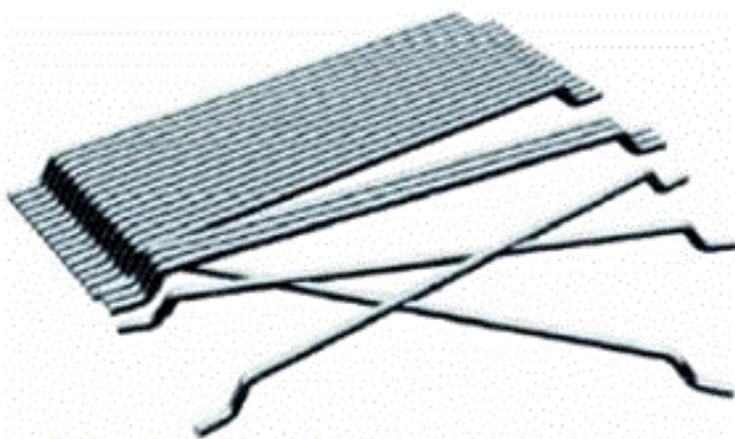


Figura 2.3 – Fibra de aço Dramix (Fonte Catálogo Belgo Bekaert)

Segundo Figueiredo (2000) “as fibras de aço podem ser classificadas como fibras de alto módulo. Logo podem ser consideradas como fibras destinadas ao reforço primário do concreto, ou seja, não se destinam ao mero controle de fissuração”.

Como principais características das fibras de aço, esse mesmo autor destaca:

Fator de forma: é a relação entre o comprimento da fibra e seu diâmetro, (caso sejam fibras de seção transversal não circular, deve-se considerar área equivalente). Fator de forma acima de 65 pode causar o afloramento superficial, ou seja, a presença de fibras na superfície. Habitualmente, recomenda-se trabalhar com fator de forma entre 45 a 65;

Geometria da fibra: influencia de forma significativa a ductilidade dos compósitos. Fibras com ancoragens em ganchos, na extremidade, proporcionam maior ductilidade a flexão ao compósito.

Resistência a tração: a resistência à tração das fibras é da ordem 600 a 1200 MPa, dependendo do processo de fabricação da mesma. As resistências maiores são obtidas através da fabricação por processo de trefilação.

Segundo Figueiredo (2000) “recomenda-se a utilização de fibras de aço cujo comprimento seja igual ou superior ao dobro da dimensão máxima característica do agregado utilizado no concreto. Em outras palavras, deve haver uma compatibilidade dimensional entre agregados e fibras de modo que estas interceptem com maior frequência a fissura que ocorre no compósito. Esta compatibilidade dimensional possibilita a atuação da fibra como reforço do concreto e não como mero reforço da argamassa do concreto. Isto é importante pelo fato da fratura se propagar preferencialmente na região de interface entre o agregado graúdo e a pasta para concretos de baixa e moderada resistência mecânica. Assim, a fibra que deve atuar como ponte de transferência de tensões nas fissuras deve ter um comprimento tal que facilite o seu correto posicionamento em relação à fissura, ou seja, superior a duas vezes a dimensão máxima do agregado”.

As grandes vantagens da fibra de aço estão relacionadas à facilidade de execução, pois sua dosagem é realizada na esteira dos agregados da concreteira ou no próprio caminhão betoneira. Isto significa que o concreto é lançado já reforçado, não sendo

necessário adicionar nenhum outro tipo de armadura no piso (exceto nas interfaces com estruturas existentes – p.ex: reforços de pilar), produzindo ganho de produtividade na obra. No Brasil, existem várias obras realizadas com esta tecnologia, algumas com placas únicas com dimensões acima de 1000 m² e com carregamentos variados.

Alguns inconvenientes são encontrados com este tipo de método construtivo. Como se trata de um número alto de fibras por kilograma de fibra e uma quantidade elevada de fibras em um metro cúbico de concreto - acima de 20.000 fibras - o afloramento é inevitável. Mesmo trabalhando com concretos com abatimento (*slump*) acima de 120mm, “salgamento” mineral ou metálico de combate à abrasão na superfície do concreto e estudo prévio do traço de concreto não se pode garantir que não apareça nenhuma fibra na superfície.

“Salgamento” é definido como o processo de aplicação de elementos endurecedores de superfície, composto de agregados minerais – quartzo, basalto e diabásio – ou agregados metálicos – granalhas de aço de formato lamelar (dimensões 3 a 4mm de comprimento e largura e 0,2mm de espessura), – dosados juntamente com cimento cinza ou colorido, que são aplicados sobre a superfície do piso , através de aspersão mecânica, logo após a etapa de sarrafeamento do concreto, conforme figura 2.4.

O “salgamento” tem como principal função aumentar a resistência superficial à abrasão do piso de concreto, podendo ser feito com agregados de origem metálico ou mineral, (a função de evitar o aparecimento superficial de fibras é apenas uma função secundária). Sua espessura aproximada após a aplicação é da ordem de 2 mm.

Como endurecedores de superfície pode-se ter também os produtos químicos de solução aquosa, à base de silicatos e siliconatos, aplicados diretamente sobre a superfície do piso de concreto endurecido, após 7 a 14 dias, dependendo do tipo de cimento empregado. Sua atuação dá-se por reação química com os carbonatos de cálcio liberados pelas reações de hidratação do cimento, com os silicatos e siliconatos presentes na solução, promovendo um ganho de resistência superficial à abrasão no piso de concreto da ordem de 40%, conforme figuras 2.5 e 2.6.



Figura 2.4 – “ Salgamento “ com agregado mineral e cimento na cor cinza.



Figura 2.5 – Dosagem de produto endurecedor de superfície de solução aquosa para aplicação.



Figura 2.6 – Aplicação e espalhamento de endurecedor de superfície de solução aquosa.

2.3.2) Piso em concreto reforçado com fibras não estruturais

No Brasil existem vários tipos de fibras não estruturais para utilização em concreto para pisos industriais, sendo as principais de polipropileno, nylon e de vidro, ilustradas nas figuras 2.7 e 2.8.

Segundo Figueiredo (2000) “o reforço do concreto com fibras de polipropileno, devido ao baixo módulo de elasticidade destas fibras, só atua com ganho significativo de desempenho, nas primeiras idades. Isto ocorre porque nesta situação o módulo de elasticidade do concreto também é baixo e as deformações estão associadas a um baixo nível de tensão, compatível com aquele absorvido pelas fibras de polipropileno. Desta forma, as fibras têm sido destinadas basicamente ao controle de fissuração por retração restringida que comumente surge durante a hidratação inicial do cimento”.

Segundo Bina, Teixeira (2002) “a utilização das fibras sintéticas se dá apenas para combate à retração do concreto, não possuindo nenhuma finalidade estrutural; seu

dimensionamento é realizado como concreto simples, em que somente a resistência a tração na flexão do concreto é solicitada. A fibra sintética não fornece ao concreto nenhuma contribuição de ductilidade (capacidade do concreto se deformar sem romper, principal aplicabilidade das fibras de aço)”.

Ainda segundo esses autores, “as dosagens utilizadas com este tipo de fibra ficam em torno de 600g/m³ a 1800g/m³, dependendo da dosagem de cimento por m³ de concreto, relação água / cimento, espessura do piso, se o ambiente é interno ou externo e da umidade relativa do ar. As dosagens também mudam conforme a região”.

A correta dosagem das fibras deve levar em consideração também fatores como a umidade relativa do ar, incidência de ventos e condição de exposição e estanqueidade do ambiente onde o piso será executado.

A utilização de fibras sintéticas para pisos de concreto deverá ser avaliada em função do desempenho proporcionado por cada uma das fibras disponíveis, em função de parâmetros de consumo e custo de cada tipo, tendo como parâmetros suas características, cujas principais estão sintetizadas na tabela 2.1, obtida a partir de referências diversas, dentre as quais Bina, Teixeira (2002); Figueiredo (2000); e Agopyan (1993).

Tabela 2.1 – Características Principais das Fibras Sintéticas

Tipo da Fibra	Módulo de Elasticidade GPa	Nº de Fibras por Kilograma	Resistência à Tração MPa	Densidade g/cm³
Fibra de Vidro	72	212.000.000	1750	2,68
Fibra de Nylon	4	60.000.000	800	0,90
Fibra de Polipropileno	3,5	120.000.000	700	1,10



Figura 2.7 – Fibra de Vidro
(Fonte Catálogo Saint Gobain)



Figura 2.8 – Fibra de Polipropileno
(Fonte Catálogo Fitesa)

2.4) Piso em Concreto Armado e Reforçado (sistema misto)

Este tipo de piso caracteriza-se pela sua execução com a utilização de fibras de aço ou sintéticas adicionadas ao concreto, a fim de combater os esforços de retração e variações térmicas, juntamente com o emprego de armadura na região inferior da placa a fim de atender às solicitações dos carregamentos estáticos e dinâmicos aos quais o piso será submetido.

Segundo Bina, Teixeira (2002) “muitos pisos industriais construídos no Brasil são feitos utilizando armação em tela dupla, sendo a tela inferior responsável por absorver os esforços de tração na flexão, devido aos carregamentos externos, e a armadura superior responsável por absorver as tensões produzidas pela retração. Estruturalmente e tecnicamente a solução está correta para placas abaixo de 300m² (15m x 20m), mas economicamente e construtivamente este sistema de tela dupla é caro e trabalhoso, necessitando de muito tempo para o correto posicionamento das armaduras, onde a seqüência de trabalho se dá da seguinte forma: posicionamento da tela inferior, respeitando o recobrimento da armadura, em seguida o posicionamento de uma treliça metálica que dará suporte à tela superior, esta posicionada por último. Esta

seqüência construtiva pode limitar grandes produtividades, pois demanda maior quantidade de mão de obra para manipulação e posicionamento da tela superior, podendo esta tela, em grande parte dos casos, ser substituída, juntamente com a treliça, pelo emprego de uma dosagem calculada de fibras sintéticas.”

Podem-se conferir ainda significativas reduções de custos e aumento de produtividade, quando se executa placas com dimensões inferiores a 15 metros, promovendo ao concreto um eficiente combate à retração.

2.5) Piso em Concreto Protendido

Segundo Pfeil, (1980), “a protensão pode ser definida como o artifício de introduzir, numa estrutura, um estado prévio de tensões, de modo a melhorar sua resistência ou seu comportamento, sob ação de diversas solicitações”.

Segundo Pfeil, (1980), o artifício de protensão tem uma importância particular no caso do concreto, pelas seguintes razões:

- a) O concreto é um dos materiais de construção mais importantes. Os ingredientes necessários à confecção do concreto (cimento, areia, pedra e água) são disponíveis a baixo custo em todas as regiões habitadas da Terra;
- b) O concreto tem boa resistência à compressão. Resistências características da ordem de 20 a 50MPa são utilizadas nas obras;
- c) O concreto tem pequena resistência à tração, da ordem de 10% da resistência à compressão. Além de pequena, a resistência à tração do concreto é pouco confiável. De fato, quando o concreto não é bem executado, a retração do mesmo pode provocar fissuras, que diminuem ainda mais a resistência à tração do concreto, antes mesmo de atuar qualquer solicitação. Devido a essa natureza aleatória da resistência à tração do concreto, ela é geralmente desprezada nos cálculos.

Sendo o concreto um material de propriedades tão diferentes à compressão e à tração, o seu comportamento pode ser melhorado aplicando-se compressão prévia (isto é, protensão) nas regiões onde as solicitações produzem tensões de tração.

A protensão do concreto é realizada, na prática, por meio de cabos de aço de alta resistência, tracionados e ancorados no próprio concreto. O artifício da protensão desloca a faixa de trabalho do concreto para o âmbito das compressões, onde o material é mais eficiente. Com a protensão, aplicam-se tensões de compressão nas partes da seção tracionadas pelas solicitações dos carregamentos.

d) As resistências de concreto, utilizadas em concreto protendido, são duas a três vezes maiores que as utilizadas em concreto armado. Os aços utilizados nos cabos de protensão têm resistência três a cinco vezes superiores às dos aços usuais do concreto armado.

Segundo Schmid (1997), a idéia de aplicar concreto protendido em pisos industriais e pavimentos rígidos tem mais de 50 anos.

As primeiras experiências feitas na Europa e nos Estados Unidos utilizando o concreto protendido em pavimentação datam de 1945. Na Austrália, na década de 60, a solução foi utilizada em pisos industriais.

Pavimentos e pisos industriais de concreto protendido são feitos no Brasil há mais de 30 anos, tendo sido utilizadas as tecnologias da protensão aderente com bainhas metálicas, e não aderente com bainhas de papel e betume e recentemente com a utilização de cordoalhas engraxadas.

No piso de concreto simples, a espessura da placa depende dos carregamentos estáticos e dinâmicos, da resistência da tração na flexão do concreto e da capacidade de suporte da base.

No piso rígido em concreto protendido, a resistência à tração é controlada pela protensão que comprime previamente o concreto, criando nele uma reserva de tensão que permite uma redução sensível na espessura da placa.

A placa assim comprimida se constitui num piso sem juntas e sem trincas, resguardando a sub-base principalmente do fenômeno do "bombeamento", fenômeno caracterizado pela expulsão, sob forma de lama fluida, e de baixo para cima, de solos finos plásticos porventura existentes no subleito do pavimento ou piso de concreto.

O fenômeno do bombeamento dá-se pela infiltração de água pelas juntas, que percolando pelo terreno, provoca a saída das partículas finas, tornando a base mais

recalcável e, portanto favorecendo o aumento das solicitações da placa sob a ação dos carregamentos a que esta submetida.

O sentido econômico do concreto protendido consiste no fato de que os aumentos percentuais de preço são muito inferiores aos acréscimos de resistência utilizáveis, tanto para o concreto como para o aço de protensão.

Segundo Schmid (1997), em princípio, há três maneiras de se conseguir a protensão de um piso ou pavimento:

- a) Protensão externa por meio de macacos hidráulicos ou tóricos apoiados em estruturas ancoradas no solo.
- b) Pré-tensão por meio de fios ou cordoalhas de aço pré-tensionados entre estruturas ancoradas no solo, com transferência imediata da força de protensão ao concreto, por aderência, largamente utilizada na fabricação de peças pré moldadas, conforme figura 2.9.

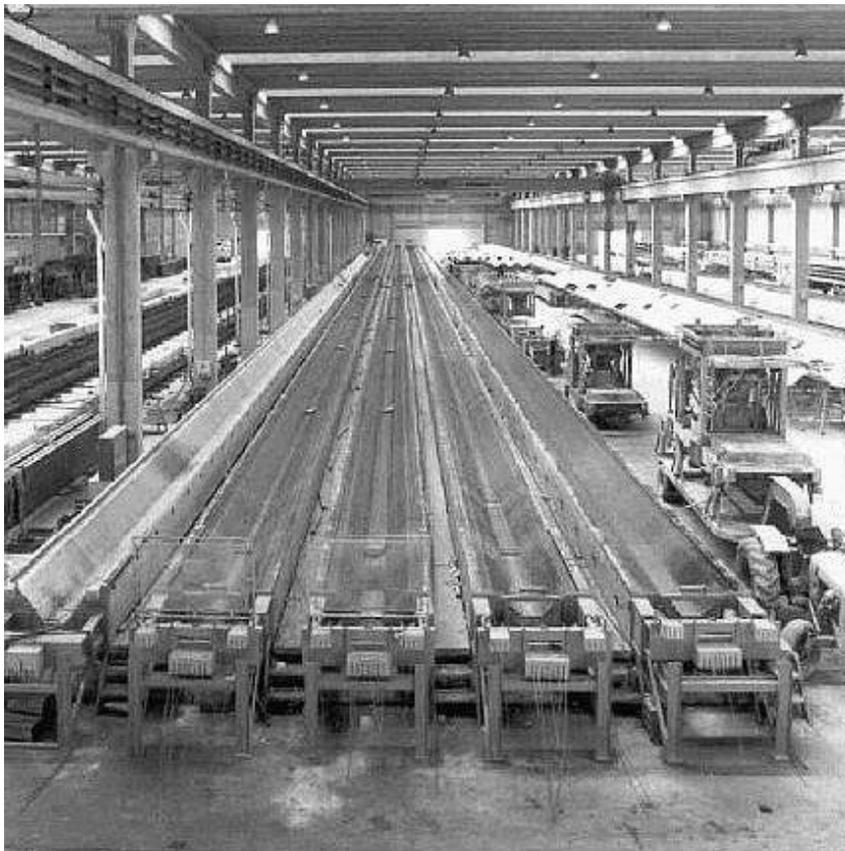


Figura 2.9 – Pista de pré tensão para fabricação de vigas pré moldadas. (Fonte Emerick, 2005)

c) Protensão do concreto através de sistemas de pós-tensão, com ou sem aderência posterior, conforme figuras 2.10 e 2.11.



Figura 2.10 – Vista de sistema de protensão aderente em pavimento rígido. (Fonte Schmid 1997)



Figura 2.11 – Vista de sistema de protensão não aderente em piso de concreto.

Das três soluções prevaleceu a terceira, recebendo uma atenção especial na Europa Ocidental, onde a firma alemã *Dyckerhoff und Widmann* desenvolveu a solução e executou algumas obras magníficas na época, inclusive uma das pistas do Aeroporto Internacional do Galeão, no Rio de Janeiro. Utilizavam-se até então somente barras de aço especial, de grande diâmetro.

Posteriormente as firmas VSL e Rudloff protenderam com a cordoalha de aço CP190 RB (fabricação brasileira da Belgo-Mineira) áreas apreciáveis em pistas, pátios de estacionamento e pisos, como o pátio de aeronaves do Aeroporto Afonso Penna em Curitiba, onde o pavimento tem 20 cm de espessura e uma área aproximada de 21.700 m².

Segundo Cauduro (2000), “nos Estados Unidos, a tecnologia adotada desde o início da aplicação, foi a de cordoalhas engraxadas e plastificadas, método extremamente prático e de fácil aplicação. Num crescimento vertiginoso, hoje nos pisos e pavimentos é a principal destinação das cordoalhas engraxadas e plastificadas naquele país, superando em 50% o enorme mercado das lajes planas para edifícios (dados do *PTI-Post-Tensioning Institute*)”.

Segundo Bina, (2001), “o grande diferencial do piso protendido em relação às técnicas convencionais de construção de pisos, está na possibilidade de diminuição da incidência de juntas”.

Diversos fatores ainda fazem do piso em concreto protendido uma vantajosa e eficaz solução, tais como, menores custos de construção e manutenção, construção em faixas de concretagem de três a vinte metros de largura por até 150 metros de comprimento, maior durabilidade, menor necessidade de manutenções e interrupções, maior controle e qualidade durante a execução, maior flexibilidade da disposição e uso (*layout*), menor incidência dos efeitos de retração do concreto ou de variações de temperatura e deformações das camadas inferiores, maior facilidade de limpeza com a eliminação de juntas, menor risco de contaminação (segmentos alimentícios e farmacêuticos).

Após o início da fabricação da cordoalha engraxada e plastificada pela Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, no ano de 2000, a utilização dos sistemas de protensão externa e pré tensão com aderência posterior estão praticamente em desuso, sendo utilizadas, praticamente na totalidade dos pisos e pavimentos de concreto protendido, a protensão com utilização de cordoalhas engraxadas - sistema não aderente – ao qual será dado ênfase nos próximos capítulos.

Capítulo 3 – Diretrizes de Projeto de Piso Industrial em Concreto Protendido com a Utilização de Cordoalhas Engraxadas

Este capítulo dá início ao aprofundamento ao tema principal do trabalho, iniciando pela apresentação do piso em concreto protendido com a utilização de cordoalhas engraxadas e a das diretrizes de projeto. Neste capítulo serão abordados os aspectos relativos às informações necessárias no projeto, características do subleito e sub-base, características do concreto, características das cordoalhas engraxadas, critério de dimensionamento das placas e interação com elementos estruturais.

As camadas que compõem a estrutura do piso industrial de concreto são ilustradas na figura 3.1 e serão descritas ao longo deste capítulo.

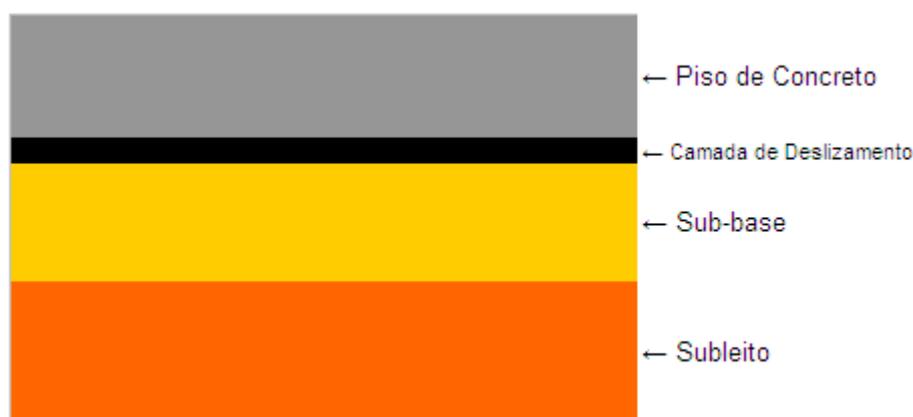


Figura 3.1 – Camadas constituintes do piso industrial

Segundo Schmid (1997), como características técnicas e econômicas a placa protendida sendo menos solicitada à tração, apresenta em igualdade de condições, uma vida útil maior quando comparada com a placa armada convencionalmente. Em

condições normais de uso quase não ocorrem tensões de tração no piso ou pavimento protendido, podendo as mesmas serem controladas através da protensão, de modo a se ter protensão completa, limitada ou mesmo parcial, caso se queira admitir a fissuração na parte inferior do piso ou pavimento.

As juntas de dilatação, maior fonte de quebras na placa convencional, podem ser distanciadas de até 150 metros umas das outras, sendo, porém de execução mais sofisticada. A figura 3.2 apresenta a vista geral de uma faixa protendida com 120 metros de comprimento.

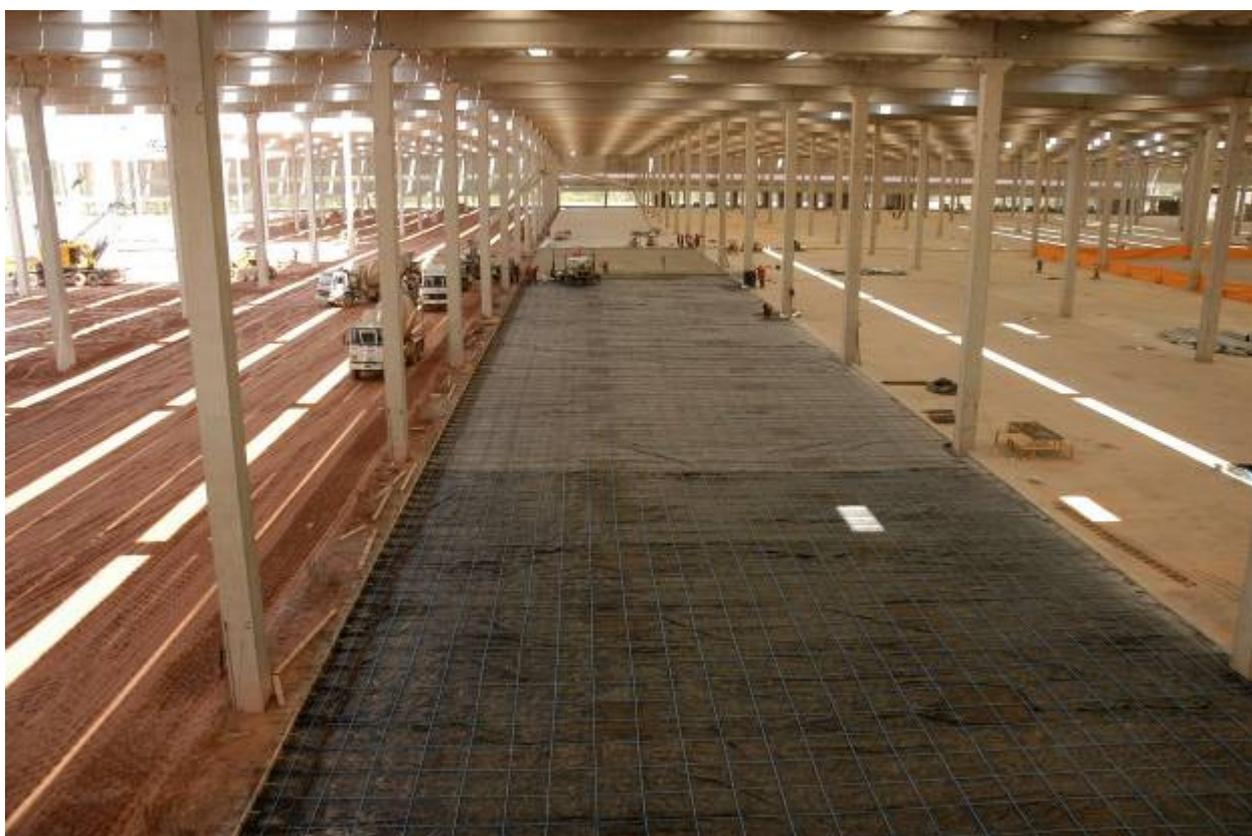


Fig. 3.1 – Vista de uma placa de 20 m de largura x 120,00 m de comprimento.

Se compararmos diretamente o preço das cordoalhas, ancoragens e mão de obra de protensão e possíveis reduções de espessura, diretamente com a tela de aço ou fibra, a redução de espessura do concreto cobre o custo da protensão, sendo que no concreto protendido não há a necessidade de utilizar as barras de transferência, desta

forma o piso protendido oferece uma alternativa tecnicamente superior e economicamente competitiva.

Foi observada pelo autor, durante a execução de três obras no decorrer do ano de 2006, uma redução de custo da ordem de 10% quando da utilização desta tecnologia, em relação aos métodos convencionais, contudo, não se pode garantir que essa redução seja regra, uma vez que a composição de custos depende de condições temporais de mercado, especialmente do aço e seus derivados (telas, cordoalhas e fibras).

3.1) Requisitos de Projeto de Piso Industrial de Concreto Protendido

Há vários requisitos mínimos a serem atendidos para os projetos de pisos em concreto protendido. Entre estes requisitos podem ser citados o suporte constante e uniforme do subleito e sub-base homogêneos, as espessuras adequadas (competitividade), a dosagem racional do concreto (desempenho homogêneo), a construção e o controle adequados (processo e conforto).

Segundo Bina,Teixeira (2002), pode-se afirmar ainda que para pisos industriais são importantes a baixa incidência de juntas e fissuras, o correto acabamento superficial (planicidade, nivelamento e conforto ao rolamento), a baixa incidência de manutenções e facilidade de restauração, a alta produtividade, a fácil implementação da tecnologia construtiva e os custos globais. Este último item retrata, na verdade, o comparativo dos custos de implantação e manutenção durante a vida útil do piso, mantendo o desempenho técnico mínimo exigido e a possibilidade de restauração no período de uso previsto.

Portanto, as diretrizes a serem adotadas para a elaboração de um projeto de piso protendido devem obedecer aos seguintes requisitos:

a) Estudos Geotécnicos, tais como, sondagem, ensaios de solo (ensaio de placa, ensaio de *CBR* – Índice de Suporte Califórnia -, ensaio de compactação);

- b) Avaliação das condições dos carregamentos estáticos e dinâmicos aos quais o piso será submetido;
- c) Concepção arquitetônica da edificação;
- d) Estudos de *lay out* com a disposição das máquinas e equipamentos de fabricação, transporte e armazenagem de materiais e produtos;
- e) Tipo de equipamentos rodantes sobre o piso (modelo das empilhadeiras com suas respectivas capacidades de carga);

3.2) Informações necessárias no Projeto

- a) Projeto geométrico com todas as informações topográficas necessárias à perfeita locação das placas de piso;
- b) Detalhes de dimensionamento dos pisos com definições dos tipos, características tecnológicas e espessuras dos pisos e das camadas constituintes de sua estrutura;
- c) Projeto geométrico de distribuição das placas, posicionamento dos cabos de protensão, detalhamento de armações de reforço e fretagem, detalhamento de todos os tipos de junta, bem como detalhes de interação do piso com as demais estruturas (pilares, paredes, caixas, requadros e reforços necessários);
- d) Recomendações de execução e controle, com as especificações dos materiais utilizáveis, tais como:
 - resistência característica do concreto à tração na flexão ($f_{ct,k}$) medida aos 28 dias;
 - resistência característica do concreto à compressão (f_{cj}) medida as 10, 12, 14 e 20 horas e também aos 03 , 07 e 28 dias;
 - parâmetros de dosagem do concreto, como, tipo do cimento, consumo mínimo de cimento, relação água cimento, abatimento, teor máximo de ar incorporado e aditivos, dimensão máxima do agregado graúdo e teor de argamassa;

- plano de controle tecnológico do concreto no estado fresco e endurecido, ressaltando-se nesta etapa o controle do abatimento e o controle das resistências mecânicas e da espessura das placas;
- Valores mínimos dos índices de planicidade e nivelamento do piso (*F Numbers*).

O sistema *FNumber* é um sistema normalizado de medição e especificação de planicidade e nivelamento de pisos que inclui dois parâmetros: *Ff* para planicidade ou *flatness* e *Fl* para nivelamento ou *levelness*.

Para a medição dos índices de planicidade, deverá ser adotado o método da *ASTM – American Society for Testing and Materials – ASTM E 1155-96: Standart Test Method for Determining Floor Flatness e Levelness Using the F-Number System*.

A planicidade descreve as ondulações do piso (amplitude e frequência) e está diretamente relacionada ao conforto de rolamento e economia.

O nivelamento descreve a conformidade (inclinação) do piso em relação a um plano de referência.

Para a determinação dos índices de planicidade e nivelamento deverá ser empregado equipamento específico denominado *DipStick Floor Profiler*.

A medição é feita pela amostragem total da superfície do piso, através do tratamento matemático e estatístico dos dados.

3.3) Características do Subleito e Sub- Base

O subleito e a sub-base são as camadas de fundação do piso de concreto, devendo-se cuidar para que sejam bem executadas e controladas, conforme as especificações de projeto. Deve-se cuidar também para que o sistema de drenagem superficial, sub-superficial e profunda (caso necessário) seja executado.

Segundo Schmid (1997), “O sucesso de qualquer piso ou pavimento, e em especial do de concreto protendido, depende fundamentalmente do desempenho e uniformidade da sua fundação. Sub-bases com coeficiente de recalque k inferior a 10 kgf/cm^3 não devem ser usadas para suporte do piso ou pavimento protendido. A sub-base é a camada de fundação do piso ou pavimento, devendo criar uniformidade de suporte e

absorver as tensões geradas no pavimento. Outra finalidade da sub-base é evitar o fenômeno do bombeamento. Os finos plásticos podem existir no solo da fundação e se manifestar em presença da água em excesso e de cargas pesadas, eliminar os efeitos de mudanças volumétricas dos solos do subleito e criar uniformidade de suporte para o piso ou pavimento”.

O coeficiente de recalque k pode ser definido como a pressão que provoca o recalque unitário e geralmente é medido em $\text{kgf/cm}^2/\text{cm}$. A determinação deste coeficiente é feita através da execução de prova de carga, conforme método de ensaio do DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT 055/2004 ME – Prova de Carga Estática para Determinação do Coeficiente de Recalque de Subleito e Sub-base em Projeto e Avaliação de Pavimento.

Economicamente, é interessante que a sub-base tenha um k elevado, pois com isto diminui a espessura da placa de concreto, camada mais nobre, de maior custo inicial.

A presença do cimento na sub-base aumenta consideravelmente o seu coeficiente de recalque k .

São consideradas operações de preparação da fundação as correções da camada superficial do subleito e os acertos de subleito resultantes das ações de terraplenagem, podendo consistir em substituição de solos inadequados, bem como raspagens de aterros que visem colocar a sub-base na cota adequada de projeto.

A sub-base deverá ser executada de acordo com as especificações de projeto, atendendo aos requisitos de nivelamento, grau de compactação, teor de umidade e CBR especificados. Esta deverá ser executada de modo a prevenir os fenômenos de expansibilidade e de bombeamento.

As sub-bases podem ser granulares ou tratadas com ligantes hidráulicos. São os seguintes os tipos mais usuais de sub-bases:

- a) brita graduada simples (BGS);
- b) brita graduada tratada com cimento (BGTC);
- c) de solo cimento (SC);
- d) de solo melhorado com cimento (SMC);

e) de concreto rolado (CR).

Os procedimentos de regularização e conformação do subleito e os de execução e controle da sub-base deverão estar de acordo com as normas brasileiras vigentes, atendendo sempre às especificações de projeto. No capítulo destinado às diretrizes de execução e controle serão descritos os procedimentos e ensaios aplicáveis.

3.4) Características do Concreto

O concreto utilizado para a execução de um piso industrial em concreto protendido deve ter características específicas de desempenho e durabilidade de modo a garantir um produto que atenda aos requisitos mínimos de projeto e utilização a que se destina o piso. Para uma correta especificação deve-se atentar para os seguintes requisitos e características:

a) Avaliar dentre as alternativas de materiais a que apresente as melhores condições de qualidade do produto final, melhores condições operacionais, menor custo por metro cúbico de concreto;

b) Para a especificação do concreto (composição e dosagem) deverão ser levados em consideração aspectos como, tipo do cimento, resistência à tração na flexão, resistência à compressão axial, relação água/cimento (a/c), consumo mínimo de cimento, abatimento do tronco de cone, diâmetro máximo do agregado, teor de ar incorporado, teor de argamassa, tempo de pega do cimento, caracterização dos materiais, compatibilidade entre aditivo e cimento, equipamentos de dosagem e mistura, tempo de mistura, equipamentos de transporte e lançamento do concreto, distância e tempo de transporte, equipamento a ser utilizado na execução do piso, espessura do piso, sistema de cura do concreto e condições climáticas regionais (ver figuras 3.3 a 3.6).

Tais considerações não devem ser feitas de maneira isolada, uma vez que parâmetros como consumo mínimo de cimento e a/c baixa são importantes para obtenção de resistência superficial à abrasão, eliminando assim a necessidade de salgamento. Por

outro lado, deve-se observar também que consumos elevados de cimento (acima de 380kg/m^3) podem provocar alto calor de hidratação ocasionando micro fissuras devido à retração térmica.

Em pisos e pavimentos não é habitual a especificação de módulo de elasticidade, uma vez que o piso de concreto é uma estrutura completamente apoiada, entretanto, é preciso salientar que em se tratando-se de piso protendido, em que a carga inicial de compressão é aplicada ao concreto com baixas idades, poderão ocorrer deformações que podem variar em função do módulo de elasticidade atingido em curtas idades para o concreto utilizado. Porém, não obstante essa importância, não foram identificados estudos sobre este tema, por isso, desperta-se a possibilidade de estudos futuros para a avaliação de que com a variação do módulo de elasticidade poderia haver variação da tensão aplicada à placa de concreto.



Figura 3.3 – Materiais constituintes do concreto para caracterização e dosagem. (Fonte ABCP s.d.)



Figura 3.4 – Equipamentos de transporte e lançamento do concreto.



Figura 3.5 – Equipamento de adensamento, sarrafeamento e nivelamento do concreto.



Figura 3.6 – Equipamento de medição do abatimento do tronco de cone (*Slump Test*).

3.5) Características das Cordoalhas Engraxadas

Os aços de protensão são fabricados no Brasil desde 1952, sendo a única fabricante a Companhia Siderúrgica Belgo Mineira. Inicialmente surgiram os fios de $\varnothing = 5\text{mm}$ e 7mm tratados termicamente após a trefilação, com a vantagem de apresentarem características mecânicas mais uniformes e valores mais altos de ductilidade. O emprego de fios isolados (monofio) em peças protendidas estava limitado a elementos pré-fabricados de pequenas dimensões. Construções maiores requeriam cabos de fios paralelos colocados em bainhas de papel, de plástico ou de chapas metálicas. Começou-se usando fios de 5 e 7mm de diâmetro, mas a tecnologia da época permitia resistências somente até 1500 MPa, uma vez que diâmetros maiores teriam tensões menores, além de os fios ficarem muito duros para serem manuseados.

Daí surgiu naturalmente a idéia de se usar cabos compostos de cordoalhas, com as quais o número de ancoragens nas extremidades das vigas ficou reduzido, os fios de diâmetros menores ganharam maior resistência, e, por ser composta de fios finos

enrolados helicoidalmente, a cordoalha tornou-se bastante flexível para um bom manuseio e para acompanhamento das curvaturas impostas pelos projetos.

Ao longo dos anos, as características de resistência das cordoalhas aumentaram gradativamente pelo incremento das características unitárias dos seus fios atingindo-se, hoje, valores como 1900 até 2100 MPa.

Cordoalhas de dois e três fios são normalmente utilizadas na pré-fabricação de peças de concreto, em que o aço é submetido à pré-tração, enquanto as de sete fios, fabricadas comumente nas bitolas 9,5; 12,7 e 15,2mm encontram aplicações nas peças pré-tracionadas e nas pós-tracionadas.

Entre os aços de protensão existentes atualmente, distinguem-se os de relaxação normal (RN) e os de relaxação baixa (RB). Com relação à sua resistência à tração, os mais utilizados são o CP-175 e o CP-190. Entretanto, nas obras de pisos industriais de concreto protendido, o aço que vem sendo empregado é o CP-190 RB. Portanto, no presente trabalho será dado ênfase somente à este tipo de cordoalha (cordoalha engraxada e plastificada de sete fios – Aço CP 190 RB - a designação CP 190 RB indica que o produto é uma cordoalha para Concreto Protendido, com limite de resistência igual a 190 kgf/mm² ou 1900 MPa, na categoria de Relaxação Baixa) (Figura 3.7).

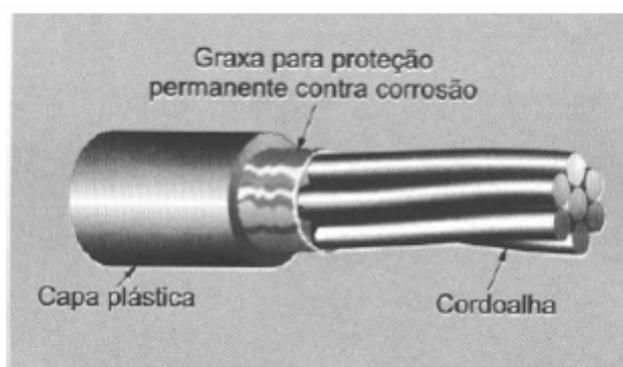


Figura 3.7 - Detalhe da Cordoalha Engraxada e Plastificada (Fonte Belgo Bekaert)

Por um processo contínuo de fabricação, a cordoalha recebe uma camada de graxa e em seguida uma capa plástica - revestimento de polietileno de alta densidade (PEAD) - extrudada diretamente sobre a cordoalha já engraxada, em toda a sua extensão. As características mecânicas são idênticas às da cordoalha sem revestimento, conforme ilustrado na tabela 3.1..

A graxa atua como agente inibidor de corrosão e apresenta peso mínimo de 37g/m, para cordoalha de 12,70mm de diâmetro e 44 g/m, para cordoalha de 15,20mm de diâmetro, acrescentando ainda lubrificação entre o revestimento de PEAD e a cordoalha, reduzindo o coeficiente de atrito cordoalha-bainha de 0,07 para 0,06.

O revestimento de PEAD apresenta espessura mínima de 1,0mm e permite o movimento livre da cordoalha em seu interior, tendo ainda a função de proteção aos eventuais danos causados na concretagem e tensionamento.

Tabela 3.1 - Propriedades das Cordoalhas de 7 fios – Aço CP 190 RB e CP 210 RB, segundo a NBR 7483 – Cordoalhas de Aço para Concreto Protendido.

Categoria	Designação ¹	Diâmetro Nominal da Cordoalha (mm)	Tolerância no Diâmetro Nominal da Cordoalha (mm)	Área da Seção de Aço da Cordoalha (mm ²)			Massa Nominal (kg/100m)	Carga de Ruptura Mínima (KN)	Carga a 1% de Deformação Mínima ²	Alongamento Total na Ruptura Mínimo ³ (KN)	Relaxação Máxima Após 1000 h %
				Mínimo	Nominal	Máximo					
RB 190	CP 190 RB 9,5	9,5	0,4 -0,2	54,9	56,2	57,3	441	104,3	93,9	3,5	3,5
	CP 190 RB 12,7	12,7		98,6	100,9	102,9	792	187,3	168,6		
	CP 190 RB 15,2	15,2		139,9	143,4	146,3	1126	265,8	239,2		
RB 210	CP 210 RB 9,5	9,5		54,9	56,2	57,3	441	115,3	103,8		
	CP 210 RB 12,7	12,7		98,6	100,9	102,9	792	207	186,3		
	CP 210 RB 15,2	15,2		139,9	143,4	146,3	1126	293,8	264,4		

¹ Os três dígitos constantes na designação correspondem ao limite mínimo da resistência à tração na unidade kgf/mm². Para os efeitos desta Norma considera-se 10MPa = 1kgf/mm².

² O valor da carga a 1% de deformação é considerado equivalente à carga de a 0,2% de alongamento permanente.

³ Base de medida 600mm mínimo

A Relaxação Máxima é medida a 20°C com aplicação de carga inicial correspondente a 80% da carga de ruptura conforme NBR7484. Os resultados de relaxação após 1000 h podem ser obtidos por extrapolação de ensaios de 100 h de duração.

A Massa nominal para cordoalhas engraxadas plastificadas é de 880kg/1000m e 1240kg/1000m, para os diâmetros nominais de 12,70 e 15,20mm .

NOTA: Recomenda-se para cálculo estrutural a utilização do valor nominal da área.

Atualmente, as cordoalhas para concreto protendido são elementos de elevada resistência mecânica que necessitam de valores de ductilidade compatíveis com a sua aplicação. As severas condições de aplicação, o tracionamento na obra a cargas de aproximadamente 75% da carga de ruptura e a concentração de tensões nos pontos de ancoragem requerem uma combinação de resistência e ductilidade que somente é encontrada nos fios de aço trefilados de alto teor de carbono.

Conforme informações da Belgo Bekaert, para a obtenção destas características, as cordoalhas são submetidas em seu processo de fabricação, a tratamentos térmicos como a estabilização, que se trata de um envelhecimento acelerado que além de aliviar as tensões residuais da trefilação, diminui a perspectiva de perda de carga por relaxação e aumenta seu limite de elasticidade. (Figuras 3.8 e 3.9)

Define-se relaxação como sendo a perda de tensão, com o tempo, de um aço mantido tracionado em comprimento constante. O aço, ao ser tensionado, protendendo uma peça de concreto, é mantido em comprimento constante; porém, ocorre uma perda na sua tensão com o decorrer do tempo, a qual deve ser conhecida para ser levada em consideração no projeto estrutural. Aparatos especiais, como a ilustrada na figura 3.9, fazem ensaios de relaxação para validar o processo de fabricação.



Figura 3.8.- Aparatos para ensaios de relaxação: através de contra-pesos se define a tensão no aço, mantendo seu comprimento constante. O ensaísta vai retirando contrapesos à medida que o comprimento do aço sofre alteração. Ao final do tempo especificado, sabe-se qual foi a queda de tensão em relação à tensão inicial. (Fonte : Belgo Bekaert)

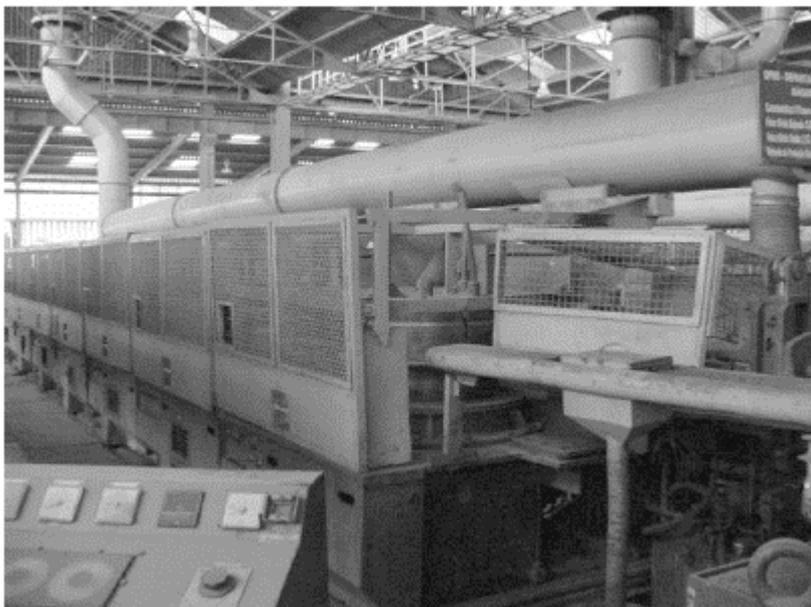


Figura 3.9 - Máquina de trefilar com diversas passagens consecutivas, em que o aço tem seu diâmetro diminuído e vai ganhando resistência a cada vez. (Fonte Belgo Bekaert)

3.6) Critério de Dimensionamento das Placas

Os critérios de dimensionamento dos pisos de concreto protendido consideram sempre as tensões longitudinais e transversais que decorrem de vários esforços solicitantes. Por se tratar na maioria dos casos de placas de grandes comprimentos e a relação área espessura elevada, para que a protensão seja eficiente deve-se levar em consideração no cálculo os seguintes fatores:

- Variações de Temperatura;
- Atrito com a sub-base;
- Força de Protensão;
- Carga de Rodagem e Armazenamento.

O presente trabalho não tem a pretensão de apresentar a rotina de cálculo de um piso ou pavimento protendido, sendo que, apresenta-se de maneira sucinta somente as condicionantes principais que devem ser levadas em consideração em seu dimensionamento.

a) Variações de Temperatura:

As variações de temperatura podem dar-se de duas maneiras. A variação ambiente e a variação ao longo da altura da placa. Estas variações provocam comportamento distinto do pavimento.

Segundo Vasconcelos (1979), “as variações de temperatura devem ser estudadas para curtos tempos de variação – por exemplo, do dia para a noite – e para longos intervalos de tempo – por exemplo, do inverno para o verão – sendo as variações sazonais maiores do que as variações diárias, porém estas últimas se processam mais rapidamente e de maneira brusca. Variações diárias de temperatura, ocorrendo por igual em toda a superfície do piso, provocam variações no comprimento da placa dando origem a deslizamentos do piso sobre o terreno, gerando tensões decorrentes do atrito com a sub-base. Variações sazonais podem provocar deslizamentos maiores, porém processam-se mais lentamente e possibilitam uma acomodação do concreto ao seu efeito”.

Segundo Schmid (1997), “variações de temperatura ao longo da altura da placa dão origem a tensões de flexão, pelas quais a placa tende a levantar, mas é conduzida à sua posição por ação do seu peso próprio”.

b) Atrito com a sub-base:

De acordo com Schmid (1997), “qualquer movimento longitudinal da placa de concreto, seja por variação de temperatura, retração ou protensão, provoca atrito com a sub-base”.

A placa protendida é esbelta e flexível, mas para que a protensão realmente atinja a placa em todo o seu comprimento, é necessário que o atrito com a sub-base seja o menor possível. Esta condição só se consegue com um acabamento liso da sub-base e, para tanto, várias soluções podem ser usadas.

Sobre a superfície compactada, colocam-se duas camadas de papel parafinado ou plástico, de modo a garantir um perfeito deslizamento da placa de concreto e também evitar a perda de água do concreto para a sub-base.

c) Força de Protensão:

Segundo Vasconcelos (1979), “faz-se aqui todas as considerações habituais em concreto protendido, importando além da força de protensão inicial junto aos macacos (P_0), a força final (P_∞) após as perdas, na seção mais distante dos macacos”.

A protensão neste caso tem por finalidade diminuir o número de juntas de retração e eliminar ou diminuir a probabilidade de fissuras.

As perdas habitualmente consideradas são perdas de tensão por atrito cabo-bainha – da ordem de 0,6% com a adoção de cordoalhas engraxadas plastificadas -, perdas por deformação lenta do concreto – cerca de 4% - e perdas por relaxação do aço – da ordem de 2 a 6%.

Para minimizar tais perdas os cabos devem ser colocados sempre retos e situados normalmente na metade inferior da altura da placa.

As ancoragens de protensão podem estar nas extremidades ou no meio da placa. No primeiro caso, deixa-se sem concretar uma faixa de aproximadamente 1,0m para instalação dos macacos. Uma correta armadura de espera garante o adequado acabamento posterior desta faixa.

Os cabos sendo retos, só ocorrerão perdas por atrito devidas às ondulações parasitas, em consequência das quais torna-se problemática a execução de cabos mais longos do que 150m. O normal está em torno de 120m.

d) Carga de Rodagem e Armazenamento:

Para facilitar o cálculo, costuma-se usar, no projeto, uma carga pré-estabelecida de roda única, que seja equivalente à máxima carga de operação, para o caso de empilhadeiras e cargas concentradas ou distribuídas oriundas de armazenamento.

Cargas de roda dão origem a tensões de flexão que dependem da própria carga, da área de contato das rodas, da pressão do ar do pneu, do coeficiente de recalque k do meio elástico sobre o qual se apóia a placa, da espessura da placa e da posição da carga em relação ao bordo da placa.

É comum referir-se a capacidade de suporte do solo por meio do Índice de Suporte Califórnia *CBR*, cuja correspondência com o valor de *k* é a seguinte:

<i>CBR</i>	3	5	10	20	50	100
<i>k</i>	2,77	4,16	5,54	6,92	13,85	22,16

3.7) Interação com Elementos Estruturais

Como visto no capítulo anterior as placas de concreto do piso protendido sofrem tensões que provocam deslizamentos do piso sobre o terreno, oriundas de variações térmicas diárias ou sazonais, força de protensão e deformação lenta, gerando tensões decorrentes do atrito com a sub base, bem como, de elementos que estão na face ou inseridos no interior da placa, como: alvenarias e baldrames periféricos, pilares de centro ou de canto, caixas, requadros ou grelhas, etc...

Para permitir que a placa de concreto do piso protendido deslize sem transferência de tensões prejudiciais à sua integridade, deve-se dar especial atenção aos elementos estruturais periféricos e inseridos na placa de concreto protendido, devendo se prever juntas de encontro, expansão e reforços de aço CA50, devidamente dispostos para evitar que as tensões geradas não sejam transferidas diretamente às placas.

De modo a garantir o perfeito deslizamento da placa de concreto protendido deve prever-se a adoção de medidas construtivas conforme detalhes ilustrados nas figuras 3.10 a 3.12, em seqüência;

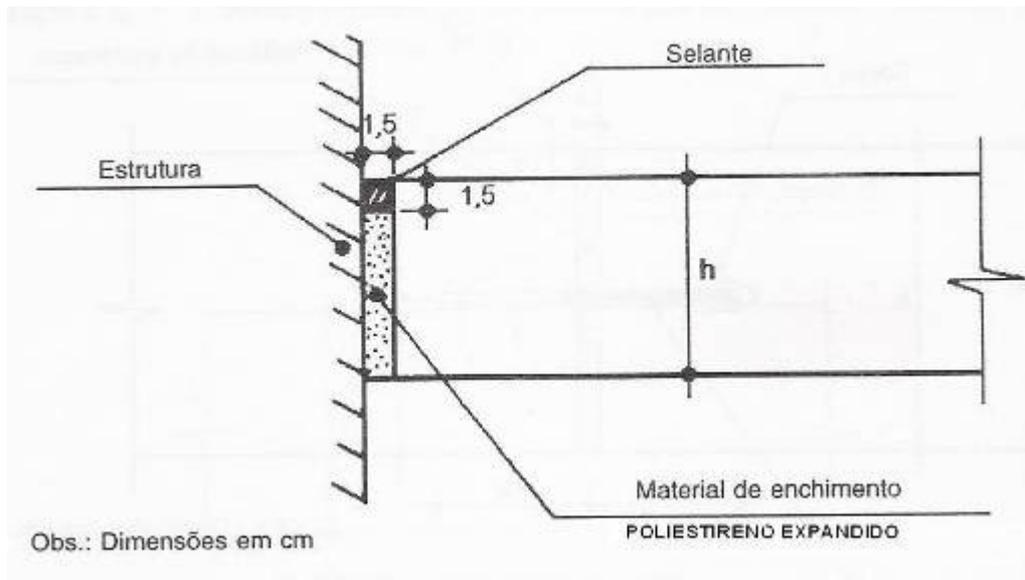


Figura 3.10 – Vista em Corte de Detalhe de Junta de Encontro Periférica (Fonte Carvalho, Pitta 1996)

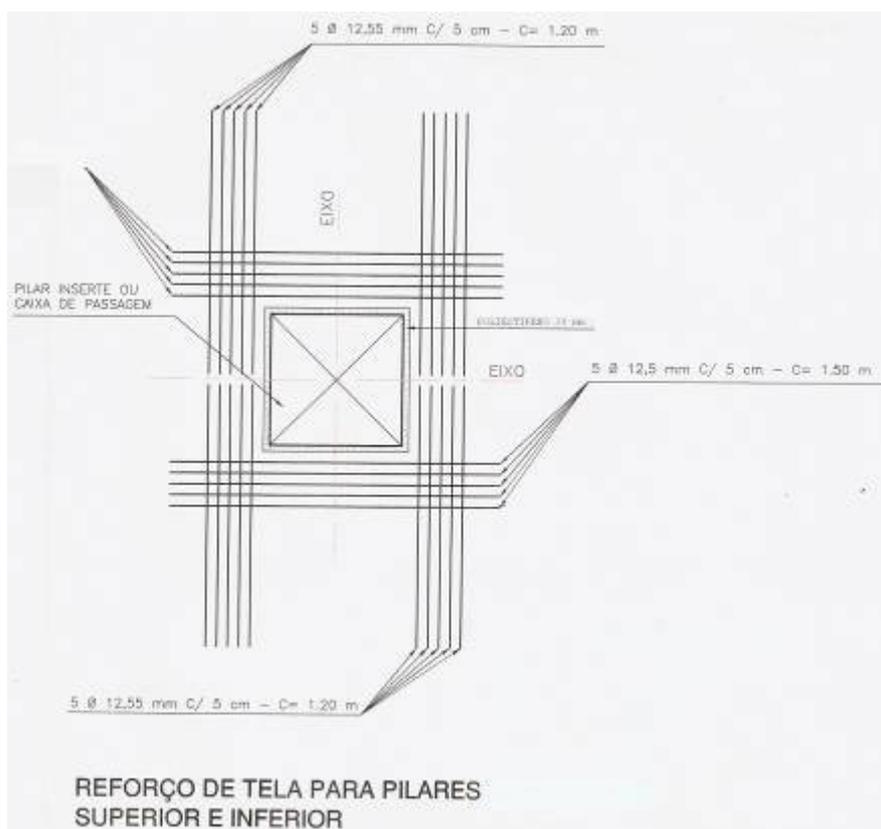


Figura 3.11 – Detalhe de Junta de Encontro com Elemento Estrutural Inserido na Placa (Vista em Planta)

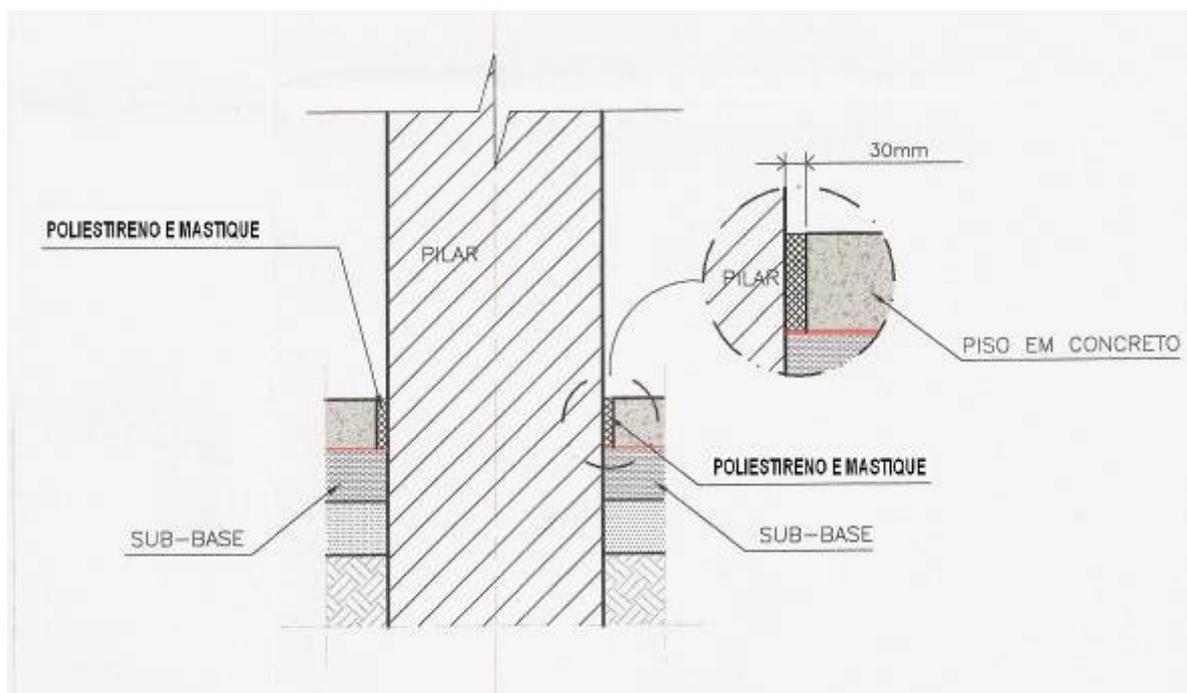


Figura 3.12 – Detalhe de Junta de Encontro com Elemento Estrutural Inserido na Placa (Vista em Corte)

3.8) Projeto gráfico do piso industrial

Com o objetivo de melhor apresentar os detalhes que devem constar de um projeto de piso industrial, são apresentados em anexo três projetos geométricos de pisos industriais de concreto protendido, de obras executadas pelo autor, com suas respectivas características.

Projeto 01:

CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Obra:	Centro de Distribuição
Área Total:	180.000,00 m ²
Área da Maior Faixa Concretada:	2.433,00 m ²
Área da Maior Placa Concretada:	12.165,00 m ²
Espessura do Piso:	14 cm
Cordoalha Engraxada:	360.000 kg
Autoria do Projeto:	Fernandes Engenharia

Projeto 02:

CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Obra:	Indústria Eletrônica
Área Total:	20.863,00 m ²
Área da Maior Faixa Concretada:	1.640,00 m ²
Área da Maior Placa Concretada:	9.128,00 m ²
Espessura do Piso:	13 cm
Cordoalha Engraxada:	55.500 kg
Autoria do Projeto:	Fernandes Engenharia

Projeto 03:

CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Obra:	Indústria de Alimentos
Área Total:	12.916,00 m ²
Área da Maior Faixa Concretada:	4.600,00 m ²
Área da Maior Placa Concretada:	12.916,00 m ²
Espessura do Piso:	15 cm
Cordoalha Engraxada:	44.450 kg
Autoria do Projeto:	Fernandes Engenharia

Capítulo 4: Diretrizes de Execução e Controle

Os métodos de execução dos pisos industriais têm evoluído de maneira significativa nas últimas décadas. Os materiais passaram a ser tema de estudos tecnológicos mais avançados e o controle da execução passou a ser mais sistemático, possibilitando desta forma a execução de pisos industriais com maior eficiência e qualidade.

Serão apresentados neste capítulo aspectos relacionados à tecnologia de execução e controle, abordando assuntos relativos às etapas de execução – desde o preparo do sub-leito ao tratamento de juntas – bem como, aspectos relacionados ao controle de execução e dos materiais empregados na execução do piso industrial em concreto protendido.

As diretrizes aqui apresentadas se baseiam no histórico profissional do autor, adquirido através da execução de várias obras de pisos industriais de concreto protendido.

4.1) Tecnologia de Execução

4.1.1) Regularização ou Preparo do Subleito

São consideradas operações de regularização do subleito as correções de camada superficial do terreno já terraplenado; ou seja, a regularização resume-se a corrigir pequenos desnivelamentos da superfície já terraplenada, na qual já foram tomados todos os cuidados quanto à compactação do subleito.

Em situações específicas pode ser necessário o reforço do subleito, normalmente quando o material utilizado na terraplenagem não atende às condições mínimas exigidas em projeto. Neste caso, poderão ser adicionados ao material já terraplenado outros materiais, tais como, materiais granulares, cimento ou estabilizantes químicos, com a finalidade de atingir as condições exigidas em projeto.

A execução da regularização do subleito deve ser executada com equipamentos mecanizados, sendo que os habitualmente empregados são: trator com grade, motoniveladora, pá carregadeira, caminhão pipa, rolo compactador vibratório tipo pé de carneiro, compactador mecânico tipo placa vibratória ou tipo sapo mecânico (para locais próximos à estruturas e demais interferências).

A seqüência executiva é sintetizada conforme abaixo:

a) gradeamento: mediante o emprego de trator com grade, visando homogeneizar o solo e a umidade superficial. A correção da umidade deve ser realizada com aspersão de água através de caminhão pipa, em conformidade com os parâmetros estipulados para a umidade ótima do solo obtidos em ensaio prévio. A etapa de gradeamento pode ser dispensada no caso da execução dos trabalhos no subleito logo após a execução da terraplenagem. As figuras 4.1 e 4.2 ilustram os equipamentos utilizados.



Figura 4.1 – Trator com Grade



Figura 4.2 – Caminhão Pipa

b) nivelamento superficial inicial: mediante o emprego de motoniveladora ilustrado na figura 4.3, visando nivelar previamente a superfície para a realização dos trabalhos e compactação.



Figura 4.3 – Motoniveladora (Patrol)

c) compactação: mediante o emprego de rolos compactadores vibratórios tipo pé de carneiro, visando garantir o grau de compactação especificado em projeto para o subleito, (figura 4.4).



Figura 4.4 – Equipamento rolo compactador tipo pé de carneiro

d) nivelamento final: mediante o emprego de motoniveladora, visando nivelar a superfície garantindo a espessura especificada em projeto para o subleito e preparando o mesmo para a execução da sub-base. A figura 4.5 ilustra esta etapa.



Figura 4.5 – Motoniveladora executando o acabamento final da superfície.

4.1.2) Execução da Sub-base

A sub-base deverá ser executada de acordo com as especificações de projeto, atendo aos requisitos por ele estabelecidos, dentre os quais: espessura da camada, nivelamento, grau de compactação, teor de umidade e CBR.

Os equipamentos usualmente empregados na execução de sub-bases são: trator com grade, motoniveladora, pá carregadeira, caminhão pipa, rolo compactador vibratório tipo pé de carneiro, rolo compactador vibratório liso, compactador mecânico tipo placa vibratória ou tipo sapo mecânico (para locais próximos à estruturas e demais interferências).

A sua seqüência executiva é sistematizada a seguir:

a) lançamento do material: No caso de sub-base constituída de material granular, o material deverá ser lançado sobre o subleito já preparado, mediante o emprego de caminhões basculantes e com auxílio de pá carregadeira com distribuição uniforme em espessura aproximada conforme especificado em projeto. Caso a sub-base seja constituída de mistura de solo com ligante hidráulico, após o lançamento uniforme do material deve-se efetuar a sua distribuição, também uniforme do material ligante e promover homogeneização da mistura através de gradeamento, conforme já descrito neste capítulo (ver figura 4.6)



Figura 4.6 – Material granular para execução de sub-base

b) nivelamento superficial inicial: é realizado pelo emprego de motoniveladora, visando nivelar previamente a superfície para a realização dos trabalhos e compactação, conforme figura 4.7 abaixo.



Figura 4.7 – Motoniveladora (Fonte ABCP s.d.)

c) compactação: é realizado pelo emprego de rolos compactadores vibratórios tipo liso (para sub-base em material granular) e tipo pé de carneiro (para sub-base em mistura de solo com ligante hidráulico), visando garantir o grau de compactação especificado em projeto para a sub-base, conforme figura 4.8.



Figura 4.8 – Rolo compactador tipo liso

d) nivelamento final: é feito mediante o emprego de motoniveladora, visando nivelar a superfície, garantindo a espessura especificada em projeto para a sub-base e preparando a mesma para o recebimento da camada de concreto.

4.1.3) Montagem das Fôrmas:

As fôrmas deverão ser convenientemente dispostas para a delimitação das áreas a serem concretadas, conforme definições de projeto. Poderão ser utilizadas fôrmas de madeira ou metálicas, de modo a assegurar um perfeito nivelamento, alinhamento e contenção do concreto fresco.

As fôrmas devem apresentar furações laterais para o correto posicionamento dos cabos de protensão e barras de transferência, bem como, propiciar local para a fixação

das ancoragens. Um exemplo de fôrma usualmente empregado é ilustrado nas figuras 4.9 e 4.10.



Figura 4.9 – Vista do posicionamento das fôrmas (alinhamento e nivelamento).



Figura 4.10 – Vista da furação e encaixe das fôrmas

4.1.4) Colocação da Camada de Deslizamento

A camada de deslizamento é executada mediante a colocação de duas mantas de polietileno (habitualmente chamada de lona plástica) sobre toda a área a ser concretada (figura 4.11). Tal camada tem como função principal reduzir o atrito entre a placa de concreto e a sub-base, permitindo livre movimentação da placa oriunda das tensões provocadas pelas variações térmicas e aplicação da força de protensão. Outras funções da camada de deslizamento são manter a água de amassamento do concreto, necessária à perfeita hidratação do cimento, evitando que a mesma seja absorvida pela sub-base e formar uma barreira dificultando a ascensão de umidade do solo à superfície do piso.



Figura 4.11 – Colocação da camada de deslizamento

4.1.5) Armação da Placa

A armação da placa de concreto protendido recebe duas nomenclaturas: “armação ativa” (composta pelos cabos de protensão – no caso em estudo, as cordoalhas plastificadas engraxadas) e “armação passiva” (composta pelas demais ferragens - de fretagem e de reforço – constituídas de aço CA50 e CA60).

No processo de armação da placa de concreto protendido também estão inseridas as placas de ancoragem e acessórios de protensão, os quais são responsáveis pelo posicionamento, fixação e transferência da carga dos cabos de protensão à placa de concreto. As figuras 4.12, 4.13 e 4.14 ilustram detalhes das armações.



Figura 4.12 – Detalhe da armação de fretagem



Figura 4.13 – Vista das armações ativas e passivas



Figura 4.14 – Armação de reforço

Os cabos de protensão deverão ser cortados em conformidade com os comprimentos indicados em projeto.

Os cabos e demais armaduras deverão ser convenientemente dispostos conforme definições de projetos e poderão ser compostos de cordoalhas, telas, vergalhões, barras de transferência e treliças.

Para a garantia do correto posicionamento dos cabos e demais armaduras deverão ser utilizados espaçadores plásticos e ou metálicos conforme ilustrado na figura 4.15.

Os cabos devem estar alinhados e com suas extremidades posicionadas e ancoradas conforme definições de projeto.



Figura 4.15 – Vista geral da armadura ativa devidamente posicionada com uso de espaçadores

4.1.6) Concretagem da Placa

Tendo em vista o volume de material envolvido, a concretagem deverá ser executada através do emprego de concreto usinado, em conformidade com os parâmetros mínimos descritos no capítulo 3. O lançamento do concreto poderá ser realizado diretamente do caminhão betoneira e ou através de bomba e lança.

A área a ser concretada deverá ser dividida em faixas, sendo a definição das larguras e comprimentos das faixas que compõem uma placa feita em conformidade com o tipo de equipamento que fará o espalhamento e adensamento do concreto. Os equipamentos habitualmente utilizados são a régua vibratória treliçada, para trabalho

em faixas de menores dimensões, ilustrada na figura 4.16 e a *LASER SCREED*, para faixas e placas de grandes dimensões, um equipamento que executa o sarrafeamento, nivelamento e adensamento do concreto, conforme ilustrado na figura 4.17. Neste tipo de equipamento, o nível do piso em execução é controlado por meio de um emissor *Laser* fixo e dois receptores existentes na máquina, os quais recebem sinais do emissor e os informam ao comando hidráulico, que conseqüentemente, controla o nível da concretagem com precisão.



Figura 4.16 – Régua vibratória treliçada (Fonte ABCP s.d.)



Figura 4.17 – Equipamento *Laser Screed*

O concreto deverá ser lançado de maneira uniforme, sem a formação de pilhas de concreto, como ilustrado na figura 4.18. O abastecimento de concreto deve ser constante, de modo que os equipamentos sejam regularmente abastecidos e não haja interrupção na concretagem, sob pena de retardar o início da protensão, ou de gerar retrações diferenciais ao longo da pista e afetar o acabamento superficial do piso. É recomendável que o fornecimento mínimo de concreto seja de 35 m³ por hora.



Figura 4.18 – Lançamento do concreto com utilização de bomba lança

O adensamento do concreto deverá ser mais intenso nas regiões das fôrmas onde estão concentradas as placas de ancoragem, de modo que as mesmas permaneçam integralmente envolvidas pelo concreto e nesta região deverá ser executado por vibradores de imersão.

4.1.7) Acabamento Superficial

O perfeito desempenho de um piso industrial não está associado somente à qualidade dos materiais empregados e a um projeto bem elaborado, mas também a todos os cuidados na sua execução, de modo particular ao acabamento superficial do mesmo.

A camada superficial do piso constitui a plataforma onde o trabalho industrial se realiza, seja escoando a produção, através do manejo de insumos e materiais acabados, seja pela necessidade de limpeza, higiene e manutenção.

A camada superficial do piso industrial deverá atender às definições de projeto quanto aos requisitos de acabamento superficial (na maioria dos casos liso vítreo ou espelhado, podendo ser também desempenado fino, quando necessário receber revestimento posterior), planicidade e nivelamento.

O acabamento superficial do concreto é iniciado com o seu o sarrafeamento e desempenamento que, embora sejam processos executados concomitantemente à etapa de lançamento do concreto, já constituem o início do acabamento, devendo o sarrafeamento ser executado com régua vibratória ou *Laser Screed*, promovendo o sarrafeamento do concreto em conformidade com o nivelamento do piso definido em projeto e o desempenamento executado pela aplicação de rodos lisos (metálicos ou de madeira) tipo *float*, (ver figura 4.19)



Figura - 4.19 – Aplicação de rodo tipo *float*

Em seguida, após o endurecimento parcial do concreto, deverá ser executado o desempenamento mecânico da superfície do concreto, com a finalidade de “trazer” argamassa à superfície, que formará a camada final do acabamento. Tal desempenamento deverá ter início aproximadamente três horas após o lançamento do concreto (este tempo poderá variar em função do concreto e do tipo de cimento utilizado). Na prática, o início do desempenamento mecânico usualmente ocorre

quando a superfície apresenta-se parcialmente endurecida, de modo que uma pessoa possa caminhar sobre o concreto e as pegadas “marcam” aproximadamente a profundidade de 4 (quatro) milímetros. Destaca-se que se trata de uma avaliação bastante empírica e com um elevado grau de subjetividade, além da variabilidade que se pode ter nos resultados em função da massa da pessoa que caminha sobre o piso; portanto, trata-se de uma avaliação que demanda a fixação de outros parâmetros para melhor avaliação das condições de execução, que possam ser obtidas a partir de métodos que possam ser devidamente padronizados.

Os equipamentos utilizados para o argamassamento mecânico são acabadoras auto-propelidas duplas, com utilização de discos de flotação. A figura 4.20 ilustra esta etapa.



Figura - 4.20 – Acabadora dupla de superfície com disco de flotação, empregada no desempenamento mecânico.

Em seguida ao desempenamento mecânico deverá ser executada a correção de possíveis ondulações superficiais, mediante o emprego do rodo de corte, ferramenta constituída de perfil de alumínio de seção retangular dotada de pesos para permitir o “corte da superfície”, como ilustrado na figura 4.21.



Figura 4.21 – Aplicação de rodo de corte

O acabamento final da superfície deverá ser executado com acabadoras duplas auto-propelidas dotadas de pás, conforme ilustrado na figura 4.22. As pás tem regulagem de inclinação para as variações necessárias aos serviços de acabamento, até obtenção de uma superfície com aspecto liso vítreo.



Figura 4.22 – Acabadora de superfície duplada, com a utilização de pás para o acabamento final.



Figura 4.23 – Acabamento final tipo liso vítreo executado com acabadoras duplas de alta rotação

4.1.8) Cura do Concreto

O processo de cura deverá ter início tão logo a superfície esteja acabada, para evitar a evaporação da água, evitar o surgimento de fissuras no piso e aumentar a resistência do concreto à abrasão. Poderão ser utilizadas a cura química, através da aspersão de agentes de cura à base de sódio ou resinas, com ou sem formação de película, bem como, a cura úmida, mediante o emprego de mantas de poliéster não tecido, que deverão ser saturadas em água. Em casos específicos, onde há alta exposição do piso concretado a vento, sol e locais com baixa umidade do ar (p.ex.: locais descobertos ou com ausência de fechamento lateral), deverão ser utilizados os dois tipos de cura.

4.1.9) Protensão

A protensão dos cabos deverá ser executada em etapas, visando combater o aparecimento de fissuras, seguindo a seqüência determinada pelo projetista. A primeira etapa é aplicada poucas horas após a concretagem da faixa. A protensão inicial dos cabos longitudinais, da ordem de 20% da carga total (para a cordoalha de 12,5 mm tem-se um total de 15 toneladas força por cordoalha), deverá ser aplicada quando o concreto atingir a resistência especificada em projeto (habitualmente da ordem de 10MPa).

Para a execução da protensão, deverão ser seguidos critérios como: força de protensão e alongamento para cada cabo, resistência mínima do concreto na ocasião da protensão, número de etapas e ordem de protensão, valor e variação admitida para o alongamento de cada cabo.

A protensão final deverá ser executada quando o concreto atingir resistência à compressão mínima especificada em projeto (habitualmente da ordem de 25MPa). A protensão dos cabos longitudinais deverá executada após a concretagem de todas as faixas que compõem a placa.

Deverão ser tomados cuidados especiais na instalação do macaco e colocação das cunhas, para que o mesmo fique perfeitamente apoiado nas ancoragens.

As figuras 4.24 e 4.25 ilustram a operação de protensão.



Figura 4.24 – Nicho de apoio do macaco de protensão junto à ancoragem



Figura 4.25 – Operação de protensão dos cabos

4.1.10) Juntas

Como abordado anteriormente, a ocorrência de juntas no piso de concreto protendido é extremamente reduzida, quando comparado a outros tipos de pisos.

As juntas são basicamente de construção, situadas no encontro lateral entre as faixas e nas juntas de articulação (região onde estão localizadas as ancoragens).

O preenchimento das juntas deverá ser executado com material que apresente dureza mínima de 80 na escala *Shore A*, podendo ser constituído de poliuretano ou epóxi.

Nas juntas onde haverá tráfego de empilhadeiras deverá ser executado reforço de borda, usualmente denominado lábio polimérico, constituído de argamassa à base de epóxi, conforme ilustrado na figura 4.26.

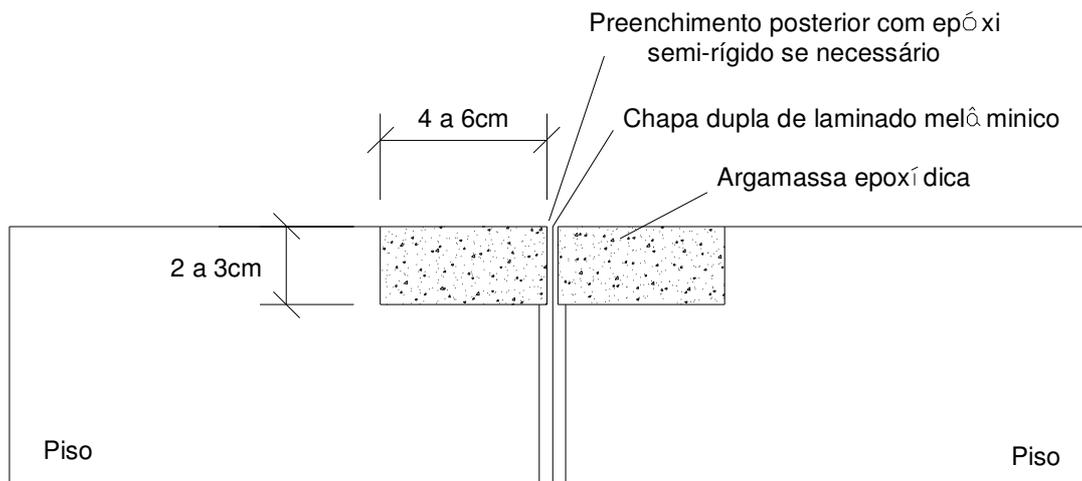


Figura 4.26 – Detalhe em corte de reforço de borda de junta (lábio polimérico).

4.2) Controle da Execução

Essencialmente, para a quase totalidade das etapas de execução, serão dois os tipos de controle da execução: o geométrico e o tecnológico.

O controle geométrico baseia-se na aferição das medidas especificadas em projeto (por exemplo: espessura das camadas do subleito, largura, comprimento e espessura da placa de concreto, espaçamento entre cabos, entre outras).

O controle tecnológico baseia-se em ensaios tecnológicos e medições realizadas nas diversas etapas da execução, com a finalidade de certificação da obtenção dos parâmetros utilizados no dimensionamento do piso (por exemplo: grau de compactação do subleito e sub-base, resistência característica do concreto, abatimento do concreto, índice de planicidade e nivelamento, entre outros).

Serão apresentados, na seqüência, diretrizes de controle para as diversas etapas de execução, destacando-se os métodos e ensaios habitualmente utilizados.

4.2.1) Controle da Regularização ou Preparo do Subleito

Quanto à geometria, o subleito deverá apresentar a superfície uniforme e nivelada, sendo sua espessura em conformidade com as especificações de projeto. As tolerâncias habituais são:

- espessura: variação máxima de 10% em relação ao especificado em projeto;
- nivelamento da superfície: variação máxima de 15mm em relação ao nível de projeto.

O controle é feito topográficamente à partir de referências de nível e marcos implantados na obra. As figuras 4.27 e 4.28 ilustram o controle topográfico dos níveis do subleito.



Figura 4.27 – Nivelamento com utilização de nível laser



Figura 4.28 – Nivelamento com utilização de nível óptico.

Quanto ao controle tecnológico, deverão ser executados ensaios de Índice de Suporte Califórnia (CBR ou ISC) do material constituinte do subleito e ensaios de grau de compactação.

Para o grau de compactação do subleito, o valor mínimo habitualmente adotado é de 95% do Proctor Normal.

A amostragem dos ensaios, bem como os valores mínimos a serem atingidos deverão ser especificados pelo projetista em função dos requisitos de desempenho de cada projeto.

4.2.2) Controle da Sub-base

Os controles executados para a sub-base são praticamente os mesmos executados para o subleito.

No controle geométrico, a tolerância do nivelamento da superfície é usualmente de $\pm 7\text{mm}$, em relação ao nível de projeto, mas pode variar de um projeto para outro. O restante dos critérios são os mesmos que os utilizados para o subleito. Esta tolerância procura não comprometer a espessura da placa de concreto.

No controle tecnológico, para o grau de compactação da sub-base o valor mínimo habitualmente adotado é de 95% do Proctor Modificado para bases granulares. Como ensaio complementar poderá ser executado o de placa para determinação do coeficiente de recalque.

A amostragem dos ensaios, bem como os valores mínimos a serem atingidos no controle da sub-base deverão ser especificados pelo projetista em função dos requisitos de desempenho de cada projeto.

4.2.3) Controle do Posicionamento das Fôrmas

O controle desta etapa é somente geométrico. Deverá ser verificada a disposição das fôrmas para a delimitação das áreas a serem concretadas (conforme definições de projeto), o correto nivelamento, alinhamento e fixação das mesmas para a contenção do concreto, conforme figura 4.29.



Figura 4.29 – Detalhe de posicionamento da forma

Deverão ser verificadas também as furações laterais das formas, onde serão posicionados os cabos de protensão, as barras de transferência e as ancoragens.

4.2.4) Controle da Armação da Placa

Quanto à geometria, deverão ser conferidos o posicionamento, comprimento, espaçamento, quantidade e cotas do cabos de protensão, ancoragens, armaduras de reforços e fretagem para verificar se estão em conformidade com as especificações de projeto. Em relação ao posicionamento da armadura passiva há uma tolerância maior, verificando-se apenas o número de barras em uma determinada área. As figuras 4.30 e 4.31 apresentam detalhes gerais das armações.



Figura 4.30 – Detalhe da armação passiva e posicionamento dos cabos e ancoragens



Figura 4.31 – Vista geral da armação dos cabos (armação ativa)

Quanto ao controle tecnológico, poderão ser efetuados ensaios de ruptura à tração nas barras de aço CA 50, utilizadas como armadura passiva e nas cordoalhas de aço – armadura ativa -, conforme figura 4.32.

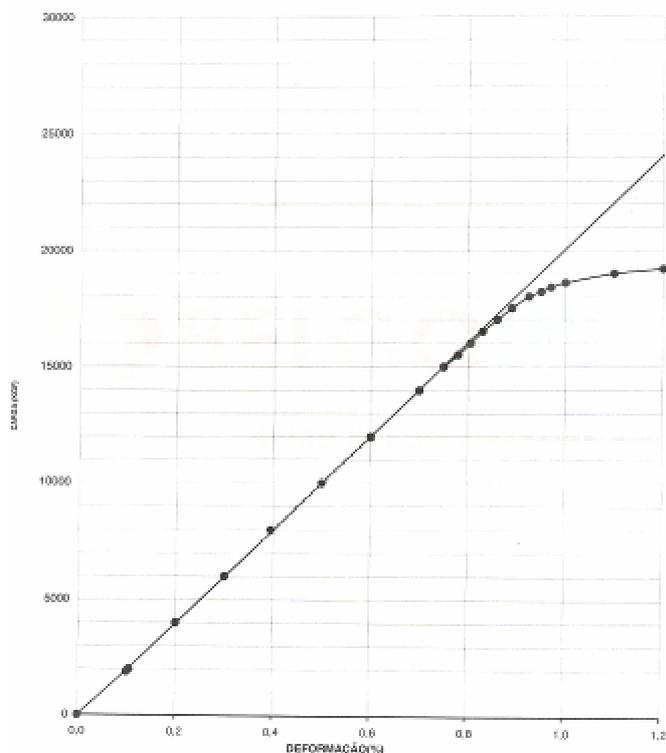


Figura 4.32 – Gráfico de ensaio de tração das cordoalhas de protensão (Fonte Belgo Mineira Bekaert)

Usualmente, são fornecidos pelo fabricante os ensaios das propriedades mecânicas das cordoalhas, conforme exemplo constante na tabela 4.1.

CERTIFICADO DA QUALIDADE Nº								
Cliente:						Nota Fiscal:		
Fornecimento:						Data:		
Material:		Cordoalha engraxada e plastificada CP 190 RB Ø 12,70mm						
Norma:		NBR 7483/90						
PROPRIEDADES MECÂNICAS								
Valores de Referência		Alongamento 600mm	Área da Cordoalha	Carga 1%	Carga de Ruptura	Diâmetro da Cordoalha	Massa	Módulo de Elasticidade
	Mín.	3,5	98,7	16860	18730	12,5		19000
	Máx.		106,6			13,1		
	Unid.	%	mm ²	kgf	kgf	mm	kg/1000m	kgf/mm ²
Amostras Ensaadas	1007697160	6,4	100,06	19000	20700	12,94	882	19762
	1007697167	6,9	100,12	18300	20500	12,87	896	20057

Tabela 4.1 – Certificado da qualidade onde constam os ensaios realizados nas cordoalhas fornecidas (Fonte Belgo Bekaert)

4.2.5) Controle da Concretagem da Placa

Quanto à geometria, deverá ser verificada a espessura da placa de concreto, sendo que a tolerância deverá ser de $\pm 7\text{mm}$, de modo que não haja comprometimento estrutural da placa. Deverá ser efetuado levantamento prévio de níveis para esta verificação.

O controle tecnológico deverá ser efetuado no concreto tanto no estado fresco como no estado endurecido.

É importante também o controle do carregamento do concreto na usina, para verificação se a especificação do traço de concreto está sendo atendida.

Os ensaios que deverão ser executados são:

- Ensaio de Abatimento: controle do abatimento do concreto que deverá ser executado em todos os caminhões, conforme figura 4.33;



Figura 4.33 – Ensaio de abatimento

- Resistência do concreto: através de amostragem total, em conformidade com a norma NBR 6118 – Projeto e execução de obras de concreto armado – com previsão de corpos de prova para rompimentos aos 3, 7 e 28 dias, bem como, corpos de prova para rompimento a 10, 12, 15 e 20 horas para liberação das protensões inicial e final (ver figuras 4.34 e 4.35).



Figura 4.34 – Moldagem de corpos de prova



Figura 4.35 – Rompimento de corpos de prova

4.2.6) Controle do Acabamento Superficial Final

O controle do acabamento superficial é feito somente após o término do acabamento, através de inspeção visual e medição dos índices de planicidade e nivelamento da placa (*FNumbers*).

Na inspeção visual deverão ser verificados a uniformidade do acabamento quanto à sua rugosidade, presença de falhas de acabamento, pequenos buracos, manchas e eventuais delaminações do concreto.

Para a medição dos índices de planicidade, deverá ser adotado o método da *ASTM – American Society for Testing and Materials – ASTM E 1155-96: Standart Test Method for Determining Floor Flatness e Levelness Using the F-Number System*. Para a determinação dos índices de planicidade e nivelamento deverá ser empregado equipamento específico denominado *DipStick Floor Profiler* (figuras 4.36 e 4.37).

A medição é feita pela amostragem total da superfície do piso, através do tratamento matemático e estatístico dos dados.



Figura 4.36 – Realização de Medição com *Dip Stick*



Figura 4.37 – Vista da tela do processador das medições

4.2.7) Controle da Protensão

O controle da protensão deverá ser feito mediante ao acompanhamento da aplicação das cargas determinadas em projeto e dos alongamentos obtidos para os cabos.

Durante a protensão deverão ser medidos os alongamentos dos cabos e as pressões aplicadas nos manômetros, correspondentes às cargas determinadas em projeto. Os valores deverão ser planilhados e os alongamentos reais comparados com os teóricos, conforme figuras 4.38 e 4.39 e tabela 4.2.



Figura 4.38 – Operação de protensão



Figura 4.39 – Medição a planilhamento das cargas e alongamentos

PLANILHA DE PROTENSÃO					
Obra: Galpão Industrial			Projeto: SPA-EX-F02		
Cidade:			Data: 23/11/06		
Placa: 05			Nº Equipamento:		
Cliente:			Data da Concretagem: 17/11/06		
Tipo da Protensão: Final 100%			Final 100% de Carga		
Protendido por:			Visto:		
Obsevações:					
Pressão do Manômetro: 410 kgf/cm ²		Força Aplicada no Cabo: 15,2 tf		Cabo: 1 Ø 12,70mm	
Nº Cabo	Comprimento da Placa (m)	Alongamento Total (mm)	Alongamento Unitário (mm/m)	Alongamento Teórico (mm/m)	Aprovação (mm/m)
CL 01	62,50	430,00	6,88	6,60	OK
CL 02	62,50	425,00	6,80		OK
CL 03	62,50	426,00	6,82		OK
CL 04	62,50	415,00	6,64		OK
CL 05	62,50	412,00	6,59		OK

Tabela 4.2 – Planilha de Acompanhamento de Protensão (Fonte Fernandes Engenharia)

Capítulo 5: Considerações Finais

5.1) Quanto ao objetivo proposto

A importância do piso industrial deve ser melhor difundida entre o meio técnico. Trata-se de um elemento do edifício industrial a ser considerado como elemento estrutural fundamental para o seu desempenho e não como elemento secundário. Falhas no piso durante a vida útil do edifício, na maioria das vezes, paralisam as atividades resultando em enormes prejuízos, tanto financeiros, como também para a própria imagem da empresa.

Diante da atual conjuntura da construção civil brasileira, observa-se que o mercado está carente de soluções completas – sistemas – para pisos industriais.

Frente a este cenário, e a partir da experiência do autor, considerou-se que o piso de concreto protendido é uma tecnologia que pode preencher esta lacuna, buscando-se com o presente trabalho, apresentar mais uma alternativa tecnológica para a execução dos pisos industriais.

Não se trata, entretanto, de propor a simples substituição dos pisos industriais com as tecnologias já existentes pelos de concreto protendido; trata-se de criar uma nova opção, que poderá se fixar ou não no mercado, sobrepondo ou não as demais em função de seu desempenho não apenas inicial, mas ao longo do tempo.

A utilização do concreto protendido para pisos industriais acaba “impondo” um controle mais eficiente ao processo, com ênfase na sistematização e na gestão eficientes das etapas de projeto, execução e controle, as quais são vitais para a qualidade do sistema piso.

Apresentou-se, assim, a sistematização do projeto, execução e controle de pisos industriais de concreto protendido, trazendo ao meio técnico, acadêmico e à sociedade a oportunidade de maior conhecimento desta tecnologia, acreditando-se ter cumprido o objetivo a que se propôs com o desenvolvimento do presente trabalho.

5.2) Quanto à continuidade do trabalho

A partir deste trabalho, acredita-se que se tenha trazido elementos para que sejam realizadas discussões e pesquisas sobre o tema abordado, para que se permita a difusão e utilização mais ampla desta tecnologia, dentre eles:

- O estudo do módulo de elasticidade do concreto, para avaliação das perdas de tensão em função da deformação da placa de concreto;
- O desenvolvimento de método de identificação do ponto de desempenho mecânico do concreto;
- A elaboração de um texto base para normalização específica da execução de pisos e pavimentos com a utilização de concreto protendido.

Referências Bibliográficas

- 1) ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland – **Controle Tecnológico da Qualidade da Camada de Concreto Simples – Prática Recomendada – PR-1** – São Paulo – s.d.
- 2) ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – **NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto** – Rio de Janeiro – 2003.
- 3) ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – **NBR 7197 – Projeto de Estruturas de Concreto Protendido** – Rio de Janeiro – 1998.
- 4) ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – **NBR 7483 – Cordoalhas de Aço para Concreto Protendido** – Rio de Janeiro – 1998.
- 5) ASTM - *American Society for Testing and Materials* – **ASTM E 1155-96 – Standart Test Method for Determining Floor Flatness e Levelness Using the F-Number System.**
- 6) Bina, P.; Teixeira, A. O. F. – **A Arte dos Pisos Industriais – do sistema de damos ao protendido** – Ibracon – São Paulo – 2002.
- 7) Bina, P.; Teixeira, A. O. F. – **Como Construir Pisos e Pavimentos Protendidos** – Revista Técnica – Edição nº 55 – São Paulo – 2001.
- 8) Carvalho, M. D.; Pitta, M. R. – **Pisos Industriais de Concreto – Parte I – Dimensionamento de Pavimentos de Concreto Simples** – ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland – Estudo Técnico 52 – São Paulo – 1996.
- 9) Cauduro, E. – **Execução de Radiers Protendidos** – 42º Congresso Brasileiro de Concreto do Ibracon – São Paulo – 2000.
- 10) DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT 055/2004 ME – **Prova de Carga Estática para Determinação do Coeficiente de Recalque de Subleito e Sub-base em Projeto e Avaliação de Pavimento** – Método de Ensaio - Brasília – 2004.
- 12) Emerick, A. A. – **Projeto e Execução de Lajes Protendidas** – Rio de Janeiro – 2005.
- 13) Figueiredo, A. D. – **Concreto com Fibras de Aço** – São Paulo – 2000.
- 14) Pfeil, W. – **Concreto Protendido: Processos Construtivos, Perdas de Protensão, Sistemas Estruturais** – São Paulo – 1980.
- 15) Schmid, M. T. – **Pavimentos Rígidos em Concreto Protendido** – São Paulo – 1997.
- 16) Vasconcelos, A. C. – **Documentário sobre Pavimentos de Concreto Protendido para Aeroportos e Rodovias** – Ibracon – São Paulo – 1979.

Bibliografia Consultada

- 1) Cecato, M. R.; Nunes, N. L.; Figueiredo, A. D. – **Estudo da Trabalhabilidade do Concreto Reforçado com Fibras de Aço** – IV Congresso Ibero Americano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle da Qualidade CONPAT-97 – Porto Alegre – 1997 – Volume II – Anais p. 539 a 546.
- 2) John, V. M.; Agopyan, V. – **Materiais Reforçados com Fibras Vegetais** – Simpósio Internacional sobre Materiais Reforçados com Fibras para Construção Civil – São Paulo – 1993 – Anais p. 29 a 39.
- 3) Schmid, M. T. – **A Protensão Parcial do Concreto** – São Paulo – 1987.
- 4) Tanesi, J.; Torneri, P.; Figueiredo, A. D. – **A Influência das Fibras de Polipropileno na Fissuração por Retração** - IV Congresso Ibero Americano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle da Qualidade CONPAT-97 – Porto Alegre – 1997 – Volume I – Anais p. 273 a 280.