

## **Monografia**

### **PAVIMENTOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO - ANÁLISE DO SISTEMA CONSTRUTIVO -**

Autor: Rafael Cristelli

Orientador: José Eduardo de Aguiar, M. Sc.

Fevereiro/2010

RAFAEL CRISTELLI

**PAVIMENTOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO**  
**- ANÁLISE DO SISTEMA CONSTRUTIVO -**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil  
da Escola de Engenharia UFMG

Ênfase: Gestão e Tecnologia na Construção Civil

Orientador: Prof. José Eduardo de Aguiar, M. Sc.

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2010

Dedico esta monografia ao Paulão,  
que além de pai, sempre foi, e sempre será meu  
maior exemplo de vida e fonte de inspiração para  
formação dos meus valores pessoais.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor e orientador, José Eduardo de Aguiar, que com muito empenho me auxiliou na produção deste trabalho.

Ao amigo e arquiteto Carlos Henrique de Affonseca, que sempre presente, me acompanhou e me incentivou intensamente em todas as etapas da minha carreira acadêmica e profissional.

Ao arquiteto e professor Tito Flávio Rodrigues de Aguiar e ao engenheiro e professor Antônio Ananias de Mendonça, que ainda na graduação, me despertaram o interesse pela importância das soluções técnicas dos projetos.

Ao engenheiro e professor da disciplina de Durabilidade, Proteção e Recuperação de Estruturas, Abdias Magalhães Gomes, pela inesquecível aula sobre a prudência e bom-senso aplicado à conduta profissional.

Aos professores e colegas do Curso de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia da Construção Civil, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Ao meu irmão Felipe Cristelli, pela paciência e auxílio no trabalho com informações sobre as reações químicas dos materiais descritos.

À Viviane, pelo carinho, apoio e paciência demonstrados ao longo destes anos.

Por fim, aos meus pais, que sempre acreditaram na minha capacidade e me ofereceram o suporte necessário para concluir mais esta etapa: carinho e compreensão.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiv
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
1.1 Contextualização: políticas industriais e crescimento econômico.....	21
1.2 O mercado de pavimentação industrial.....	23
<b>2. O SISTEMA DE PAVIMENTAÇÃO INDUSTRIAL E SEUS COMPONENTES.....</b>	<b>25</b>
2.1 Funções básicas dos componentes do sistema construtivo.....	27
<b>3. CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS INDUSTRIAIS.....</b>	<b>28</b>
3.1 Classificação quanto à escola.....	28
3.2 Classificação quanto ao reforço estrutural.....	30
3.2.1 Pisos industriais de concreto simples.....	31
3.2.2 Pisos industriais de concreto com armadura distribuída.....	33
3.2.3 Pisos industriais de concreto estruturalmente armado.....	36
3.2.4 Pisos industriais de concreto protendido.....	38
3.2.5 Pisos industriais de concreto reforçado com fibras.....	40
3.3 Classificação quanto ao tipo de fundação.....	44
3.3.1 Fundação direta.....	44
3.3.2 Fundação profunda.....	45
3.4 Classificação quanto à utilização.....	45
<b>4. SOLO (SUBLEITO).....</b>	<b>48</b>
4.1 Classificação e ensaios de caracterização.....	48
4.1.1 Coeficiente de recalque (K) .....	50

4.1.2	Índice de Suporte Califórnia (CBR).....	51
4.1.3	Sondagem (SPT).....	51
<b>5.</b>	<b>SUB-BASES</b> .....	<b>54</b>
5.1	Tipos de sub-base.....	55
5.1.1	Sub-bases granulares.....	56
5.1.2	Sub-bases tratadas com cimento.....	58
5.1.2.1	Solo-cimento (SC) e solo melhorado com cimento (SMC).....	59
5.1.2.2	Brita graduada tratada com cimento (BGTC).....	60
5.1.2.3	Concreto compactado com rolo (CCR).....	61
<b>6.</b>	<b>BARREIRAS DE VAPOR</b> .....	<b>63</b>
<b>7.</b>	<b>PLACA DE CONCRETO</b> .....	<b>65</b>
7.1	Dimensionamento e tipos de carregamento.....	66
7.1.1	Ações indiretas.....	66
7.1.2	Ações diretas.....	69
7.1.2.1	Carregamentos móveis.....	70
7.1.2.2	Carregamentos estáticos.....	71
7.2	Concreto para pavimentação industrial.....	72
<b>8.</b>	<b>ACABAMENTO SUPERFICIAL</b> .....	<b>76</b>
8.1	Sistema <i>F-Numbers</i> .....	78
8.2	Líquidos endurecedores de superfície.....	82
8.3	Agregados minerais e metálicos.....	84
8.3.1	Argamassas cimentícias de alta resistência (HPC).....	85
8.3.2	Aspersão de agregados de alta resistência (Dry-Shakes).....	86
<b>9.</b>	<b>JUNTAS</b> .....	<b>87</b>
9.1	Tipos de juntas.....	88
9.1.1	Junta de construção (JC).....	88
9.1.2	Junta serrada (JS).....	90

9.1.3	Junta de encontro ou expansão (JE).....	92
9.2	Projeto geométrico.....	94
9.3	Mecanismos de transferência de carga.....	96
9.4	Tratamento das juntas.....	100
<b>10.</b>	<b>RAD: REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO.....</b>	<b>106</b>
10.1	Crítérios para especificação do RAD.....	108
10.1.1	Condições do ambiente e previsão das atividades.....	108
10.1.2	Espessura do RAD.....	110
10.2	Classificação dos tipos de RAD.....	110
10.3	Preparação do substrato.....	113
10.3.1	Condições de umidade.....	114
10.3.2	Grau de contaminação.....	115
10.3.3	Regularização das superfícies de ancoragem.....	115
10.3.4	Métodos de preparo do substrato.....	117
10.4	Aplicação de RAD.....	119
<b>11.</b>	<b>PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO DE PAVIMENTOS INDUSTRIAIS.....</b>	<b>120</b>
11.1	Projeto.....	121
11.2	Execução de pavimentos industriais.....	124
11.2.1	Fundação.....	125
11.2.1.1	Subleito.....	125
11.2.1.2	Sub-bases.....	127
11.2.1.3	Barreira de vapor.....	128
11.2.2	Montagem das fôrmas.....	128
11.2.3	Posicionamento dos elementos de reforço estrutural.....	129
11.2.4	Concretagem.....	130
11.2.4.1	Produção e transporte.....	133
11.2.4.2	Lançamento.....	134

11.2.4.3	Adensamento.....	134
11.2.4.4	Acabamento superficial.....	135
11.2.4.5	Procedimentos de cura.....	143
11.2.5	Execução das juntas serradas.....	143
<b>12.</b>	<b>PATOLOGIAS DE PISOS INDUSTRIAIS.....</b>	<b>146</b>
<b>13.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>150</b>
13.1	Considerações gerais.....	150
13.2	Sugestões para novas pesquisas.....	151
<b>14.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>152</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Evolução do mercado brasileiro para desenvolvimento e controle de novas tecnologias de sistemas construtivos.....	23
Figura 2.1: Principais componentes do sistema construtivo de pisos industriais.....	26
Figura 3.1: Pavimento de concreto simples sem barra de transferência.....	32
Figura 3.2: Pavimento de concreto simples com barra de transferência.....	32
Figura 3.3: Pavimento de concreto com armadura distribuída continuamente.....	35
Figura 3.4: Pavimento de concreto com armadura distribuída descontinuamente.....	36
Figura 3.5: Pavimento de concreto estruturalmente armado.....	37
Figura 3.6: Armadura e espaçador plástico para garantir posicionamento conforme projeto e cobrimento necessário.....	37
Figura 3.7: Pavimento de concreto protendido.....	39
Figura 3.8: Pavimento de concreto protendido nas duas direções.....	39
Figura 3.9: Pavimento de concreto reforçado com fibras.....	40
Figura 3.10: Detalhe do compósito com adição de fibras.....	41
Figura 3.11: Fibra de aço carbono.....	43
Figura 3.12: Perfis de fibra de aço carbono e variáveis do fator forma.....	43
Figura 3.13: Fibras de vidro e de <i>nylon</i> de alto módulo para adição em concretos.....	43
Figura 4.1: Correlação K e CBR.....	51
Figura 4.2: Ilustração do ensaio SPT.....	53
Figura 5.1: Material granular para execução de sub-base.....	57
Figura 5.2: Compactação de solo-cimento com rolo vibratório.....	60
Figura 5.3: Graduação de britas.....	61
Figura 5.4: Compactação do concreto com rolo vibratório.....	62
Figura 6.1: Funções da barreira de vapor em pisos de concreto.....	63
Figura 6.2: Instalação de filme de polietileno.....	64

Figura 6.3: Rolo de filme de polietileno .....	64
Figura 7.1: Ação de retração na placa de concreto .....	68
Figura 7.2: Ação de empenamento nas placas de concreto.....	68
Figura 7.3: Ação de empenamento nas placas de concreto considerando as variações térmicas do ambiente.....	69
Figura 7.4: Maquinário industrial de estocagem e transporte .....	70
Figura 7.5: Galpão de estocagem .....	71
Figura 7.6: Carregamentos estáticos: lineares, distribuídos e pontuais.....	72
Figura 7.7: Execução de placa teste .....	75
Figura 8.1: Caracterização índice de planicidade ( $F_F$ ).....	79
Figura 8.2: Caracterização índice de nivelamento ( $F_L$ ).....	79
Figura 8.3: Conferência dos valores <i>F-Numbers</i> .....	81
Figura 8.4: Equipamento de aferição <i>Dipstick Floor Profiler</i> .....	81
Figura 8.5: Processo de perda de material por abrasão, com formação de poeira em superfícies de concreto não tratadas .....	83
Figura 8.6: Superfícies tratadas com endurecedores de superfície.....	84
Figura 9.1: Junta de construção (JC) .....	89
Figura 9.2: Detalhe de junta de construção após deforma .....	90
Figura 9.3: Junta serrada e fissuração induzida.....	91
Figura 9.4: Execução da junta serrada .....	91
Figura 9.5: Junta de encontro tipo diamante .....	92
Figura 9.6: Juntas de encontro tipo circular .....	92
Figura 9.7: Detalhe de projeto de junta diamante.....	93
Figura 9.8: Detalhe de execução de junta diamante .....	93
Figura 9.9: Junta de encontro (JE).....	93
Figura 9.10: Junta de dilatação (junta de encontro de placas) .....	94
Figura 9.11: Fissura gerada pelo encontro de junta de construção e junta serrada ....	96

Figura 9.12: Fissura gerada pelo posicionamento inadequado da junta serrada na interseção com a junta de encontro em curva.....	96
Figura 9.13: Encaixe tipo macho e fêmea.....	97
Figura 9.14: Detalhe das barras de transferência instaladas paralelamente na forma durante a concretagem.....	98
Figura 9.15: Detalhe das barras de transferência instaladas paralelamente nos espaçadores treliçados.....	98
Figura 9.16: Detalhe de sistema de transferência de cargas.....	99
Figura 9.17: Sistema de junta com aplicação de selante moldado in loco.....	104
Figura 9.18: Detalhe do sistema de junta com adoção de lábios poliméricos.....	104
Figura 9.19: Limitador de profundidade.....	104
Figura 9.20: Aplicação de selante.....	105
Figura 9.21: Detalhe de juntas com lábios poliméricos.....	105
Figura 10.1: Segmentos de utilização de RAD.....	107
Figura 10.2: Absorção dos esforços na superfície de ancoragem.....	110
Figura 10.3: Piso de concreto com pintura epóxi.....	113
Figura 10.4: Aderência do RAD ao substrato.....	116
Figura 11.1: Fluxograma do ciclo de vida de pavimentos industriais.....	121
Figura 11.2: Operação de terraplenagem e preparação do subleito.....	126
Figura 11.3: Detalhe da forma e elementos de reforço.....	130
Figura 11.4: Seqüência de concretagem.....	131
Figura 11.5: Processo executivo da concretagem de pavimentos industriais.....	132
Figura 11.6: Fluxograma da fase de acabamento do concreto.....	138
Figura 11.7: Lançamento do concreto.....	139
Figura 11.8: Distribuição e adensamento por régua treliçada vibratória.....	140
Figura 11.9: Regularização da superfície através do rodo de corte.....	140

Figura 11.10: Controle de planicidade e nivelamento através de aferição dos níveis durante o processo de acabamento.....	140
Figura 11.11: <i>Laser Screed</i> . Operações simultâneas de adensamento, de corte, nivelamento e início de acabamento.....	141
Figura 11.12: Instalação de plataforma para deslocamento do <i>Laser Screed</i> sobre a área das armaduras.....	141
Figura 11.13: Aspersão de agregados na superfície do concreto .....	142
Figura 11.14: Desempeno e alisamento mecânico com acabadoras duplas .....	142
Figura 11.15: Plano de corte das juntas transversais.....	144
Figura 11.16: Sistema de corte <i>Soff-Cut</i> .....	145
Figura 11.17: Indução de fissura no alinhamento da junta serrada .....	145

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Funções básicas das camadas do sistema de pavimentos industriais .....	27
Tabela 3.1: Classificação do sistema de piso industrial segundo escolas: americana e européia .....	29
Tabela 3.2: Classificação dos pisos quanto à utilização segundo a ANAPRE.....	46
Tabela 3.3: Classificação dos pisos quanto à utilização segundo a ACI-302 .....	47
Tabela 4.1: Classificação dos solos de acordo com ASTM.....	49
Tabela 5.1: Tipos de sub-base.....	55
Tabela 5.2: Granulometria da brita graduada.....	57
Tabela 5.3: Módulos resilientes de materiais para sub-base de pavimentos rígidos ...	58
Tabela 7.1: Classificação dos carregamentos impostos aos pisos industriais.....	66
Tabela 7.2: Caracterização dos carregamentos estáticos.....	72
Tabela 8.1: Valores típicos do sistema <i>F-Numbers</i> .....	80
Tabela 9.1: Parâmetros técnicos das barras de transferência.....	99
Tabela 9.2: Critério de especificação do selante por tipo de junta.....	102
Tabela 9.3: Características das juntas em função do material empregado .....	102
Tabela 10.1 - Fatores importantes a considerar na seleção do RAD .....	109
Tabela 10.2 - Principais tipos de RAD a base de cimento.....	111
Tabela 10.3: Principais tipos de RAD a base de polímeros.....	112
Tabela 10.4: Métodos e equipamentos de preparo do substrato.....	117
Tabela 10.5: Métodos de preparo do substrato.....	118
Tabela 11.1: Quadro de responsabilidades.....	121
Tabela 11.2: Dados de entrada para projeto de pavimento industrial.....	122
Tabela 11.3: Seqüência de acabamento superficial.....	136
Tabela 12.1: Patologias em pisos industriais .....	148
Tabela 12.2: Patologias em RAD .....	149

**LISTA DE NOTAÇÕES, ABREVIATURAS**

A	Área de atuação de uma força
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
a/c	Água / Cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
ANAPRE	Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho
ASSTHO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BGTC	Brita Graduada Tratada com Cimento
CA	Concreto Armado
CAD	Concreto de Alto Desempenho
CBR	<i>Califórnia Bearing Ratio</i> / Índice de Suporte Califórnia
CCR	Concreto Compactado com Rolo
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagens
DNIT	Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes
E	Módulo de elasticidade
EPI	Equipamento de Proteção Individual
F <sub>ck</sub>	Resistência característica do concreto
F <sub>F</sub>	<i>Flatness</i> / Índice de Planicidade
F <sub>L</sub>	<i>Levelness</i> / Índice de Nivelamento
HPC	<i>High Performance Concrete</i> / Micro-concreto de alto desempenho
IBTS	Instituto Brasileiro de Telas Soldadas
JC	Junta de construção
JD	Junta de dilatação
JE	Junta de encontro ou expansão

JS	Junta serrada
K	Coeficiente de Recalque
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira Registrada
PCA	<i>Portland Cement Association</i>
PEMP	Projeto de Expansão do Mercado de Pisos
PIB	Produto Interno Bruto
PITCE	Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior
PND	Plano Nacional de Desenvolvimento
RAD	Revestimentos de Alto Desempenho
SC	Solo-Cimento
SMC	Solo Melhorado com Cimento
SPT	<i>Standard Penetration Test</i>

## RESUMO

A inserção da tecnologia dos sistemas de pavimentação industrial, como um segmento especializado, vem sendo cada vez mais solicitada pelo mercado em função das alterações culturais de empresas de diversos ramos, que nos últimos anos têm valorizado as boas condições de sua infra-estrutura para obtenção de aumento de sua produtividade.

Os pavimentos são elementos de extrema importância para operação dessas empresas e indústrias, pois é nele que ocorrem suas atividades. Em função da diversidade de situações às quais os sistemas de pavimentação estão sendo empregados, nota-se cada vez mais importância da execução de um projeto consistente, desenvolvido por um profissional especializado e baseado em informações técnicas precisas; e de um controle de qualidade rigoroso na execução das obras.

O trabalho apresenta estudo sobre o sistema construtivo de pavimentação industrial, destacando cada camada constituinte do piso, suas propriedades e funções, e aspectos de controle de qualidade na execução. Ressalta-se a noção de mercado, a organização setorial dos agentes especializados e a inserção da tecnologia no cenário nacional, definindo as tendências de aplicação deste sistema em diversas áreas e situações específicas com base no conhecimento das técnicas construtivas e dos materiais utilizados no sistema de pavimentação.

Palavras chave: piso industrial; pavimentação industrial; pavimento de concreto

## **ABSTRACT**

*The integration of technology systems, industrial flooring, as a specialized segment, has increasingly been most requested by the market in relation to changes in cultural enterprises in different branches, which in recent years have emphasized the conditions of their infrastructure to increase its productivity.*

*Pavements are extreme important elements for the operation of businesses and industries, because it is where occurs their activities. Because of many situations which the flooring systems are being employed, it is increasingly important to implement a consistent project, developed by qualified professionals and based on accurate technical information; and a strict quality control in the works.*

*This work presents a study on the construction system of industrial pavements, highlighting each constituent layer of the floor, their properties and functions, and aspects of quality control in execution. It also highlights the concept of market, the trade group of specialized agents and incorporation of this technology on the national scene, setting trends of applying this system in various different areas and specific situations based on knowledge of construction techniques and materials used in the pavement system.*

*Keywords: industrial flooring, industrial pavement, concrete pavement*

## 1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho são estudados os pavimentos industriais com ênfase nos componentes do seu sistema construtivo e logística de execução. A discussão sobre cada um desses componentes, suas propriedades e funções, e sua interação com os demais elementos do sistema de pavimentação é fundamental para produção de um pavimento industrial de qualidade para áreas com diferentes perfis de utilização, uma vez que cada uma delas apresenta condicionantes específicas.

A reunião destas informações, ainda em fase de concepção, permite aos projetistas especializados e demais profissionais envolvidos, a condição de avaliar todos os dados previamente coletados e propor soluções que possam equacionar integralmente os problemas apresentados, garantindo perfeitas condições de utilização, baixo custo de manutenção e previsão de durabilidade do sistema de piso.

Além desses fatores, os projetos de pavimentos industriais devem considerar as questões logísticas de execução, com base na disponibilidade de recursos (materiais, equipamentos e de mão de obra), custo e prazo previstos para execução.

Neste âmbito, serão analisados e discutidos os sistemas e materiais disponíveis, e as orientações para sua especificação, visando qualificar o produto final a partir do controle e escolha adequada do sistema construtivo, dos materiais empregados e do processo de produção.

Apesar de citar alguns autores, métodos de dimensionamento e dados de carregamentos, o trabalho não explicita informações a respeito de cálculos estruturais. Devido à extensão do tema e à diversidade de métodos de cálculo para cada sistema de piso, o desenvolvimento da redação destes itens poderá ser incorporado em um próximo estudo, em momento oportuno.

Dividido em 14 capítulos, o trabalho apresenta seqüência lógica de acordo com a execução dos pavimentos, sendo primeiramente destacado o conhecimento do sistema construtivo e os materiais empregados, num segundo momento a descrição dos métodos de execução e de controle de qualidade; e por fim a formulação conclusiva das etapas abordadas.

No capítulo 2, é apresentado o sistema de pavimentação industrial e seus principais componentes. Ressaltando a interação entre estes elementos, definem-se basicamente suas respectivas funções básicas e sua ordenação enquanto camadas sobrepostas que trabalham em conjunto dentro do sistema construtivo.

O capítulo 3 define quatro critérios de classificação para os sistemas de piso: quanto à origem tecnológica do sistema (escola); quanto ao reforço estrutural (sistema adotado para as placas); quanto às condições de apoio (tipo de fundação); e quanto à sua utilização (áreas de utilização e atividades previstas).

A partir do capítulo 4 até o capítulo 10, é feita a descrição mais detalhada dos elementos componentes dos pavimentos citados previamente no capítulo 2. Abordando todas as camadas do sistema de pavimentação industrial de acordo com as etapas construtivas ordenadamente, de baixo para cima (subleito, sub-base, barreira de vapor, placa de concreto, acabamento superficial, juntas e RAD), estas são

caracterizadas de acordo com a função do elemento construtivo, a composição de materiais empregados e lógica construtiva. Mediante a disponibilidade de vários sistemas para cada uma dessas camadas, procede-se a classificação de cada uma delas e definem-se parâmetros auxiliares de especificação e controle de qualidade.

O capítulo 11 trata, de forma sistemática, de todo o processo de execução do piso industrial, considerando as etapas de seu ciclo de vida em ordem cronológica (projeto → construção → utilização → manutenção), ressaltando seus respectivos aspectos de gestão e controle de qualidade.

No capítulo 12, são apresentados aspectos de durabilidade e as principais patologias dos sistemas de pisos industriais. Embora muitas vezes as patologias do pavimento e dos revestimentos estejam associadas, ou seja, apresentam causa comum, as patologias foram divididas em patologias de pavimentos e patologias de RAD (revestimentos de alto desempenho). Para facilitar a identificação da patologia, suas possíveis causas e os métodos de prevenção e reparos, estes dados foram apresentadas em forma de tabelas.

No capítulo 13, são apresentadas as conclusões do trabalho ressaltando o controle dos processos de projeto e execução. Também são indicadas sugestões para novas pesquisas sobre os temas relacionados.

No capítulo 14, é apresentada a bibliografia que foi utilizada para execução de pesquisa e consulta durante a redação este trabalho.

Como ferramenta essencial para compreensão do sistema construtivo, foram desenvolvidas ilustrações específicas cada capítulo.

## 1.1 Contextualização: políticas industriais e crescimento econômico

*A inserção do Brasil num contexto de economia globalizada trouxe diversas alterações à sociedade, inclusive à tecnologia tradicionalmente empregada na construção civil. 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. (SENEFONTE, Kleber Basílio et al. **Diretrizes de execução e controle da produção de pisos industriais de concreto protendido**. Revista Pisos Industriais, nov.2007).*

Analisando a historicamente os planos estratégicos de desenvolvimento do Brasil em relação às atividades industriais, denominadas políticas industriais, notam-se alguns picos de evolução, podendo ser citados os Planos de Metas, da segunda metade da década de 50 e o PND - Plano Nacional de Desenvolvimento na década de 70, que tiveram como foco de desenvolvimento o setor industrial e foram decisivos para o desenvolvimento e integração da indústria brasileira da época. (SANTOS et al, 2005).

Após este período, já na década 80, o Brasil apresentou grande instabilidade econômica, sobretudo relacionada à inflação e insegurança do mercado. Nesta época, os planos de desenvolvimento deram lugar aos planos de estabilização da economia que reduziram a liquidez do país. O Brasil apresentou queda nas atividades econômicas com índice de até 8% negativo de evolução do PIB. Portanto, pouca atenção foi direcionada ao setor industrial no período.

No início da década de 90, a criação do Plano Collor reduziu as alíquotas dos impostos de exportação e promoveu a abertura econômica, exigindo do país uma reestruturação produtiva em vários setores industriais. (ANDERY, 2009). Apesar das críticas quanto aos processos de desestatização e privatização das empresas, uma

análise focada no processo de inserção de novas tecnologias no país pode ser vista como fator bastante determinante na evolução dos setores industriais, através da criação de políticas setoriais de desenvolvimento.

A evolução dessas políticas setoriais foi retomada com ênfase em 2003, através do PITCE – Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior, constituindo um conjunto de diretrizes que visam o estabelecimento de condições favoráveis ao desenvolvimento da indústria e facilitam a iniciativa empreendedora. (SANTOS et al, 2005).

Estas diretrizes estão focadas no aumento da eficiência da estrutura produtiva e aumento da capacidade de inovação das empresas brasileiras, que através de incentivos a pesquisas científicas e tecnológicas, incentivos fiscais, e ênfase na modernização industrial, geraram processos de reorganização produtivo-tecnológicas e desenvolvimento de novas formas de gestão empresarial com bases em alianças comerciais.

O Brasil atravessa hoje, dentro do cenário histórico-econômico, um dos maiores índices de desenvolvimento já alcançados. Grande parte desse crescimento econômico é relacionada com as cadeias produtivas da construção civil e industrial, uma vez que o país apresenta situação econômica estável e atrai investimentos a partir dos incentivos governamentais.

Em função dessa evolução, estes setores têm cada vez mais se organizado e a partir de implantação de sistemas de qualidade, desenvolvem parâmetros para gerenciamento das empresas, considerando aspectos de planejamento, gestão e tecnologia dos processos envolvidos. (ANDERY, 2009).

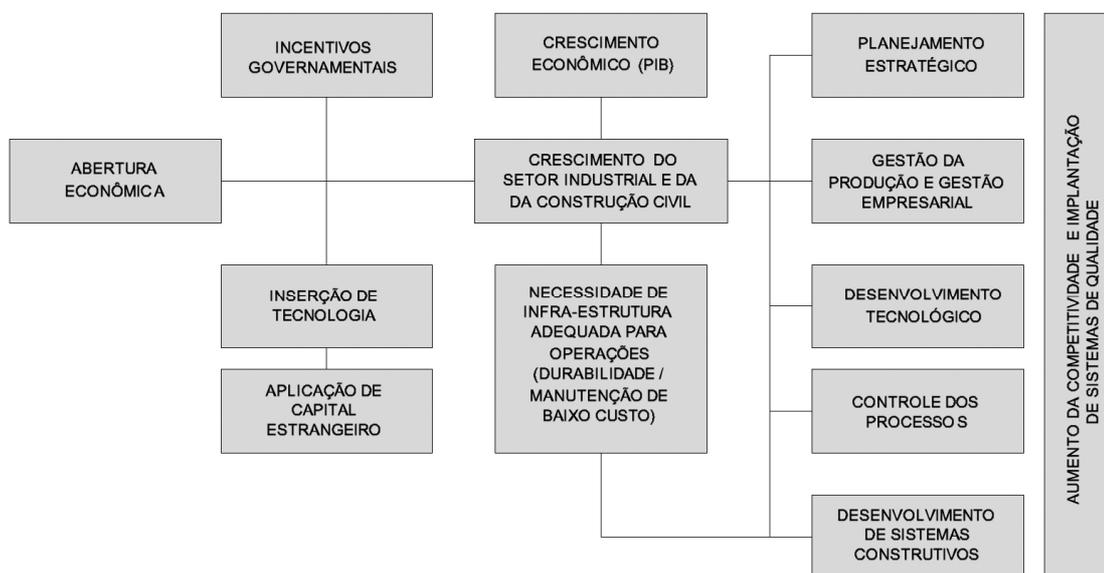


Figura 1.1: Evolução do mercado brasileiro para desenvolvimento e controle de novas tecnologias de sistemas construtivos.

## 1.2 O mercado de pavimentação industrial

Com crescimento e reorganização do setor industrial, sobretudo valorizando-se a evolução das práticas empresariais e os sistemas de logística e operação, o mercado de pavimentação industrial foi bastante solicitado, necessitando de implantação de novas tecnologias e sistemas para atender esta demanda, (OLIVEIRA, 2003).

As novas tecnologias incorporadas e processos desenvolvidos ou utilizados para especificação, dimensionamento e execução deste sistema construtivo, conseqüentemente sofreram grandes avanços, alavancados pelas exigências do

mercado da construção civil e pela necessidade das empresas e das indústrias de possuírem infra-estrutura adequada às suas atividades produtivas e que apresentassem baixo custo de manutenção.

Esse cenário direcionou e favoreceu a criação de diversas alianças setoriais no ramo da construção civil, sempre objetivando o desenvolvimento tecnológico e aspectos de gestão da produtividade com base critérios de qualidade.

Com isso, o setor de pavimentação industrial se desenvolveu muito nos últimos anos, sobretudo a partir da década de 90, em função da busca constante pela tecnologia e especialização dos serviços e pela criação de núcleos de pesquisas na área de pisos e revestimentos de alto desempenho. Estas ações culminaram na criação do PEMP – Projeto de Expansão do Mercado de Pisos, que contribuiu bastante para o avanço do setor. (ANAPRE, 2009)

Em 2004, foi criada a ANAPRE – Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho, uma instituição sem fins lucrativos que reúne em todo território nacional as empresas do segmento de pavimentos e revestimento de alto desempenho, difundindo ainda mais o conhecimento e incentivando a evolução das práticas construtivas e dos materiais utilizados na produção de pisos industriais.

Segundo Rodrigues et al. (2006), atualmente o Brasil é um dos países líderes no dimensionamento de pavimentos, pois possui domínio da evolução tecnológica dos materiais e alto grau de especialização dos profissionais das áreas de projeto e execução.

## 2. O SISTEMA DE PAVIMENTAÇÃO INDUSTRIAL E SEUS COMPONENTES

A ANAPRE (2009) define pisos industriais como sendo o elemento estrutural com finalidade de resistir e distribuir os esforços verticais proveniente dos carregamentos ao subleito. É considerado como elemento de grande importância para logística de operação das empresas, visto que é sobre ele que as atividades produtivas se realizam, proporcionando movimentação de cargas e equipamentos, além de resistir aos esforços mecânicos, químicos e biológicos.

Senefonte (2007), ainda salienta que os pisos industriais são elementos que estão continuamente apoiados e apresentam dimensionamento para suportar cargas diferenciais quanto à intensidade e forma de atuação. Atendendo às variadas situações de carregamentos a que são impostos, podem ser executados sobre diferentes aspectos estruturais e funcionais.

Os pisos industriais são compostos geralmente por cinco camadas principais superpostas com funções específicas. Cada uma dessas camadas, ou *layers*, como vêm sendo denominadas por alguns profissionais da área, tem função específica dentro deste sistema construtivo. Os cuidados de projeto e execução de cada uma delas são de extrema importância para a eficiência e qualidade dos pisos industriais. Estes aspectos serão apresentados ao longo do desenvolvimento do trabalho.

A figura 2.1 mostra um esquema ordenado da disposição dessas camadas.

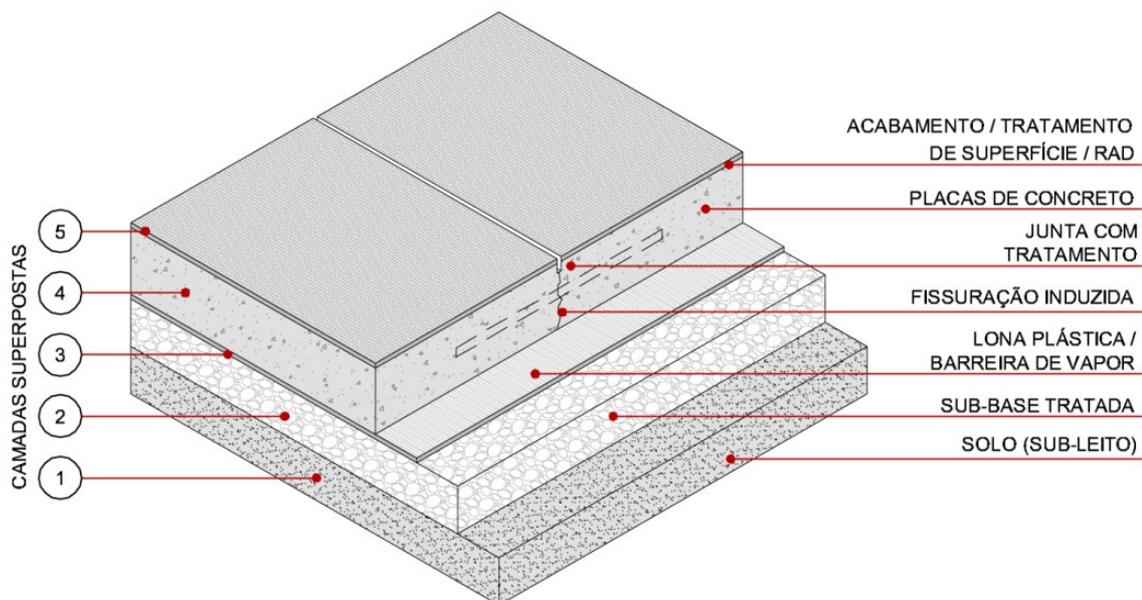


Figura 2.1 – Principais componentes do sistema construtivo de pisos industriais

Em alguns casos específicos, se faz necessária a inserção de mais camadas para combater problemas, como por exemplo, de drenagem superficial e camada de bloqueio. Cabe ao projetista avaliar os dados relativos à análise do solo, solicitações de cargas previstas e utilização do piso para poder definir e propor com bastante cuidado, os sistemas mais indicados em cada situação.

As juntas também são componentes fundamentais na maioria dos casos de pavimentação industrial, combatendo as variações higro-térmicas do concreto, induzindo fissurações localizadas e auxiliando o processo executivo de concretagem das placas (GASPARETO & RODRIGUES, 2010). O assunto será abordado com maior atenção ao longo do trabalho.

## 2.1 Funções básicas dos componentes do sistema construtivo

A interação entre essas camadas do sistema do piso é fator determinante para atender os critérios de qualidade do pavimento. Mesmo sendo executadas em momentos distintos e seqüenciais na obra, elas trabalham como um conjunto de mecanismos integrados de um único sistema construtivo. A Tabela 1 mostra as funções básicas de cada uma das camadas.

Tabela 2.1: Funções básicas das camadas do sistema de pavimentos industriais. (Fonte: adaptação de dados de RODRIGUES et al, 2006; CHODOUNSKY, 2007; OLIVEIRA, 2000.)

<b>Camada:</b>	<b>Funções:</b>
1 Solo (base) / Subleito:	Absorver as solicitações de cargas impostas ao pavimento. Controlar do coeficiente de recalque "K", de acordo com suas propriedades físico-mecânicas e capacidade de suporte.
2 Sub-base:	Isolar e estabilizar as condições do subleito através de tratamentos granulométricos e de capacidade de distribuição de carga. Dar suporte uniforme e constante. Evitar bombeamento. Controlar as variações volumétricas do subleito. Aumentar o suporte da fundação.
3 Lona plástica/ barreira de vapor:	Impermeabilizar superfície para evitar umidade ascendente nas placas de concreto. Garantir livre movimentação da placa de concreto em relação à sub-base. Garantir hidratação do cimento, evitando perda de água de amassamento para a sub-base.
4 Placas de concreto:	Absorver os carregamentos do piso e transferir os esforços para a fundação, trabalhando no regime elástico. Servir de base de aplicação (ancoragem) dos revestimentos.
5 Acabamento / tratamento de superfície / RAD	Acrescentam características superficiais específicas ao sistema do piso, de acordo com a demanda de utilização. Garantem à superfície do piso as resistências ao desgaste por abrasão e influenciam quanto ao conforto de rolamento das empilhadeiras, pois além de promoverem a compactação superficial removem as imperfeições.

### **3. CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS INDUSTRIAIS**

Conhecer as características das diversas tipologias de pisos industriais, levando em consideração os aspectos tecnológicos e comportamento dos materiais empregados, métodos de dimensionamento adequados para cada caso, e, sobretudo, a logística de execução dos pavimentos (processos construtivos e equipamentos), é de fundamental importância para que os profissionais envolvidos possam equacionar com êxito todas as questões de definição do sistema mais adequado à utilização em cada caso específico, levando em consideração aspectos de qualidade, durabilidade e a economia desejada.

Neste trabalho são apresentadas quatro classificações, baseadas em diversos autores (RODRIGUES & CASSARO, 1998; BALBO, 2005; RODRIGUES et al, 2006; CHODOUNSKY, 2007; NAKAMURA, 2009; ANAPRE 2009), que determinam os principais sistemas de pisos industriais: quanto à escola, quanto ao reforço estrutural, quanto ao tipo de fundação e quanto à utilização.

#### **3.1 Classificação quanto à escola:**

Segundo Rodrigues et al. (2006), o desenvolvimento dos sistemas construtivos de pavimentação industrial no Brasil é muito recente, e começou realmente a se desenvolver há cerca de 20 anos, sendo que anteriormente a esse período, havia pouca preocupação com os critérios de projeto.

As principais tecnologias e métodos de cálculo de dimensionamento foram importados e adaptados das escolas americana e européia, que se diferem quanto ao conceito adotado para o sistema de piso e seu respectivo método de dimensionamento.

Tabela 3.1: Classificação do sistema de piso industrial segundo escolas: americana e européia.

	<b>Escola Americana:</b>	<b>Escola Européia:</b>
Referências para dimensionamento:	PCA, ASSTHO, Westergaard, Pickett e Ray, Packard	Lösberg e Meyerhof
Sistema construtivo:	Concreto simples	Concreto reforçado com telas soldadas, fibras de alto módulo e protensão
Tamanho das placas:	Pequenas dimensões	Grandes dimensões
Quantidade de juntas:	Elevado	Baixo
Consumo de concreto:	Elevado	Baixo
Custo inicial e manutenção:	Elevado	Baixo
Custo e complexidade de execução:	Baixo	Elevado

Até meados da década 90, a prática executiva de pisos industriais no Brasil adotava mais comumente a metodologia baseada nos critérios da PCA – *Portland Cement Association*, que trabalhava com ênfase no sistema de pavimentos de concreto simples. (RODRIGUES et al, 2006).

Segundo Balbo (2005), os métodos para dimensionamento de espessuras dos pavimentos de concreto simples apresentam limitações graves, como por exemplo, a impossibilidade de consideração da contribuição estrutural de bases cimentadas aderidas ou não, bem como os efeitos de gradientes térmicos sobre estas placas de concreto.

Outras análises podem ainda ser feitas quanto aos métodos praticados até então no Brasil: variabilidade de parâmetros nos concretos, contribuição de bases não aderidas e aderidas, modelagem à fadiga de concretos tipicamente empregados em nosso país e consideração explícita dos efeitos climáticos no dimensionamento.

Nos últimos dez anos, o setor de pisos industriais do mercado brasileiro vem adotando a prática evolutiva baseada nos princípios da escola européia, escolha considerada correta, uma vez que, as tecnologias dos materiais e a evolução da logística das obras vêm sendo desenvolvidos a passos largos. Outro fator importante é a aquisição de equipamentos de alto desempenho para execução, garantindo controle de qualidade segundo especificado nos projetos (RODRIGUES et al, 2006; CHODOUNSKY, 2007).

Além disso, o método baseado na escola européia apresenta melhores resultados nos âmbitos: econômico e da sustentabilidade, a partir da utilização de menor quantidade de matéria-prima para obtenção de resultados satisfatórios.

Segundo Rodrigues et al. (2006), a evolução das técnicas de dimensionamento dos pavimentos estruturalmente armados contribuiu para selar essa tendência, levando a soluções mais econômicas dentro do ciclo de vida das obras de pavimentação industrial e reduzindo tanto o custo inicial quanto o custo com manutenção destes sistemas.

### **3.2 Classificação quanto ao reforço estrutural**

A classificação dos pisos industriais quanto ao reforço estrutural é baseada no agrupamento das classes de pisos de acordo com o sistema adotado para estruturação das placas de concreto.

Baseada na literatura de alguns autores como Oliveira (2000), Rodrigues et al. (2006) e Chodounsky (2007), neste trabalho, serão apresentados como principais critérios de classificação, os materiais componentes empregados e o sistema de estrutural (comportamento estrutural) das placas de concreto de cada um dos tipos de pavimentos, sendo divididos em: pisos de concreto simples, pisos com armadura distribuída, piso estruturalmente armado, piso reforçado com fibras e piso de concreto protendido.

### **3.2.1 Pisos de industriais de concreto simples**

É o sistema de pavimentação no qual os esforços atuantes (tração / compressão) são resistidos apenas pelo concreto, sem presença de armaduras. Resultam em pavimentos de espessura elevada como correção da deficiência do concreto em relação à sua baixa resistividade para esforços de tração. (PITTA, 1989).

São pavimentos compostos por placas de concreto de pequenas dimensões apoiadas sobre a fundação ou subleito reforçado. As áreas pavimentadas recebem juntas serradas ou moldadas na concretagem para indução de fissuração em pontos específicos, combatendo a retração, dilatação térmica e empenamento das placas.

Segundo Oliveira (2000), a utilização de barras de transferência entre as placas concretadas para melhoria do desempenho do pavimento evita patologias nas áreas das juntas e não descaracteriza o pavimento como um sistema de pavimentação de concreto simples, pois as barras de aço não trabalham como armadura, sendo apenas utilizadas para transferir os esforços entre as placas.

As figuras: 3.1 e 3.2 mostram respectivamente o sistema de piso de concreto simples sem utilização de barra de transferência e com utilização de barra de transferência.

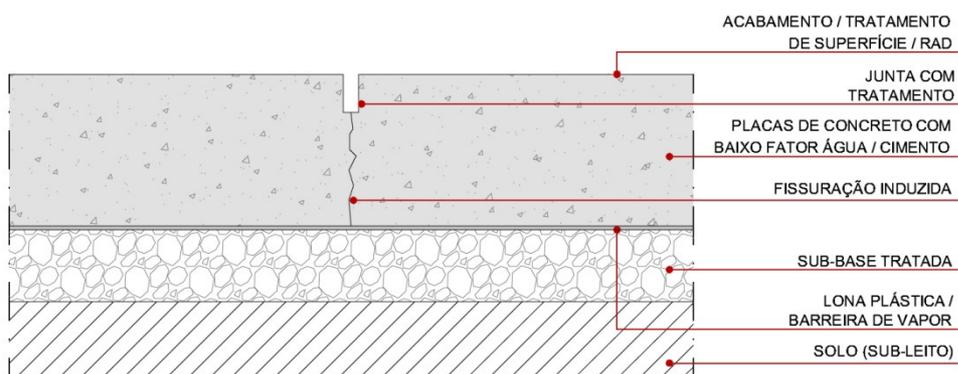


Figura 3.1: Pavimento de concreto simples sem barra de transferência

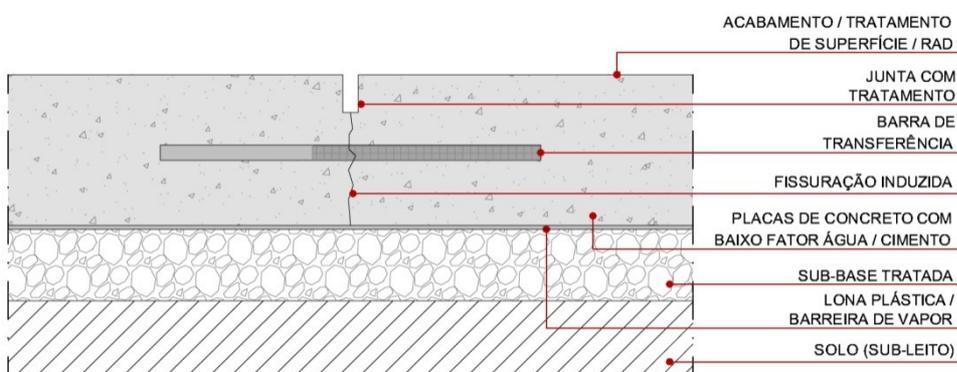


Figura 3.2: Pavimento de concreto simples com barra de transferência

Segundo Nakamura (2009), o processo executivo deste tipo de pavimento é bastante simplificado, porém apresenta menor resistência e durabilidade que os demais pisos de concreto. Sua utilização é restrita em áreas onde existem grandes necessidades de suporte de carga, sendo indicado geralmente para casos onde a grande quantidade de juntas não prejudica a vida útil do pavimento.

Segundo Oliveira (2000), a quantidade de cimento deve ser elevada para aumentar a resistência do material e combater os esforços de compressão e flexão. Por isso, nestes tipos de pavimentos, o concreto deve apresentar fator água / cimento reduzido e processo de cura adequado como alternativa de combate às fissuras por retração hidráulica.

Outro fator importante é que o processo de fadiga do concreto (degradação da placa em função da repetição de carregamentos) pode comprometer a estrutura do material. Segundo Chodounsky (2007), devido a esse processo repetitivo, o concreto poderá romper mesmo que essa tensão admissível não seja alcançada.

A norma que descreve as exigências para execução dos pavimentos de concreto simples, os materiais a serem empregados e os equipamentos necessários é a NBR – 7583 / 84 – Execução de pavimentos de concreto simples por meio mecânico.

### **3.2.2 Pisos industriais de concreto com armadura distribuída**

Os pavimentos de concreto com armadura distribuída são compostos por placas de concreto e uma tela posicionada no terço superior destas com o objetivo de controlar a fissuração causada pela retração por secagem do concreto às variações de temperaturas (dilatação higró-térmica).

Segundo Rodrigues et al. (2003), é o sistema de pavimentos industrial mais popularmente empregado atualmente na indústria da construção civil brasileira. A partir de ensaios, constata-se que a presença da tela (armadura distribuída) não só

controla a fissuração, como também apresenta uma resposta estrutural ao sistema de pavimentação.

Oliveira (2000) afirma que a utilização das malhas reduz consideravelmente o número de juntas necessárias, permitindo construção de placas de até 30 metros de comprimento e 6 metros de largura, embora o comprimento usualmente praticado seja de cerca de 15 metros.

A montagem da armadura distribuída pode ser feita "*in loco*", através da amarração de barras de aço conforme especificadas em projeto (tipo do aço, bitolas e espaçamentos). Porém, em função da racionalização dos processos construtivos e desenvolvimento recente das tecnologias de telas soldadas pelo IBTS, (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), estão disponíveis no mercado, produtos que atendem perfeitamente o segmento de pisos industriais.

Essas armaduras pré-fabricadas, popularmente conhecidas telas soldadas, são compostas por fios de aço transversais e longitudinais dispostos ortogonalmente (geralmente de aço CA-50 e CA-60) e soldados por caldeamento em todas as interseções. São encontradas em diversos tamanhos e densidades de malhas, ficando a critério do projetista, selecionar o tipo de malha mais indicado para cada caso e fazer a especificação em projeto (RODRIGUES & CASSARO, 1998; RODRIGUES, 2004)

São posicionadas no terço superior da placa de concerto e devem apresentar cobertura mínimo de 5 cm. Além do controle da fissuração alguns autores atestam o desempenho eficiente do sistema contra o empenamento das placas.

Segundo Dal-maso (2008), as malhas compostas por fios de diâmetro reduzido possuem pequena rigidez e não combatem com eficiência a fissuração das placas de concreto causada pelo processo de retração hidráulica. A redução e eliminação das trincas e fissuras podem ser alcançadas com a utilização barras com maiores bitolas e espaçamento adequado entre os fios.

De acordo com Oliveira (2000), os pavimentos de concreto com armadura distribuída podem ser sub-classificados em pavimento de concreto com armadura distribuída continuamente e pavimento de concreto com armadura distribuída descontinuamente. As interrupções nas armaduras são executadas quando há necessidade de disposição de juntas serradas no pavimento para controle da fissuração causada por retração e dilatação.

As figuras, 3.3 e 3.4, mostram os perfis de cada um dos casos, considerando que no pavimento de concreto com armadura distribuída descontinuamente, deverão ser empregadas barras de transferência e juntas devidamente tratadas em todos os pontos de descontinuidade das armaduras.

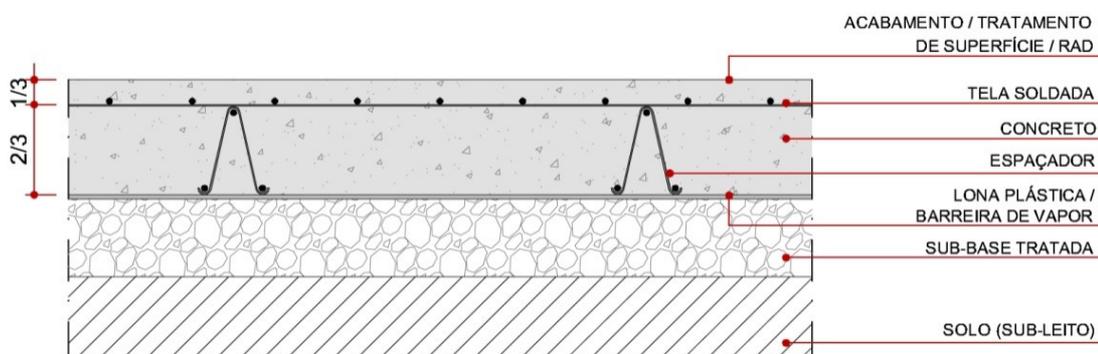


Figura 3.3: Pavimento de concreto com armadura distribuída continuamente

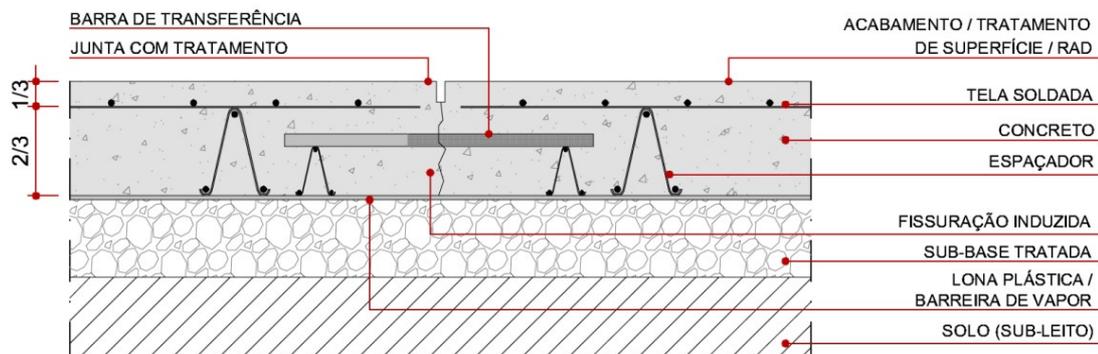


Figura 3.4: Pavimento de concreto com armadura distribuída descontinuamente

### 3.2.3 Pisos industriais de concreto estruturalmente armado

Empregados em áreas de carregamentos elevados, o sistema é caracterizado por possuir armadura positiva na parte inferior da placa, responsável por combater os esforços de tração gerados pelos carregamentos, e armadura no terço superior das placas, responsável por controlar as fissuras causadas por retração hidráulica.

Segundo Nakamura (2009), a utilização dos pisos estruturalmente armados é recomendada principalmente em solos com baixa resistência, e de acordo com o dimensionamento prévio poderá apresentar índices variados de armação de combate à tração.

Em função da presença mais ativa dessas armaduras, as placas podem apresentar menor espessura e dimensões de área superiores à dos pisos de concreto simples e pisos com armadura distribuída (DAL-MASO, 2008; OLIVEIRA, 2000).

A concretagem das placas exige juntas com presença de barras de transferência, o que garante ao piso um comportamento estrutural mais uniforme, através da transferência dos esforços na região das bordas.

Segundo Oliveira (2000), as placas de concreto estruturalmente armado possuem, em média, 15 metros de comprimento e de 14 a 16 centímetros de espessura.

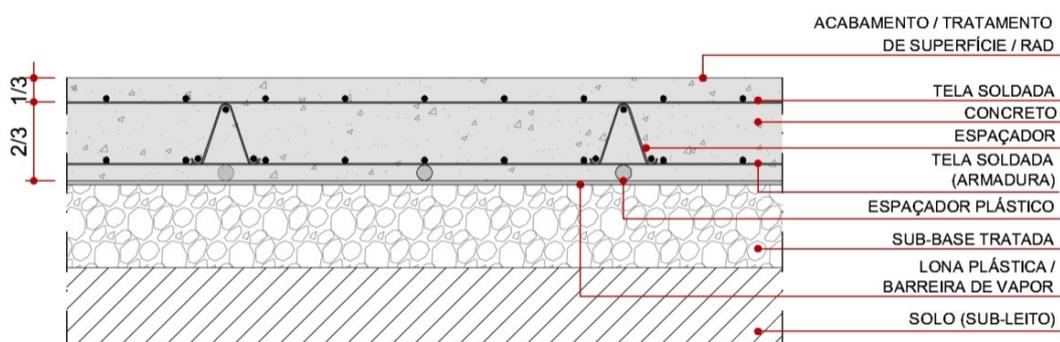


Figura 3.5: Pavimento de concreto estruturalmente armado



Figura 3.6: Armadura e espaçador plástico para garantir posicionamento conforme projeto e cobrimento necessário. Fonte: [www.ibts.org.br](http://www.ibts.org.br)

### 3.2.4 Pisos industriais de concreto protendido

Dal-Maso (2008) define os pisos de concreto protendido como a tipologia que utiliza armadura tracionada por cabos através de macacos hidráulicos, sendo essa força transferida à placa de concreto por meio de ancoragens situadas nas extremidades.

Segundo Senefonte (2007), a resistência do concreto à tração neste tipo de sistema de piso é controlada pela protensão, que gera cargas de compressão horizontais nas placas de concreto, aumentando sua resistência e reduzindo sua espessura. Em função disso, a placa comprimida apresenta baixos índice de permeabilidade e menor susceptibilidade à ocorrência de trincas e fissuras.

Segundo Rodrigues et al. (2006), o desenvolvimento das técnicas e materiais de protensão como as cordoalhas engraxadas e plastificadas impulsionou o mercado dos pisos industriais para aplicações de pisos de concreto protendido.

O sistema permite a construção de grandes placas com número reduzido de juntas de dilatação. Além disso, as espessuras dos pavimentos de concreto foram reduzidas, sem comprometer a sua capacidade de carregamento. (NAKAMURA, 2009).

Em função do número reduzido de juntas, o sistema protendido apresenta menores riscos de patologias causadas pelo mau funcionamento destes elementos. Assegura-se baixo custo de manutenção e maior durabilidade, favorecendo a operação e tráfego de equipamentos móveis.

Embora o piso protendido apresente inúmeras vantagens em relação ao comportamento do sistema construtivo, durabilidade e custo competitivo, a técnica construtiva exige um controle tecnológico dos processos bastante cuidadoso, com ênfase no planejamento de execução e definição de estratégias para cada etapa da obra (SENEFONTE, 2007).

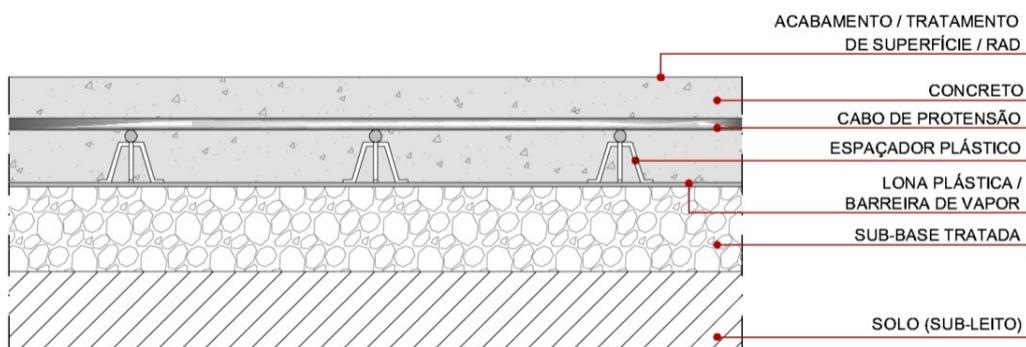


Figura 3.7: Pavimento de concreto protendido



Figura 3.8: Concretagem de piso protendido nas duas direções

Fonte: [www.pisosindustriais.com.br](http://www.pisosindustriais.com.br)

### 3.2.5 Pisos industriais de concreto reforçado com fibras

Segundo Rodrigues et al. (2003), esta tecnologia chegou ao Brasil a partir da década de 1990, promovendo grande avanço na engenharia de pavimentação industrial, e permitindo aperfeiçoamento de técnicas de dimensionamento baseadas na escola européia.

Chodounsky (2007) define o concreto reforçado com fibras como uma mistura (compósito) constituída de duas fases: o concreto e as fibras. Suas propriedades são determinadas pelo comportamento estrutural do conjunto formado por seus componentes.

Embora seu comportamento à fadiga não tenha sido profundamente estudado, a adição de fibras ao concreto substituem a armadura distribuída convencional, e devido ao seu alto módulo de deformação, resiste aos esforços de tração, reduzindo os índices de fissuração dos pavimentos, gerando material com elevado índice de ductibilidade e boa capacidade de redistribuição dos esforços. O número de juntas é reduzido devido às tensões geradas no interior da placas (CHODOUNSKY, 2007).

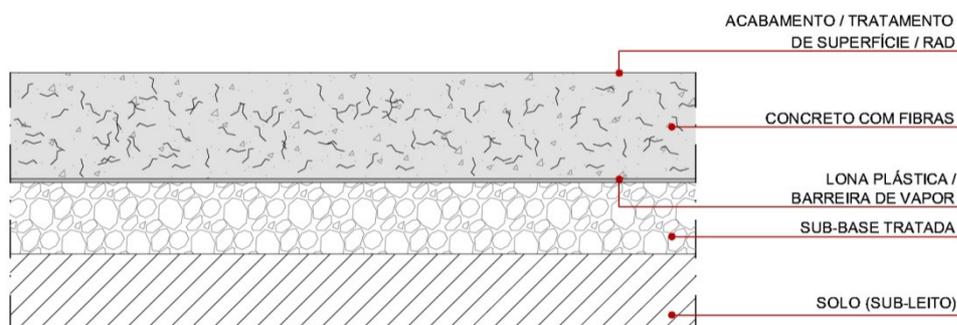


Figura 3.9: Pavimento de concreto reforçado com fibras



Figura 3.10: Detalhe do compósito com adição de fibras  
(Fonte: [www.pisosindustriais.com.br](http://www.pisosindustriais.com.br))

As fibras são produzidas a partir materiais trefilados de alta resistência (alto módulo) e são misturadas ao concreto pouco antes da execução do piso. Segundo Chodounsky (2007), as fibras podem ser classificadas em:

- sintéticas e orgânicas (polipropileno ou carbono);
- sintéticas e inorgânicas (aço ou vidro);
- naturais e orgânicas (celulose);
- naturais e inorgânicas (asbesto ou amianto).

Ainda segundo Chodounsky (2007), quanto maior for a quantidade de fibras no concreto maior será a possibilidade de a fibra interceptar uma fissura, sendo usual uma concentração na ordem de 0,25% do volume de concreto utilizado.

Em relação à logística de execução, destacam-se como principais vantagens da utilização do sistema de concreto reforçado com fibras:

- Eliminação da etapa de colocação das armaduras: Redução da mão-de-obra, tempo de montagem das armaduras e insumos (ferragens, telas soldadas, espaçadores, barras de transferência, caranguejos, etc.).
- Espaço no canteiro de obras e otimização dos espaços de estocagem dos materiais: redução do número de ferramentas e matéria-prima relativas à montagem das armaduras.
- Simplificação do processo da concretagem: acesso facilitado para equipamentos de lançamento nos locais a serem concretados e facilidade de vibração devido à ausência de armaduras,
- Quando utilizadas fibras de alto módulo (excluem-se as de aço) ocorre diminuição do risco de patologias causadas por corrosão.
- Simplificação do processo de execução das juntas de dilatação (não há necessidade de instalar barras de transferência) e reforço das bordas das placas com fibras, reduzindo o risco de patologias como esborcinamento das juntas e quinas.

Apesar do sistema de piso de concreto reforçado com fibras apresentar inúmeras vantagens, o controle tecnológico do concreto deve ser bastante cuidadoso. É fundamental observar critérios quanto à distribuição homogênea das fibras nas placas de concreto, assegurando comportamento previsto em projeto e evitando formação de “ouriços” (bolas formadas pela aglomeração de fibras e da fração mais fina dos agregados e cimento) que comprometem o desempenho do material e prejudicam os processos de concretagem, com prováveis entupimentos dos dutos de lançamento. Este processo pode ser controlado a partir de estudos das empresas responsáveis pelo fornecimento do concreto.

A figura 3.11 mostra modelo Dramix/ Belgo comercializado em pente com material hidrossolúvel para facilitar manuseio e transporte até a obra ou empresa responsável pela produção do concreto.



Figura 3.11: Fibra de aço carbono (Fonte: [www.belgomineira.com.br](http://www.belgomineira.com.br))

FSOI7525		FSDI7533	
Fator de Forma (L/d)	33	Fator de Forma (L/d)	44
Diâmetro Arame (mm)	0,75	Diâmetro Arame (mm)	0,75
Comprimento (mm)	25	Comprimento (mm)	33
Fibras/KG aproximado	11.000	Fibras/KG aproximado	8.450
Tolerâncias médias (%)	5	Tolerâncias médias (%)	5

FSRI7525		FSDH025	
Fator de Forma (L/d)	33	Fator de Forma (L/d)	25
Diâmetro Arame (mm)	0,75	Diâmetro Arame (mm)	1,00
Comprimento (mm)	25	Comprimento (mm)	25
Fibras/KG aproximado	11.100	Fibras/KG aproximado	6.200
Tolerâncias médias (%)	5	Tolerâncias médias (%)	5

Figura 3.12: Perfis de fibra de aço carbono e indicações das variáveis do fator forma (Fonte: [www.fibrasteel.com.br](http://www.fibrasteel.com.br))



Figuras 3.13: Fibras de vidro e *nylon* de alto módulo para adição em concretos (Fontes: [www.portuguese.alibaba.com](http://www.portuguese.alibaba.com) e [www.piniweb.com.br](http://www.piniweb.com.br))

### **3.3 Classificação quanto ao tipo de fundação**

Um dos parâmetros de suma importância para um bom funcionamento de um sistema de pisos industriais é a análise e caracterização do subleito. A partir de estudos geotécnicos são tomadas decisões, ainda em fase inicial de projeto, para dimensionamento estrutural do piso considerando qual a capacidade de absorção das cargas e condições de estabilidade apresentadas pelo solo.

Segundo Rodrigues et al. (2006), de acordo com a fundação, os pisos podem ser classificados em fundação direta e fundação profunda. Essa classificação é descrita a seguir:

#### **3.3.1 Fundação direta**

São os pisos industriais apoiados diretamente no subleito, portanto a taxa admissível do terreno de fundação deve ser compatível com as cargas previstas no piso. Este sistema pode ou não empregar sub-bases tratadas com técnicas de solo cimento, concreto compactado com rolo (CCR) ou brita graduada tratada com cimento (BGTC).

Segundo Rodrigues et al. (2006), o sistema é mais indicado para áreas onde existe maior incidência de cargas móveis e pontuais, pois a transmissão de cargas para o solo é baixa. Porém para carregamentos uniformemente distribuídos, a capacidade de redistribuição dos esforços é pequena.

### **3.3.2 Fundação profunda**

São os sistemas de pisos industriais adotados quando é comprovada, por estudos geotécnicos, a insuficiência do solo para receber a carga transferida prevista pelos carregamentos. A solução também é indicada em solos pouco adensados e que podem sofrer recalques diferenciais, comprometendo todo o sistema de pavimentação.

Quando observadas essas características do solo, o conjunto passa a ser estruturado como sistema de lajes apoiadas sobre vigas, que descarregam os esforços em pontos de apoio (fundação) geralmente pouco espaçados.

### **3.4 Classificação quanto à utilização**

Segundo a ANAPRE (Associação Nacional de Pisos e Revestimento de Alto Desempenho), os pisos ainda podem ser classificados quanto à sua utilização, abrangendo cinco principais classes: áreas industriais; áreas de armazenagem; sistemas viários e pavimentos rígidos; áreas de estacionamentos e pisos comerciais. A tabela 3.2 apresenta essa classificação.

Com base em dados da ACI-302 (*American Concrete Institute*), também é possível classificar os pavimentos segundo classes que prevêm o tipo de tráfego específico. Estes fatores são determinantes para especificação criteriosa do sistema de piso a ser empregado.

Tabela 3.2: Classificação dos pisos quanto à utilização segundo a ANAPRE

Fonte: adaptação de dados. (ANAPRE, 2009)

<b>Áreas Industriais</b>	O piso deve ser considerado como equipamento para produção.
	Recebem a ação de equipamentos diretamente apoiados ou contornam as bases com fundação profundas.
	Cuidados especiais de projeto devem ser tomados, considerando linhas dinâmicas de produção, que eventualmente possam ter mudanças de layout em função da instalação de novos equipamentos.
	Larga utilização de RAD (revestimentos de alto desempenho). Proteção do piso contra agentes agressivos, facilidade de manutenção (limpeza e higienização), aspectos estéticos e sinalização para controle de fluxos.
<b>Áreas de Armazenagem</b>	O piso deve ser considerado como equipamento para produção, uma vez que influência diretamente a produtividade dos centros de distribuição
	É indicada a adoção de sistemas com quantidade reduzida de juntas, com placas de grandes dimensões, como por exemplo, os pisos de concreto estruturalmente armado, os de concreto reforçados com fibras e o de concreto protendido, evitando patologias nas juntas em função do trânsito intenso das máquinas e empilhadeiras.
	Líquidos endurecedores de superfície, aplicação de aspersões minerais ou metálicas são indicadas para garantir elevada resistência superficial mediante a grande solitação de esforços abrasivos.
<b>Sistemas viários e Pavimentos Rígidos</b>	Utilizados em pavimentos urbanos, áreas de estacionamento e sistemas viários de indústrias, pátios de estacionamento de aeronaves e áreas retroportuárias para armazenagens e manuseios de containers.
	Por recebem grande solitação de cargas, as espessuras das placas de concreto podem variar de 14 cm a 40 cm, de acordo com o uso proposto para a área.
	Por serem utilizados em áreas externas e/ou abertas, as tensões de origem térmica (dilatação / retração) são bastante elevadas em função do aquecimento solar diurno e resfriamento noturno.
<b>Áreas de Estacionamento</b>	Quando comparados com a pavimentação asfáltica, apresentam inúmeras vantagens, como por exemplo, melhor durabilidade e resistência ao desgaste, aos ataques químicos de combustíveis, óleos e lubrificantes, e menor custo de manutenção.
	Por apresentar coloração mais clara, têm maior índice de reflexão, reduzindo das ilhas de calor e facilitando a iluminação noturna.
	Melhor logística de execução em áreas fechadas e subsolos, uma vez que emprega equipamentos reduzidos.
<b>Pisos Comerciais</b>	Permite flexibilidade como elemento de fundação de paredes e mezaninos.
	Empregado como acabamento decorativo, poder ser trabalhado com pigmentações diversas e sistemas de lapidação que garantem aspecto vítreo à superfície.

Tabela 3.3: Classificação dos pisos quanto à utilização segundo a ACI-302

Fonte: www.catomaselli.com.br

Classe	Tipo de tráfego previsto	Uso	Considerações Especiais	Acabamento Final
1	Pedestre leve	Pisos residenciais, sobretudo com revestimentos	Drenagem do terreno, nivelamento adequada do piso para o revestimento; cura	Desempeno comum
2	Pedestre	Escritórios e Igrejas; Normalmente com revestimento decorativos	Tolerâncias superficiais (inclusive pisos elevados); agregado antiderrapante em áreas específicas, agregados minerais coloridos; endurecedores ou agregados expostos; layout artístico de juntas	Desempeno comum; acabamento antiderrapante onde necessário
3	Pedestres e Rodas Pneumáticas	Passeios externos, pistas, pisos de garagem, calçadas	Drenagem do terreno; incorporador de ar adequado; cuidados especiais com a cura	Desempenadeira manual, rodo ou acabamento com esponja
4	Pedestre e tráfego de veículos leves	Comercial	Nivelamento adequado do piso para o revestimento; acabamento antiderrapante para áreas específicas; cuidados especiais com a cura	Acabamento normal com acabadora mecânica
5	Tráfego de veículos industriais com rodas pneumáticas	Pisos industriais sujeitos a cargas leves em áreas de fabricação, processamento e depósito	Base bem executada e uniforme; regularidade superficial; layout de juntas; resistência à abrasão; cuidados especiais com a cura	Acabamento intenso com acabadora de superfície mecânica
6	Tráfego de veículos industriais com rodas rígidas	Pisos industriais sujeitos tráfego intenso; podendo estar sujeito ao impacto de cargas	Base bem executada e uniforme; regularidade superficial; layout de juntas; mecanismos de transferência de cargas; resistência à abrasão; cuidados com a cura	Agregados metálicos ou minerais; acabamento intenso com acabadora superfície mecânica, repetidas vezes
7	Tráfego de veículos industriais com rodas rígidas	Pisos com camadas superficiais aderidas sujeitos a tráfego intenso e impacto.	Camada de base – Base bem executada e uniforme; nivelamento da superfície; armadura de retração; layout de juntas; cuidados com a cura  Camada superficial – composta de agregado bem graduado todo mineral ou todo metálico aplicado cobrindo a superfície de alta resistência para endurecer; regularidade superficial, cuidados especiais com a cura	Superfície com textura e limpeza adequadas para permitir a aderência da camada superficial de recobrimento.  Acabadoras de superfície mecânica com disco ou com pás, repetidas vezes
8	Como nas classes 4, 5 ou 6	Camadas superficiais não aderidas – Pisos isolados para câmaras frigoríficas, pisos velhos, ou onde o cronograma da construção ditar.	Isolar da superfície antiga; utilizar armadura; espessura mínima de 7,5 cm; resistência à abrasão; cuidados com a cura	Acabamento intenso com acabadora de superfície mecânica
9	Superflat ou com tolerâncias superficiais rígidas. Veículos especiais de movimentação de materiais ou automatizados que requeiram tolerância precisas.	Corredores estreitos, almoxarifados com alturas elevadas de estocagem, estúdios de televisão.	Exigências de qualidade do concreto diversas. Salgamentos para endurecimento de superfície não devem ser usados a menos em aplicações especiais e com muito cuidado no emprego. ; layout de juntas próprio. Ff 35 a Ff 125 (Fmin 100 é um piso superflat)	

#### 4. SOLO (SUBLEITO)

O subleito é a camada de fundação da maioria dos pisos industriais, tendo função de absorver os esforços dos carregamentos transmitidos pelas placas de concreto e sub-bases (quando se fazem necessárias para correção dos índices de suporte de carga).

Segundo Rodrigues et al. (2006), atualmente, com a utilização de sistemas de pavimentos mais delgados o subleito é bastante solicitado, devendo apresentar resistência adequada para receber tais carregamentos.

Portanto, é de fundamental importância o estudo do solo para que, a partir de análises detalhadas e interpretações das informações geotécnicas, o projeto do pavimento possa ser elaborado com um bom nível de segurança e relação custo-durabilidade.

##### 4.1 Classificação e ensaios de caracterização

Segundo Rodrigues et al. (2006), os solos podem ser classificados a partir de sua granulometria através de ensaios de peneiramento e sedimentação, e pelos índices de consistência, também conhecidos como *Limites de Atterberg*, permitindo caracterização física do subleito.

A ASTM (*American Society of Testing Materials*) agrupa os principais tipos de solo a partir de suas características granulométricas e estima através de sua composição, as capacidades de cargas e coeficientes de recalque para cada um dos grupos. A tabela 4.1 mostra esses índices.

Tabela 4.1: Classificação dos solos de acordo com ASTM (Fonte: Rodrigues et al. 2006)

Grupos Principais		Símbolo de Grupo	Nomes Típicos	Capacidade de Carga Estimada (kPa)	Coefficiente de Recalque Estimado (MPa)	
Solos Granulares Grossos, mais de 50% retido na peneira 0,075	Pedregulhos com 50% ou mais da fração grossa retida na peneira 4,75 mm (N <sup>o</sup> 4)	Pedregulho Limpo	GW	Pedregulho bem graduado ou misturas de pedregulho, com pouco ou nenhum finos	50	> 80
		Pedregulho Limpo	GP	Pedregulho mal graduado, ou mistura de pedregulho com areia, com pouco ou nenhum finos	50	> 80
		Pedregulho com finos	GM	Pedregulho siltoso, misturas de silte-areia-pedregulho	25	50 a 80
			GC	Pedregulho argiloso, misturas de argila-areia-pedregulho	20	50 a 80
	Areias com mais de 50% da fração grossa passando na peneira 4,75mm (N <sup>o</sup> 4)	Areia Limpa	SW	Areia bem graduada e areia com pedregulho, pouco ou sem finos	35	50 a 80
			SP	Areia mal graduada, ou areia com pedregulho, com pouco ou sem finos	30	50 a 80
		Areia com finos	SM	Areia siltosa, misturas de silte-areia	20	50 a 80
			SC	Areia argilosa, misturas de argila-areia	20	50 a 80
	Solos Finos, com mais de 50% dos materiais passando pela peneira 0,075 mm	Siltes e argilas com Limite de Liquidez igual ou inferior a 50%	ML	Silte inorgânico, areia muito fina, areia siltosa ou argilosa	10	25 a 50
			CL	Argila inorgânica com baixa a média plasticidade, argila com pedregulhos, argila arenosa, argilas magras	10	25 a 50
OL			Silte orgânico, argila orgânica siltosa de baixa plasticidade	-	25 a 50	
Siltes e argilas com Limite de Liquidez igual ou inferior a 50%		MH	Silte inorgânico, areia ou silte micáceo ou diatomado.	10	25 a 50	
		CH	Argila inorgânica, de alta plasticidade	10	25 a 50	
		OH	Argila orgânica de média e alta plasticidade	-	12 a 30	
		Solos altamente orgânicos		PT	Turfa e outros solos altamente orgânicos	

Outro fator importante a ser observado na caracterização dos subleitos, e que pode prejudicar o comportamento do pavimento, são as variações bruscas de suas características considerando toda área a ser pavimentada. Quando tal ocorrência é

detectada nas análises dos ensaios, é necessário que se faça uma compactação adequada e novos ensaios ou ainda utilizar técnicas de reforço do subleito para uniformizar as condições de suporte de cargas. O assunto será abordado com mais clareza no próximo capítulo.

Os principais métodos utilizados na medição da resistência do subleito e que serão usados como dados de entrada para o dimensionamento são: o cálculo do coeficiente de recalque “K” e o Índice de Suporte Califórnia (CBR).

#### **4.1.1 Coeficiente de recalque (K)**

Também conhecido como módulo de reação, é o principal parâmetro para dimensionamento de pavimentos de concreto, e gera dados sobre a pressão (carregamento) necessária para causar deslocamento unitário no subleito. Os valores são obtidos através do cálculo da seguinte equação:

$$K = P / R \text{ (MPa/m)}$$

onde:

P = pressão unitária aplicada sobre uma placa rígida (MPa)

R = Recalque ou deflexão (m) = área da placa x deformação

Vale ressaltar que o valor do coeficiente de recalque pode variar substancialmente de acordo com a umidade do solo, o que pode afetar o comportamento do piso em casos de rebaixamento de lençol freático posterior à sua construção, em função da sedimentação decorrente deste processo.

#### 4.1.2 Índice de Suporte Califórnia (CBR)

Segundo Rodrigues et al. (2006), é o ensaio no qual é medida a resistência do solo ao cisalhamento por penetração de um cilindro-padrão. O mesmo procedimento é realizado em suporte de brita graduada de boa qualidade. Os resultados são comparados, gerando taxas percentuais de resistência que ainda podem ser confrontadas com o coeficiente de recalque (K) através do gráfico apresentada abaixo:

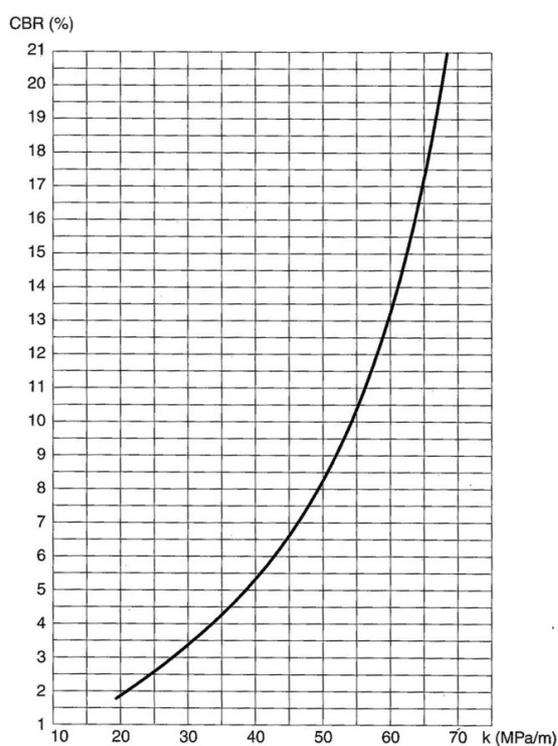


Figura 4.1: Correlação K e CBR (Fonte: Rodrigues et al. 2006)

#### 4.1.3 Sondagem (SPT)

O ensaio de sondagem de simples reconhecimento de solos ou sondagem à percussão, também é conhecido como SPT (*Standard Penetration Test*), é um ensaio de resistência à penetração e consiste na cravação vertical no solo, de um cilindro

amostrador padrão, através de golpes de um martelo com massa padronizada de 65 kg, solto em queda livre de uma altura de 75 cm.

A partir relação entre a quantidade de golpes necessários e as medidas de penetração deste amostrador define-se a resistência de cada camada do solo. Os índices de resistência à penetração (N) são apresentados a cada metro.

O material coletado pelo amostrador é colocado em frascos herméticos para controle da umidade e posterior análise das propriedades geotécnicas de cada camada, permitindo classificação das camadas do solo encontradas ao longo de sua extensão.

As Normas Técnicas mais utilizadas para controle de execução dos serviços e análises dos resultados obtidos são:

- NBR 6484 / 01 – Execução de Sondagem de Simples Reconhecimento dos Solos – descreve os procedimentos para execução do ensaio e análise dos resultados;
- A NBR 7250 – Identificação e Classificação de Amostras Obtidas em Sondagem de Simples Reconhecimento dos Solos – descreve procedimentos de análise do material coletado na diferentes camadas do solo ensaiado;
- A NBR 8036/83 – Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios – estabelece os números de perfurações a serem feitas, em função do tamanho do edifício.

Os resultados dos ensaios de sondagem SPT apresentam:

- A identificação das diferentes camadas de solo que compõem o subsolo;
- A classificação dos solos de cada camada;
- O nível do Lençol freático; e
- A capacidade de carga do solo em várias profundidades.

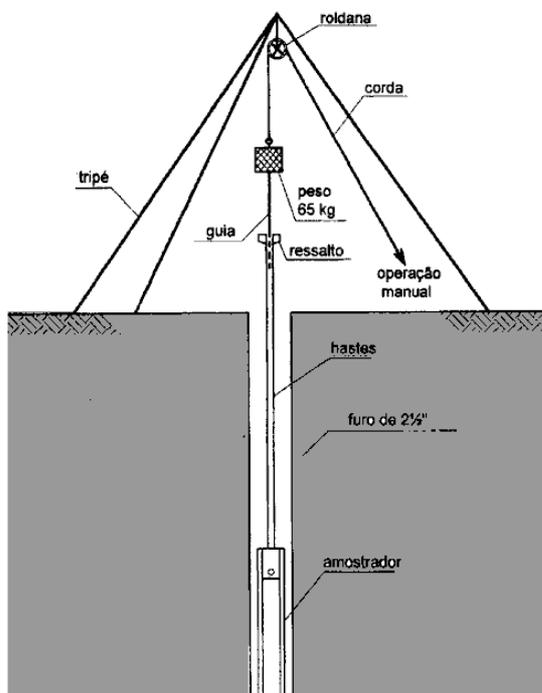


Figura 4.2: Ilustração do ensaio SPT (Fonte: Fernando Schnaid)

Com base nos dados obtidos nos ensaios, as características de cada camada do piso poderão ser desenvolvidas, controlando os custos e definindo os sistemas desde o início do projeto, através de estudos para melhorias das condições do solo, redução dos gastos, e garantia de estabilidade e durabilidade do pavimento.

Assim como a capacidade de cargas, o reconhecimento do nível do lençol freático é de fundamental importância para o projeto de pisos industriais. De posse desta informação, a previsão de sub-bases específicas e a instalação de barreiras de vapor podem evitar patologias graves.

## 5. SUB-BASES

Observadas as condições de instabilidade e heterogeneidade do subleito, faz-se necessária a execução da camada de sub-base, que conforme denominação de Rodrigues et al. (2006), é o elemento estrutural intermediário entre as placas de concreto e o subleito, com grande responsabilidade perante o bom desempenho do piso. Uma sub-base adequada é um investimento necessário e requer a devida atenção.

Segundo Pitta (1990), o emprego das sub-bases é responsável por:

**Evitar bombeamento de solos finos plásticos** através das juntas, bordas e fissuras das placas de concreto, quando observadas: presença de água no subleito e grandes esforços de carregamento nas placas de concreto. Em decorrência deste processo conhecido por *pumping*, ocorre redução volumétrica e perda de área de contato das placas de concreto com o subleito, gerando tensões de flexão não previstas e projeto, podendo ocasionar ruptura destes elementos.

**Evitar variação excessiva do material do subleito** quando estes apresentam características de solos expansivos. Em decorrência da expansão ou retração hidráulica heterogênea do solo as placas de concreto poderão apresentar comportamentos diferentes dos previstos em projeto, sofrendo deformações no regime plástico.

**Uniformizar o comportamento mecânico da fundação ao longo do piso** com o objetivo de distribuir as tensões oriundas do carregamento em áreas maiores de suporte. ( $T=F/A$ ).

## 5.1 Tipos de sub-base

Segundo Pitta (1990) as sub-bases podem ser classificadas em dois grupos: sub-bases granuladas e sub-bases estabilizadas.

Rodrigues et al. (2006) e Chodounsky (2007) classificam as sub-bases nos mesmos grupos de maior utilização, porém com pequenas alterações de nomenclatura. São denominadas as sub-bases granulares e as sub-bases tratadas. Esta nomenclatura será adotada no trabalho.

Tabela 5.1: Tipos de sub-base (Fonte: Chodounsky, 2007).

Tipos de Sub-bases	Sub-bases granulares	Granulometria aberta	
		Granulometria fechada	
	Sub-bases tratadas	Com cimento	Solo-cimento
			Solo melhorado com cimento
			BGTC
			Concreto rolado
		Com outros aditivos	Cal
			Pozolana
			Asfalto
	Aditivos químicos		

Segundo Rodrigues et al. (2006), atualmente as sub-bases de solo melhorado com cimento são bastante utilizadas, salvo em casos onde são detectadas necessidades de maior capacidade de suporte, sendo então mais utilizadas os sistemas de BGTC (brita graduada tratada com cimento) e CCR (concreto compactado com rolo).

### 5.1.1 Sub-bases granulares

São constituídas por materiais diversos com granulometria padrão especificada em projeto. Usualmente empregam-se materiais como as rochas britadas em usina, onde os lotes de granulometria específica já são definidos e separados.

Distribuídas acima do subleito com vibro acabadora de maneira uniforme e devidamente compactadas, as rochas britadas formam camada de comportamento uniforme para redistribuição dos esforços provenientes do carregamento, além de combaterem a ascensão de água por capilaridade proveniente do subleito. (ver figura 6.1, no capítulo 6).

Uma boa compactação e um controle da utilização de materiais não-expansivos e de elevada resistência mecânica, executada com critérios corretos, evita problemas de fissuras em função do assentamento e deformações do piso aumentando consideravelmente o coeficiente de recalque ( $k$ ), em sub-bases que variam de 10 a 30cm de espessura padrão.

Segundo Rodrigues et al. (2006), a caracterização granulométrica das sub-bases interfere diretamente em relação aos aspectos de drenagem. De acordo com especificações do DNER – Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, apresentadas pela tabela 5.2, o autor afirma que as composições granulométricas da faixa A são classificadas como sub-bases de granulometria aberta, e permitem rápido escoamento das águas que atravessam o revestimento. Já as composições

granulométricas da faixa B de graduação densa são mais indicadas para áreas cobertas.

Tabela 5.2: Granulometria da brita graduada (Fonte: DNER, *in* Rodrigues et al. 2006)

Peneira (mm)	% Passando					
	A	B	C	D	E	F
50	100	100				
25		75 a 90	100	100	100	100
9,5	30 a 65	40 a 75	50 a 85	60 a 100		
4,8	25 a 55	30 a 60	35 a 65	50 a 85	55 a 100	70 a 100
2	15 a 40	20 a 45	25 a 50	40 a 70	40 a 100	55 a 100
0,425	8 a 20	15 a 30	15 a 30	25 a 45	20 a 50	30 a 70
0,075	2 a 8	5 a 15	5 a 15	10 a 25	6 a 20	8 a 25



Figura 5.1: Material granular para execução de sub-base

Fonte: [www.pisosindustriais.com.br](http://www.pisosindustriais.com.br)

### 5.1.2 Sub-bases tratadas com cimento

As sub-bases tratadas com cimento apresentam desempenho superior quando comparadas com as sub-bases granulares. Suas propriedades garantem significativa diminuição das deformações do terreno, pois as tensões transmitidas ao subleito são reduzidas, o que assegura ganho de qualidade estrutural ao pavimento.

O módulo de elasticidade (resiliência) é o critério adotado para avaliar o desempenho dos diversos tipos de sub-base. A deformação, adensamento e movimentação dos materiais das sub-bases indicam coeficiente de perda de suporte para as placas de concreto. A tabela 5.3 classifica os tipos sub-bases quanto ao seu módulo de elasticidade e conseqüente perda de suporte. Nota-se grande resistência dos sistemas que utilizam tratamento com cimento.

Tabela 5.3: Módulos resilientes de materiais para sub-base de pavimentos rígidos  
(Fonte: adaptada de Rodrigues & Pitta, 1997).

<b>Tipo de Material</b>	<b>Módulo de elasticidade (E=em MPa)</b>	<b>Perda de suporte</b>
Concreto compactado com rolo	7.000 a 14.000	0 a 1
Brita graduada tratada com cimento	3.500 a 7.000	0 a 1
Bases tratadas com asfalto	2.100 a 2.500	0 a 1
Misturas estabilizadas com asfalto	280 a 2.100	1 a 3
Solo-cal	140 a 300	1 a 3
Bases granulares	100 a 300	1 a 3
Material fino ou subleito	20 a 280	2 a 3

Os tipos mais utilizados de sub-base tratadas com cimento são: o SMC (solo melhorado com cimento), o BGTC (brita graduada tratada com cimento) e o CCR (concreto compactado com rolo). A seguir, são apresentadas as principais características destes sistemas.

### 5.1.2.1 Solo-cimento (SC) e Solo melhorado com cimento (SMC)

Dal-Maso (2008) define solo-cimento (SC) e solo melhorado com cimento (SMC) como os materiais obtidos através da mistura de solo compactado com cimento e água com dosagem definida em laboratório.

É bastante utilizado em solos arenosos com alto teor de finos. Seu emprego reduz o índice de plasticidade e controla a expansibilidade do solo. A utilização do sistema neste tipo de solo é indicada pela facilidade de homogeneização da mistura e aumento de seu suporte de carga.

A dosagem em laboratório define o teor percentual de cimento a ser utilizado na mistura para alcançar desempenho desejado através de ensaios das propriedades mecânicas, como por exemplo, o CBR.

Segundo Chodounsky (2007), as diferentes terminologias são empregadas em razão da função da adição do ligante. Quando a incorporação do cimento objetiva o incremento de resistência, denominamos solo cimento (SC). Já no caso de utilização do ligante para controle apenas da plasticidade e expansibilidade do solo, denomina-se solo melhorado com cimento (SMC).

Rodrigues et al. (2006) afirma que o SMC tem baixa porcentagem de cimento na mistura, variando de 3% a 6% do volume total. Já no SC, os teores de cimento variam de 7% a 12% de acordo com a granulometria ensaiada do solo.



Figura 5.2: Compactação de solo-cimento com rolo vibratório (Fonte: [www.skidcase.com.br](http://www.skidcase.com.br))

#### **5.1.2.2 Brita graduada tratada com cimento (BGTC)**

As sub-bases compostas com brita graduada tratada com cimento (BGTC) são compostas pela mistura de brita graduada (de acordo com classificação granulométrica), teores controlados de água e cimento (mínimo 3%) com dosagem específica definida em laboratório.

A distribuição granulométrica deve ser homogênea e isenta de materiais orgânicos. As espessuras das sub-bases BGTC podem variar entre 10 e 20 cm.

Segundo Rodrigues et al. (2006), o sistema BGTC é indicado para sistemas de piso reforçados que apresentam espessuras das placas reduzidas, pois apresentam elevado módulo de elasticidade (ver tabela 5.3).

O sistema de placas não-aderidas (sub-base / placas de concreto), separadas pela camada da barreira de vapor (lona plástica), garante grande capacidade de absorção de carga e assim redistribuir as tensões do carregamento em áreas maiores.

Segundo Dal-Maso (2008), alguns cuidados devem ser tomados com a adoção do sistema BGTC devido ao processo de retração hidráulica, podendo ser necessários o controle do processo de cura e execução juntas.



Figura 5.3: Graduação das britas (Fonte: [www.conpasul.com.br](http://www.conpasul.com.br))

### 5.1.2.3 Concreto compactado com rolo (CCR)

É a tecnologia mais recente para execução de sub-bases, sendo definido como uma camada de concreto de consistência seca que apresenta trabalhabilidade suficiente para compor mistura homogênea e ser transportado, lançado e adensado por máquinas de rolos compactadores.

Quanto ao comportamento estrutural, apresenta elevada resistência à compressão e à tração na flexão, majorando os coeficientes de recalque (K) do subleito em até três vezes segundo Dal-Maso (2008). O CCR para sub-bases usualmente são dimensionadas entre 10 e 15cm e também deve receber cuidados para evitar fissuração por retração hidráulica através de cura adequada e execução de juntas.

O sistema apresenta elevado consumo de cimento, devendo ser observadas questões de controle de trincas e fissuras causadas por retração hidráulica. Portanto, devem ser observadas as condições de cura do concreto e dimensionamento de juntas na sub-base do pavimento.

Segundo Chodounsky (2007), apesar do desempenho do sistema estar mais diretamente associado ao consumo do material ligante, e que o controle granulométrico não necessita ser tão rigoroso, a limitação do diâmetro dos agregados graúdos entre 19mm e 25mm resultam em bons valores de resistência mecânica e de economia.



Figura 5.4: Compactação do concreto com rolo vibratório (Fonte: [www.ptr.usp.br](http://www.ptr.usp.br))

## 6. BARREIRAS DE VAPOR

Segundo a ANAPRE (Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho), as barreiras de vapor são formadas por camadas impermeáveis, tais como lonas plásticas de polietileno ou imprimações impermeabilizantes e são geralmente utilizadas quando o pavimento irá receber camadas de revestimentos especiais ou no combate aos problemas de umidade ascendente do solo.

Instalada após a colocação das fôrmas, e situada entre as camadas da sub-base e as placas de concreto, também atua como camada de deslizamento, uma vez que evita a consolidação estrutural das camadas imediatamente superior e inferior. Este filme de polietileno (lona plástica) garante boas condições de movimentação das placas em decorrência das variações de comprimento por retração e dilatação térmica do piso de concreto, caracterizando o sistema como placas não-aderidas.

Outra característica marcante é que as barreiras de vapor auxiliam os processos de cura das placas de concreto, as lonas plásticas garantem a hidratação do cimento, evitando perda de água de amassamento para a sub-base.

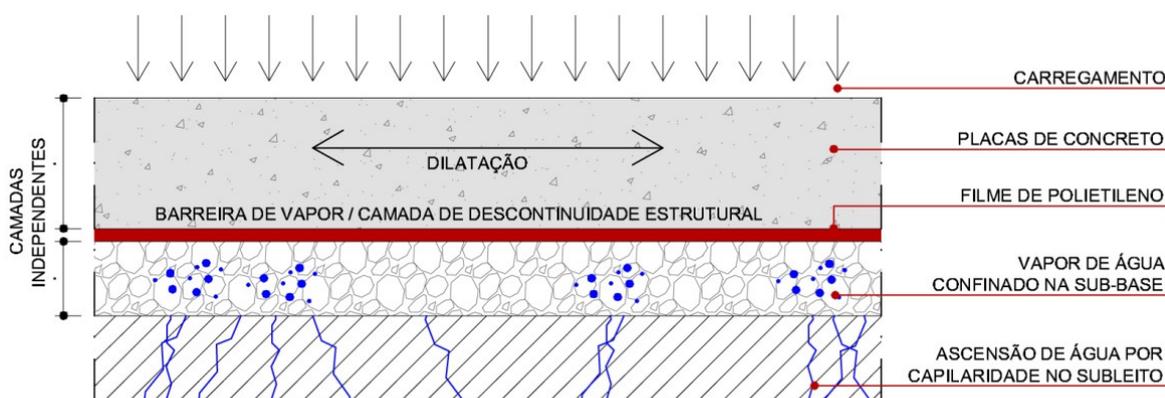


Figura 6.1: Funções da barreira de vapor em pisos de concreto



Figura 6.2: Instalação de filme de polietileno

Fonte: [www.ptr.usp.br](http://www.ptr.usp.br)



Figura 6.3: Rolo de filme de polietileno

## 7. PLACA DE CONCRETO

As placas de concreto são os elementos estruturais de maior importância dentro do sistema de pavimentação industrial. É a camada responsável por receber e absorver todos os carregamentos e posteriormente transmiti-los de maneira uniforme às camadas de suporte inferiores, a sub-base e o subleito.

Outro aspecto importante é o fato de sua superfície superior estar em contato direto com os agentes agressores. Para garantir a integridade do sistema do piso, as placas devem ser tratadas adequadamente e podem receber diversos tipos de revestimentos, sendo sua superfície mais uma vez solicitada a promover ancoragem eficiente para estes compostos.

Como já visto anteriormente no capítulo 3, as placas de concreto apresentam inúmeras variações quanto ao seu reforço estrutural, podendo ser de concreto simples ou reforçada com armaduras de aço, telas soldadas, fibras de aço e nylon, ou ainda por cabos de protensão.

A adoção de sistemas de reforço vem sendo difundida no meio técnico devido ao aumento da resistência da placa aos carregamentos impostos e conseqüente possibilidade de execução de estruturas mais delgadas. Além disso, estes sistemas controlam problemas de fissuração por retração hidráulica e reduzem significativamente o número de juntas, que são pontos bastante vulneráveis ao aparecimento de patologias.

## 7.1 Dimensionamento e tipos de carregamento

Por se tratar de assunto bastante complexo e de discussão específica, os métodos de dimensionamento das placas de concreto não são objetos de estudo deste trabalho. Porém, algumas questões serão apontadas, visando apresentar as ações responsáveis por gerar carregamentos nas placas. Estas ações, caracterizam o tipo de solicitação à qual o piso estará submetido, e portanto, deverão ser consideradas como dados de entrada para execução do dimensionamento.

A classificação dos carregamentos é abordada pelos autores e profissionais com nomenclaturas diversas. Porém elas fundamentalmente estão ligadas à natureza dos esforços aos quais as placas estão sendo solicitadas. A tabela 7.1 mostra a classificação e nomenclatura adotada para este trabalho.

Tabela 7.1 – Classificação dos carregamentos impostos aos pisos industriais

<b>Ações indiretas</b>	Retração	Secagem
		Autógena
		Plástica
	Dilatação térmica	
	Empenamento	
<b>Ações diretas</b>	Móveis	
	Estáticas	Distribuídas
		Concentradas (pontuais)
		Lineares

### 7.1.1 Ações indiretas

As ações indiretas são causadas por aspectos que não incluem o período de operação do piso. Os fatores estão principalmente associados ao comportamento do material

em relação às variações térmicas e processos envolvidos na produção das placas, resultando em tensões internas do concreto, que por ventura podem ser transferidos aos elementos adjacentes do sistema do piso.

Embora as tensões geradas pelas ações indiretas apresentem grande influência no sistema estrutural do piso, estas não são consideradas no cálculo estrutural. Tal conduta é adotada pela criteriosa especificação dos materiais com propriedades específicas de combate aos esforços, como por exemplo, o controle da resistência de deformação do concreto. Outros fatores consideráveis são o emprego de sistema de pavimentação adequado, considerando o dimensionamento das áreas das placas e conseqüentemente controle da quantidade de juntas do pavimento, e os procedimentos executivos de cura do material, evitando que a grande superfície exposta das placas perca água necessária à hidratação do cimento.

Resumidamente, consideram-se os seguintes conceitos:

**Retração:** redução de dimensional das peças de concreto. Nas placas de piso industrial, a geometria das peças concretadas contribui para ocorrência destes fenômenos, podendo sofrer fissuração. Podem ser por secagem (perda de água); autógena (redução do volume de produtos no processo de hidratação); e plástica (que ocorre antes da pega).

**Dilatação térmica:** Variações de volume em função da temperatura do ambiente que geram tensões de tração e compressão internas nas placas e transmissão destes esforços os elementos adjacentes.

**Empenamento:** Relação entre a dilatação térmica e a espessura da placa de concreto. As condições de temperatura do ambiente são absorvidas gradativamente ao longo da espessura do material, resultando em diferentes tensões na superfície superior e inferior da placa, que apresentam variações de volume de maneira heterogênea.

As figuras abaixo ilustram os processos de retração, dilatação térmica e empenamento das placas de concreto.

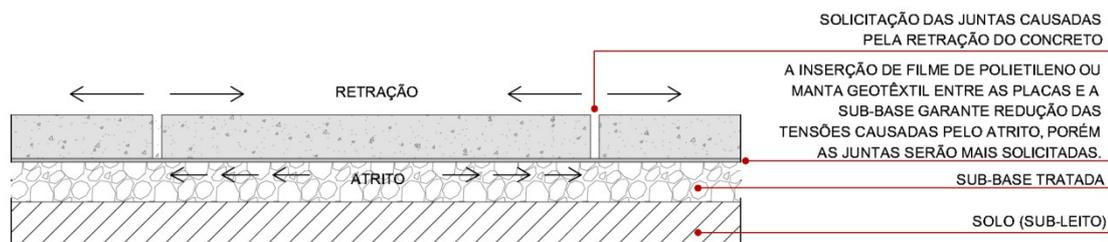


Figura 7.1: Ação de retração nas placas de concreto

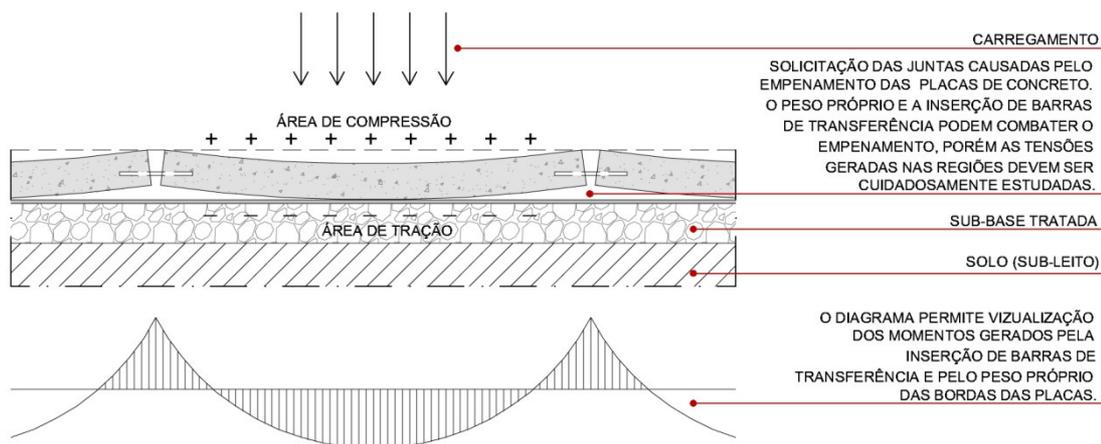
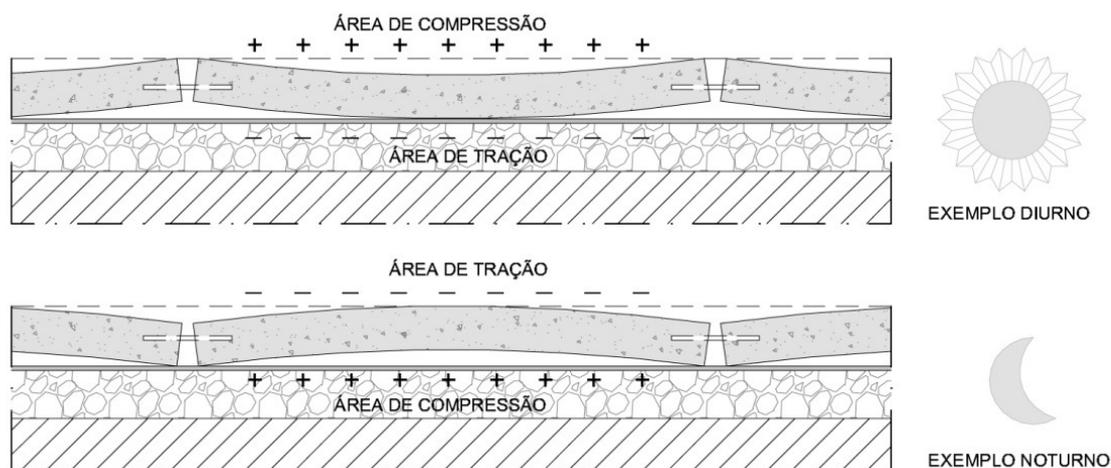


Figura 7.2: Ação de empenamento nas placas de concreto



O EMPENAMENTO CAUSADO PELO AQUECIMENTO OU RESFRIAMENTO DO AMBIENTE, PROVOCANDO VARIAÇÕES TÉRMICAS AO LONGO DA ESPESSURA DA PLACA DE CONCRETO. O PESO PRÓPRIO E A INSERÇÃO DE BARRAS DE TRANSFERÊNCIA PODEM COMBATER O EMPENAMENTO, PORÉM AS TENSÕES GERADAS NAS REGIÕES DEVEM SER CUIDADOSAMENTE ESTUDADAS.

Figura 7.3: Ação de empenamento nas placas considerando as variações térmicas do ambiente

### 7.1.2 Ações diretas

As ações diretas são as forças ou carregamentos aplicados à estrutura. São geradas a partir da incidência operacional sobre os pavimentos.

Para fazer a classificação quanto à natureza do carregamento, e posterior cálculo estrutural dos pavimentos, é necessário identificar estas ações estudando-se todo o processo de operação das áreas, incluindo layout de utilização, caracterização e frequência dos fluxos de equipamentos móveis.

Os carregamentos podem ser móveis, gerados pelo tráfego de empilhadeiras e paleteiras, ou estáticos gerados pelos carregamentos de estantes de estocagem, maquinário industrial e demais elementos fixos e estocados.

### 7.1.2.1 Carregamentos móveis

Os carregamentos móveis que atuam em pisos industriais geralmente são de curta duração e frequência elevada, devendo ser estudados sempre com base na fadiga do sistema do piso. A análise do tráfego de empilhadeiras e paleteiras, e de suas particularidades (distância entre eixos, rigidez do material das rodas e rolamentos) são dados fundamentais para previsão de boa durabilidade do piso.

Além do controle da sobrecarga imposta ao sistema do piso por estes maquinários, o cuidado com as juntas é fundamental. O posicionamento dado pelo projeto geométrico deve considerar o menor número possível de juntas nas áreas de tráfego, pois são os pontos onde se manifestam as principais patologias de esborcinamento, geradas por esses carregamentos e impactos nas extremidades das bordas das placas. Quanto necessárias, o cuidado na especificação e os detalhes de tratamento adequado minimizam a ocorrência dessas patologias.



Figura 7.4: Maquinário de operação de estocagem e transporte industrial

Fontes: [www.castell.com.br](http://www.castell.com.br) e [www.emptron.com.br](http://www.emptron.com.br)

### 7.1.2.2 Carregamentos estáticos

Como já dito anteriormente, os carregamentos estáticos são constituídos pelas cargas lineares, cargas distribuídas e cargas concentradas ou pontuais. O critério para essa classificação, baseado na relação de distribuição destes esforços em diferentes áreas, auxilia o dimensionamento estrutural em função das solicitações de tração-compressão, momentos fletores e forças cortantes aplicadas às áreas solicitadas placas de concreto.



Figura 7.5: Galpão de estocagem (Fonte: [www.logismarket.ind.br](http://www.logismarket.ind.br))

Segundo Rodrigues et al. (2006), é importante observar a proximidade dos carregamentos, pois podem gerar esforços superpostos que devem ser considerados no cálculo estrutural.

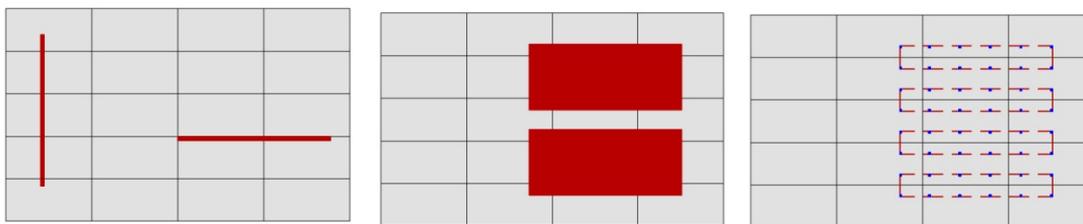


Figura 7.6: Carregamentos estáticos: lineares, distribuídos e pontuais, respectivamente dispostos em pavimento industrial.

Tabela 7.2: Caracterização dos carregamentos estáticos:

Carregamentos Estáticos	Definição	Comportamento estrutural	Exemplo
Cargas Lineares	Esforços concentrados em grande extensão.	Aumento das tensões internas da placa causado por momento fletor.	Alvenarias apoiadas sobre placas de concreto sem vigamento inferior.
Cargas Distribuídas	Distribuição dos esforços em grandes áreas.	Elevada solicitação de resistência mecânica do piso e necessidade de grande capacidade de suporte do sistema do piso no regime elástico.	Estocagem de pallets / Depósito de grãos
Cargas Concentradas ou Pontuais	Concentração dos esforços em pequenas áreas.	Elevado esforço cortante. Efeitos de puncionamento nas placas de concreto. Superposição dos esforços. Evita-se a disposição dos apoios nas proximidades das bordas.	Base de estantes que apresentam apoio com área reduzida

## 7.2 Concreto para Pavimentação Industrial

Os aspectos sobre a tecnologia do concreto são demasiadamente extensos, exigindo um estudo detalhado de seu comportamento para cada caso específico. Como informações adicionais ao trabalho, são apresentadas apenas algumas condutas para produção do concreto para pavimentação industrial.

A especificação destes compósitos para pisos industriais deve ser cuidadosamente estudada, pois é comum encontrar patologias nos sistemas de pavimentos por falta de conhecimento técnico especializado e especificações errôneas do compósito. Para dosagem de tais concretos é preciso fundamentalmente definir vários parâmetros em relação aos materiais empregados e suas proporções adequadas, avaliando previamente o comportamento da mistura mediante ao planejamento da obra, e a partir da influência de cada material e condições do ambiente.

*O melhor traço de concreto para pisos é aquele que consegue incorporar a combinação mais econômica de materiais com a trabalhabilidade, resistências à abrasão e compressão, durabilidade e retração requeridas no projeto. (SEILER, H. Paul, 2009).*

As principais condutas na especificação do concreto para pavimentos industriais segundo Seiler (2009) são: minimizar a retração; garantir elevado índice de resistência à abrasão; controlar o teor de finos ou de aditivos modificadores de viscosidade para garantir bombeamento e boas condições para o acabamento; evitar o uso excessivo de aditivos retardadores para evitar pega diferencial.

Segundo Rodrigues et al. (2006), além disso, o compósito deve apresentar resistência à compressão e à flexão conforme especificada em projeto, de acordo com o estudo dos carregamentos previstos. Deve também possuir alta capacidade de deformação e alongamento na ruptura, permitindo deformação e dissipação das tensões geradas pela retração e pelas deformações térmicas das placas ao longo de tempo de utilização.

Segundo Quinta (2006), os concretos ainda devem apresentar teor de argamassa entre 52 e 55%; fator água/cimento menor do que 0,55; abatimento do tronco de cone

(ensaio *slump*): entre 80 mm e 120 mm durante todo o lançamento do concreto na pista; e curva granulométrica de agregados graúdos contínua.

Devido à prática atual de adoção de espessuras delgadas nas placas de concreto, a dimensão máxima de britas (agregado graúdo) adotadas geralmente pela equipe de execução é de 19mm, o que causa grandes variações volumétricas no composto, potencializando ainda mais os problemas de retração (Rodrigues et al, 2006).

Condicionadas a tantos fatores de controle tecnológico, a dosagem e a concretagem devem ser verificadas antes do início da execução das placas do pavimento, recomendando-se que nas obras de pavimentação industrial, seja feita a execução prévia de uma placa teste, fora do perímetro de utilização operacional, para avaliação criteriosa de seu desempenho e verificação dos resultados obtidos comparativamente com o especificado em projeto. Esta avaliação prévia constata ou não, o atendimento dos requisitos necessários para operação em cada caso, permitindo aos profissionais envolvidos tomarem as devidas providências para o controle de qualidade do pavimento.

Quando abordamos a tecnologia do concreto para pavimentos industriais, cada caso deve ser estudado de maneira particular, pois existem restrições impostas por alguns sistemas que poderão ser compensadas na especificação, na dosagem, nos procedimentos de concretagem ou na fase de acabamentos superficiais. Cabem aos profissionais responsáveis técnicos envolvidos em todo o processo, as avaliações dessas particularidades.

Como exemplo, pode-se citar a influência do alto teor de finos dos agregados miúdos. Em um primeiro momento, estes elementos garantem ao concreto uma boa trabalhabilidade e junto com o cimento, asseguram a coesão da mistura fresca. Porém, estes possuem massa específica muito baixa e durante os processos de corte e acabamento do concreto, eles afloram em grande quantidade na superfície, reduzindo significativamente a resistência superficial ao desgaste. Neste caso, um aumento do consumo de cimento pode trazer trabalhabilidade e favorecer formação de argamassa própria para acabamento superficial e de grande resistência ao desgaste. Porém, os riscos de fissuração por retração são significativamente aumentados durante o processo da concretagem.

Quanto aos processos executivos das placas de concreto, estes compreendem desde a produção e transporte do concreto, até o corte e tratamento das juntas. Todos os processos serão abordados no capítulo 11.



Figura 7.7: Execução de placa teste

Fonte: [www.pisosindustriais.com.br](http://www.pisosindustriais.com.br)

## 8. ACABAMENTO SUPERFICIAL

O acabamento superficial das placas de concreto é executado por uma série de ações coordenadas composta basicamente pelo corte, desempenho, alisamento e aplicação de elementos específicos como endurecedores de superfícies ou aspersões minerais e metálicas. Neste capítulo serão abordados os aspectos de controle de qualidade, tecnologia e função destes processos. Os critérios executivos e operacionais serão descritos no capítulo 11.

A escolha destes processos de acabamento superficial dos pavimentos industriais é intimamente associada ao funcionamento da área, uma vez que este é o elemento do piso exposto às ações externas de carregamentos e demais agentes agressores nos períodos de operação.

Esses procedimentos conferem à superfície características específicas de acordo com a demanda identificada ainda em fase de projeto. Além do aumento da resistência ao desgaste superficial por abrasão, o acabamento superficial bem especificado e executado confere ao piso a compactação superficial e remoção das imperfeições, controle da planicidade e do nivelamento de acordo com critérios de projeto, e conseqüentemente boas condições de rolamento dos maquinários (empilhadeiras e paleteiras).

Segundo a NBR 14931/2004: Execução de estruturas de concreto - Procedimento, as superfícies devem apresentar durabilidade e uniformidade, alcançadas através de

processos de lançamento, adensamento e vibração adequados evitando a segregação do material.

Ainda com base em dados da NBR 14931/2004, uma dosagem sem critérios específicos para pavimentos industriais associada a um processo de vibração inadequado (de longa duração e reincidente no mesmo local) promove a exsudação excessiva, fazendo com que a água e o teor de finos migrem para a superfície reduzindo a resistência superficial ao desgaste por abrasão e comprometendo a durabilidade das placas concretadas.

Aspectos a serem também pontuados na execução do acabamento superficial são: a homogeneidade estética; a prevenção de formação de poeira, reduzindo os custos com manutenção; e a impermeabilização, controlando a porosidade do concreto e promovendo proteção contra umidade e agentes agressores.

A partir do estudo da utilização do pavimento, poderão ser adotados procedimentos mecânicos para acabamentos com índices controlados de rugosidade e texturização. Estes processos são utilizados principalmente quando está prevista a instalação de camadas de revestimento. Considerando a superfície exposta da placa de concreto como substrato, a rugosidade e textura adequadas promovem a criação de uma camada de aderência que garante a perfeita ancoragem das camadas de revestimento a serem instaladas posteriormente.

Os processos mais empregados para controle de garantia da qualidade do acabamento superficial são: o Sistema *F-Numbers*, as aspersões minerais e metálicas,

e a aplicação de líquidos endurecedores de superfícies. Em alguns casos, o processo de cura pode associar a utilização destes componentes para garantir melhores resultados, evitando a perda de água pela grande superfície exposta e assegurando aumento da resistência superficial e da durabilidade.

### **8.1 Sistema *F-Numbers***

Segundo Rodrigues et al. (2006), a qualidade superficial do piso é um critério importante para o seu desempenho, garantindo o tráfego suave dos equipamentos e facilitando a instalação de equipamentos e sistemas de armazenagem.

A necessidade de controlar estes aspectos está fundamentalmente mais associada ao desempenho do piso do que por questões estéticas, uma vez que problemas como ondulações e imperfeições superficiais podem conferir menor performance das operações de logística: perda de produtividade, menor segurança, além de maior manutenção dos veículos. Em função do grande carregamento de estantes, por exemplo, a distribuição das cargas pode ser feita de maneira diferenciada nos apoios quando observadas falhas nos índices de planicidade e nivelamento, solicitando regiões restritas das placas de concreto.

A metodologia descrita pela norma ASTM E 1155 / 96 controla, com base no sistema *F-Numbers* (ACI, 1989) os critérios de planicidade e de nivelamento para os pisos industriais definindo dois parâmetros: o  $F_F$  e o  $F_L$ .

O  $F_F$  é o índice de planicidade (flatness). O valor é calculado considerando a máxima curvatura no piso em 60 cm, calculada com base em duas medidas sucessivas de elevações diferenciais, tomadas a cada 30 cm. Quando maior o valor, mais plana é a superfície analisada.

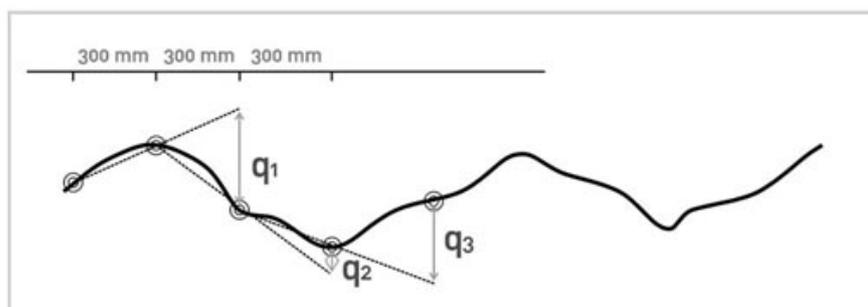


Figura 8.1: Caracterização índice de planicidade ( $F_F$ ).

Fonte: [www.pisosindustrais.com](http://www.pisosindustrais.com)

O  $F_L$  é o índice de nivelamento (levelness). Seu índice é calculado pela definição de um plano de referência (geralmente horizontal) e posterior avaliação da variação dos níveis a cada 3 metros. Quando mais o valor do índice, mais próximo ao plano referencial está a superfície analisada.

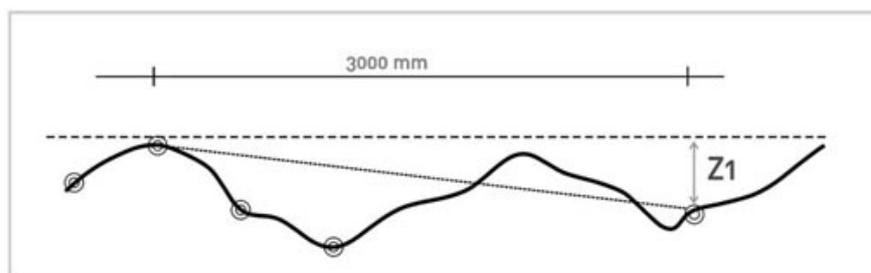


Figura 8.2: Caracterização índice de nivelamento ( $F_L$ ).

Fonte: [www.pisosindustrais.com](http://www.pisosindustrais.com)

Os valores mínimos para aceitação e controle de qualidade do piso são indicados pelos  $F_F$  e o  $F_L$ . Baseiam-se em dados fornecidos pelo projeto e representam as tolerâncias superficiais de acordo com a atividade empregada sobre os pavimentos.

Cada um desses parâmetros apresenta valores globais e mínimos, não devendo ser confundidos com o  $F_{\min}$ , que é empregado apenas para casos de pisos conhecidos como *superflat*, com altos índices de planicidade, onde são considerados veículos com tráfego definido em corredores estreitos ainda em fase de projeto e definição das atividades de operação.

A ACI (*American Concrete Institute*) apresenta classificações de piso e os índices globais de planicidade e nivelamento indicados para cada caso. A tabela 7 abaixo demonstra estes valores globais, podendo ser utilizada como referencial.

Tabela 8.1: Valores típicos do sistema *F-Numbers* (adaptação ACI 302)

<b>Aplicação / Uso típico</b>	$F_F$ Global	$F_L$ Global
Pisos comuns, pisos de garagens e estacionamentos, contra-piso para pisos elevados ou revestimentos assentados com argamassa	20	15
Áreas carpetadas ou pisos comerciais e industriais de baixo tráfego	25	20
Revestimentos tipo RAD ou de baixa espessura e área de depósitos com tráfego moderado ou elevado	35	25
Depósitos especiais (estrutura de porta-pallets com grande altura), pistas de patinação	45	35
Equipamentos especiais (empilhadeiras tri-laterais, estúdios de filmagem ou televisão)	>50	>50

Segundo orientação da norma ASTM E 1155 / 96, as medições da planicidade e nivelamento devem ser efetuadas, entre 24 e 72 horas após as operações de acabamento superficial do concreto, permitindo reparos das superfícies em desconformidade com os níveis especificados em projeto.



Figuras 8.3 e 8.4: Conferência dos valores *F-Numbers* com equipamento Dipstick Floor Profiler  
Fontes: [www.concretebindings.com](http://www.concretebindings.com) e [www.pisosindustrais.com](http://www.pisosindustrais.com)

A operação do dipstick é bastante simplificada. Primeiramente, define-se uma linha de referência considerando as placas concretadas no local, sendo o primeiro ponto considerado como nível de referência. A partir dos dois apoios existentes na base do equipamento, este é girado alternadamente sobre cada perna seguindo a direção da linha pré-definida (transversal ou longitudinalmente à placa concretada). Os displays eletrônicos já mostram a diferença de altitude entre os dois pontos apoiados no piso e os dados já são gravados em formato específico para geração de relatórios e gráficos com os dados obtidos no ensaio.

## 8.2 Líquidos endurecedores de superfície

Os endurecedores de superfícies são compostos químicos líquidos lançados nas superfícies das placas de concreto com função de controlar a porosidade do material e aumentar sua resistência à abrasão, prolongando sua vida útil e reduzindo seus custos de manutenção.

Segundo Rodrigues et al. (2006), o desenvolvimento e a inserção de tecnologias dos líquidos endurecedores de superfície no sistema de pavimentação industrial estão associados aos problemas gerados por baixa resistência ao desgaste, resultando no desprendimento de material pulverulento da superfície do piso.

O desprendimento dessas partículas prejudica consideravelmente as condições de utilização do piso, sobretudo no conforto do rolamento e aumento de manutenção periódica (limpeza). Caso ocorra o processo de degradação, este deve ser tratado em estágio inicial, pois quanto mais o pavimento for solicitado nestas condições, maiores serão os danos causados, considerando o aumento de atrito a cada avanço de estágio da degradação.

Segundo Oliveira & Tula (2006), estes compostos químicos, na maioria das vezes de aspecto líquido e incolor, penetram nos poros capilares das placas de concreto, reagindo principalmente com o hidróxido de cálcio (Portlandita). Esta reação cria cristais de elevada dureza e grande estabilidade química, conferindo alto índice de dureza à camada superficial da placa e aumentando sua resistência química e à abrasão, além de garantir controle da permeabilidade de gases e líquidos.

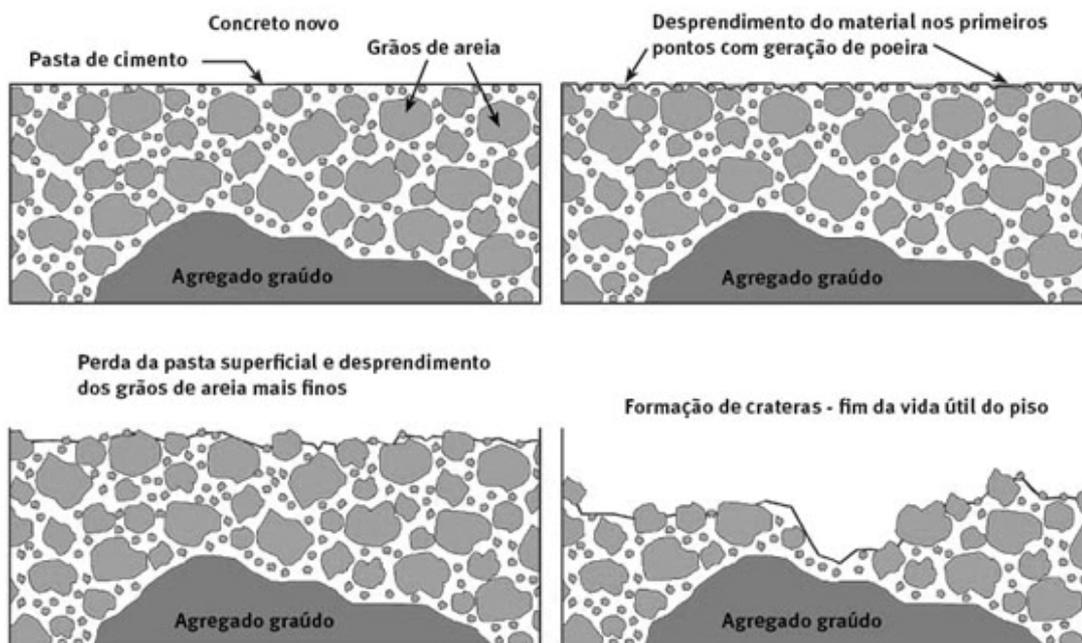


Figura 8.5: Processo de perda de material por abrasão, com formação de poeira em superfícies de concreto não tratadas. Fonte: Oliveira & Tula, 2006

Embora a presença de hidróxido de cálcio apresente vantagens quanto à proteção das armaduras, é um componente bastante instável quimicamente e mecanicamente, sobretudo quando os processos de cura não são devidamente executados e quando o fator água cimento é elevado na dosagem do concreto.

Os principais endurecedores de superfície encontrados no mercado atualmente são à base silicato de sódio ou flúor-silicatos. O produto mais indicado é o composto por flúor-silicato metálico e agentes umectantes, pois segundo Oliveira & Tula (2006), possuem alto grau de penetração e formam cristais de dimensões reduzidas e elevada dureza, além de permitirem ligações químicas mais estáveis. Já o tratamento superficial com silicato de sódio forma um filme de elevada dureza, porém com durabilidade inferior devido às reações químicas com o dióxido de carbono presente na atmosfera e pela conseqüente formação de sal instável e solúvel em água.

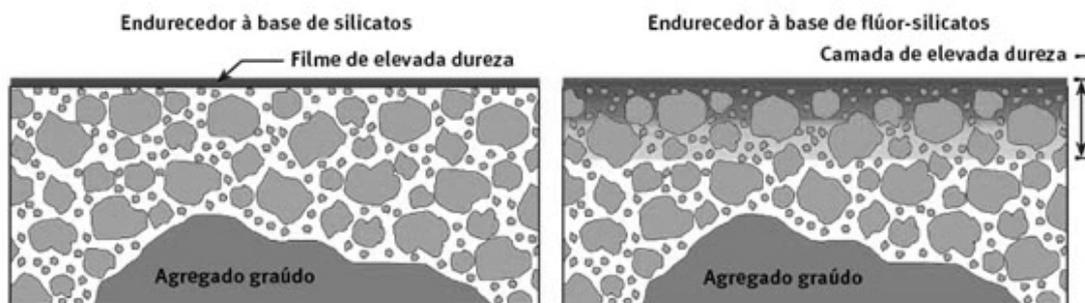


Figura 8.6: Superfícies tratadas com endurecedores de superfície

Fonte: Oliveira & Tula, 2006

A aplicação destes compostos em pavimentos novos deve ser retardada ao máximo para garantir seu desempenho, no mínimo 14 dias após a concretagem, pois como já citado anteriormente, os líquidos endurecedores de superfície reagem com as partículas de hidróxido de cálcio (Portlandita), que por sua vez são originadas do processo de hidratação do cimento.

### 8.3 Agregados minerais e metálicos

A utilização de agregados minerais e metálicos para conferir resistência superficial às placas de concreto pode ser veiculada de duas formas distintas: por meio de argamassas ou por aspersão.

As argamassas podem ser utilizadas sobre superfícies frescas ou já endurecidas previamente preparadas, enquanto os métodos de aspersão são somente aplicados sobre superfícies frescas, devendo ser especificado somente quando existir disponibilidade de equipamentos adequados para distribuição homogênea dos compostos ao longo da superfície das placas de concreto e conseqüente incorporação

do material às placas. Em ambos os casos se faz necessário o controle criterioso da cura adequada.

### **8.3.1 Argamassas cimentícias de alta resistência (HPC)**

Segundo Rodrigues et al. (2006), as argamassas cimentícias de alta resistência, quando aplicadas como revestimento das placas de concreto nos sistemas de pavimentação industrial, foram muito utilizadas até a década de 80. Porém, com a mudança da cultura construtiva destes sistemas e o emprego pavimentos monolíticos de concreto com elevada resistência, o uso dessas argamassas foi restringido para casos específicos.

Atualmente, essas argamassas, também designadas como HPC (*High Performance Concrete* ou micro-concreto de alto desempenho), são utilizadas quando o concreto não possui propriedades de resistência suficientes para combater o desgaste abrasivo de determinadas operações. São aplicadas no sistema tipo úmido sobre úmido, devendo ter preparo de substrato com rugosidade adequada no estado fresco e lançamento criterioso para evitar deslocamentos da placa de concreto; e no sistema tipo *overlay*, devendo apresentar substrato de concreto endurecido, isento de contaminações e partículas soltas e com superfície fresada para aderência do material.

O controle de dosagem, os materiais empregados nessa mistura, a preparação do substrato, e os cuidados no lançamento definem seu desempenho.

### 8.3.2 Aspersão de agregados de alta resistência (*Dry-Shakes*)

As aspersões, também conhecidas como salgamento, consistem na deposição manual ou mecânica de compostos à base de cimento Portland e aditivos minerais e/ou aditivos metálicos secos (*dry-shakes*) sobre a superfície do concreto, previamente adensado ainda no estado fresco, conferindo grande resistência à abrasão.

Segundo Rodrigues et al. (2006), os agregados minerais geralmente utilizados são caracterizados por apresentarem elevada dureza, como o quartzo e o diabásio. Já os agregados metálicos mais comumente empregados são o óxido de alumínio e ferro metálico.

Estes elementos de granulometria e dosagem controladas formam camada de material pulverulento de cerca de 3mm de espessura sobre a superfície da placa, devendo ser hidratados com a água proveniente do processo de exsudação.

Segundo Rodrigues et al. (2006), a aspersão de agregados com volume superior ao previsto em projeto pode causar perda de água de hidratação do concreto (exsudação excessiva), resultando na diminuição da resistência mecânica do piso e podendo causar deslocamentos.

O sistema de aspersão permite a utilização de aditivos pigmentados em sua composição criando possibilidade de execução de pisos coloridos de acordo com critério e necessidade da empresa ou preferência do cliente.

## 9. JUNTAS

Juntas são mecanismos de descontinuidade estrutural que apresentam a função básica de permitir a movimentação dos segmentos estruturais de forma independente. Segundo Rodrigues & Gasparetto (2003), elas controlam as variações higr-térmicas do concreto, permitindo movimentações de retração e dilatação das placas. Além disso, servem como elementos auxiliares ao processo de execução.

Nos pisos industriais, os detalhes construtivos das juntas ainda apresentam elementos capazes de redistribuir os esforços entre as placas quando o carregamento é aplicado na área das bordas da placa. São mecanismos de transferência de carga entre as placas adjacentes, que segundo Rodrigues et al (2006), garantem manutenção da planicidade e asseguram a qualidade do piso e conforto do rolamento.

Atualmente a tecnologia de pavimentação industrial apresenta alternativas diversas para redução do número de juntas, como por exemplo, a utilização do concreto protendido e do concreto com fibras. Estes sistemas têm sido cada vez mais empregados, uma vez observada a grande vulnerabilidade das juntas às patologias.

Porém, nem sempre é possível adotar estes sistemas em função do custo elevado e do planejamento da obra. Na execução de um plano de concretagem, por exemplo, podem ser observadas questões relativas à capacidade das empresas locais para fornecimento de grandes volumes do concreto em determinadas regiões e a disponibilidade de mão-de-obra e equipamentos para os serviços, sendo necessárias

a concretagem em placas. Em decorrência disso, as juntas de construção serão necessárias.

Quando houver necessidade de instalação de juntas, estas devem ser devidamente dimensionadas e tratadas com processos e materiais específicos de acordo com uso e layout pré-definido para a área de operação, garantindo sistema com elevada durabilidade. Estes procedimentos serão descritos ao longo do capítulo.

Chodounsky (2007) afirma que a simples execução de um piso com placas grandes não garante que os problemas de juntas sejam minimizados. Para alcançar bons índices de durabilidade e eficiência das juntas, o projetista deve calcular e definir as dimensões das placas com base no conhecimento do comportamento de cada junta, e baseado no layout de operação da área, desenvolver projeto geométrico que posicione estes elementos em áreas de tráfego reduzido.

## **9.1 Tipos de juntas**

Rodrigues et al. (2006), classifica as juntas dos pisos industriais em três tipologias, devendo cada uma delas ser empregada em casos específicos e conseqüentemente gerar desempenho satisfatório do sistema construtivo: juntas de construção (JC), juntas serradas (JS) e juntas de encontro (JE).

### **9.1.1 Junta de construção (JC)**

Segundo Rodrigues et al. (2006) as juntas de construção são formadas pela limitação das fôrmas instaladas no perímetro das placas concretadas. O espaçamento deste

tipo de junta é condicionado por fatores logísticos da execução da obra, sendo limitado em função dos equipamentos disponíveis, índices de planicidade especificados em projeto e geometria da área (plano de concretagem).

Estas juntas utilizam mecanismos de transferência de cargas compostos por barras de transferência ou encaixe macho-fêmea, com função de distribuir os carregamentos impostos para as placas adjacentes. Por apresentarem melhor desempenho na transferência das cargas, e processo executivo mais simples, atualmente as barras de transferência são mais empregadas. Sua utilização não é indicada apenas para os casos onde a placa de concreto apresentar espessura menor do que 15 cm.

Segundo Dal-Maso (2008), o projeto deve evitar a locação deste tipo de junta em áreas de trânsito intenso de maquinário, uma vez observadas as condições variáveis de seu desempenho em função do processo de desfôrma das placas concretadas. Em alguns casos, torna-se inviável definir panos de concretagem em discordância com as áreas de tráfego intenso, restando aplicar a solução de lábios poliméricos para evitar o esborcinamento das juntas.

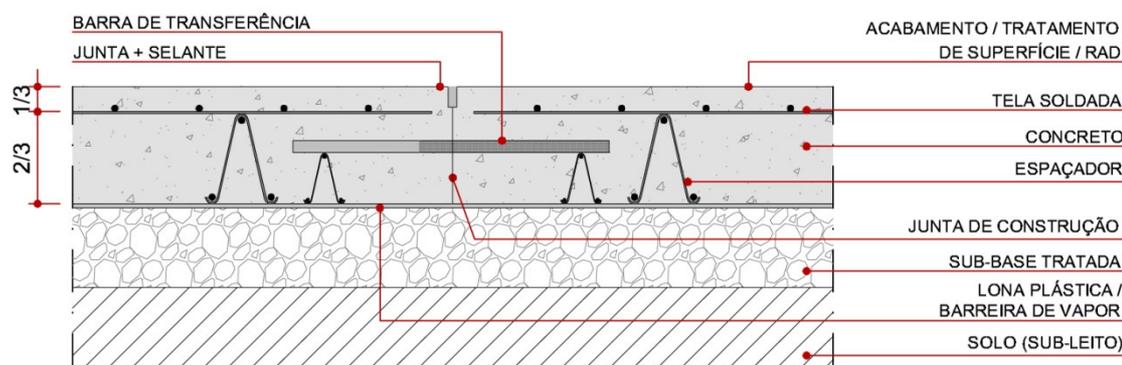


Figura 9.1: Junta de construção (JC)

Como estratégia de reforço nas juntas de construção, é recomendada a utilização do sistema de lábios poliméricos. O assunto será abordado mais detalhadamente no item Tratamento das juntas.



Figura 9.2: Detalhe de uma junta de construção com barras de transferência após desfôrma

Fonte: [www.abcp.org.br](http://www.abcp.org.br)

### 9.1.2 Junta serrada (JS)

São juntas transversais de retração serradas com disco diamantado e maquinário específico, que induzem a fissuração localizada das placas de concreto.

Suas dimensões e espaçamentos são previamente calculados e variam de acordo com o projeto e sistema de piso adotado. Segundo Rodrigues (2003), os cortes devem ter pelo menos 40mm de profundidade e devem ser maior do que  $\frac{1}{3}$  da espessura da placa.

Sua execução é geralmente iniciada após o processo de acabamento do concreto. Segundo Rodrigues (2003), o tempo para início do processo varia bastante devido a alguns fatores de interferência, como por exemplo, o tipo de cimento e aditivos utilizados, e condições ambientais devendo ser observado o comportamento da cura do concreto para definir o melhor momento para início de execução. Geralmente, esse tempo varia entre 10 e 15 horas após o lançamento do concreto.

A redução deste tipo de juntas é obtida através da adoção de sistemas que controlam a retração hidráulica do concreto, podendo estar mais ou menos espaçadas devido às condições climáticas da região e sistema do piso.

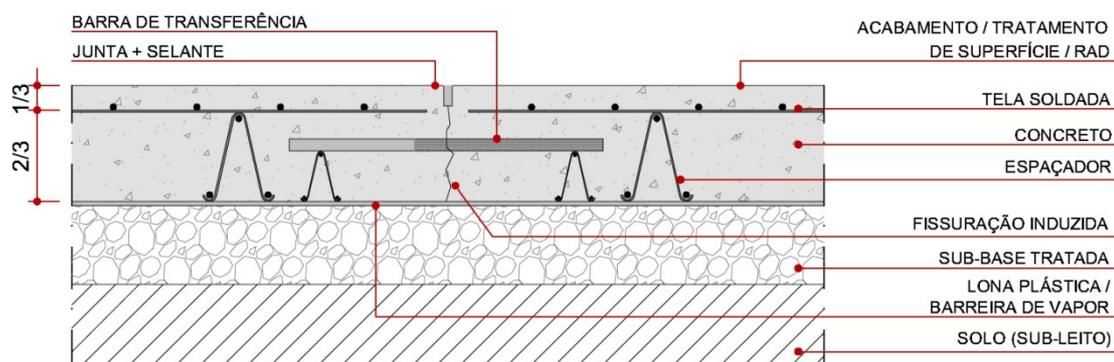


Figura 9.3: Junta Serrada e fissuração induzida



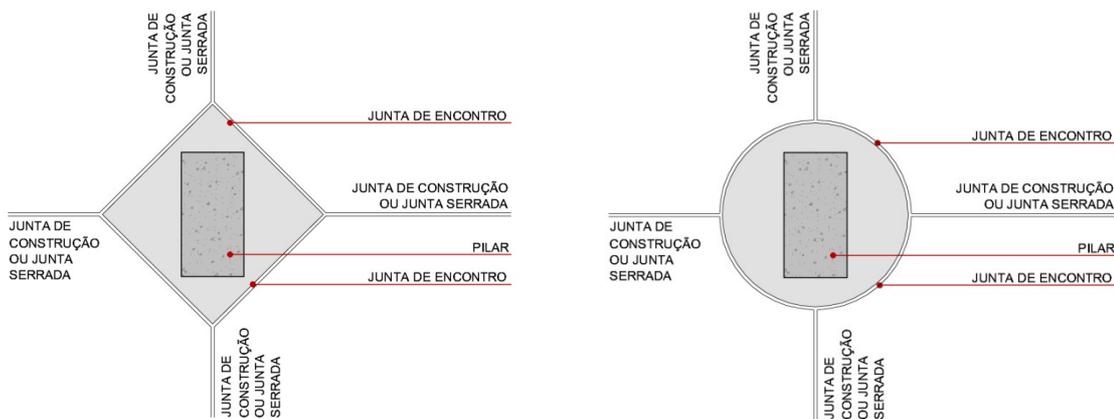
Figura 9.4: Execução da Junta Serrada (Fonte: [www.revistatechne.com.br](http://www.revistatechne.com.br))

### 9.1.3 Junta de encontro ou expansão (JE)

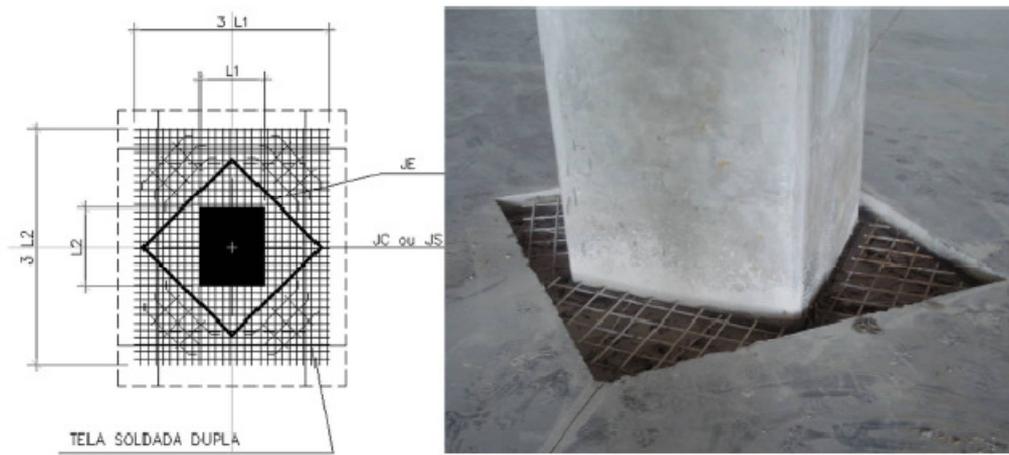
As juntas de expansão são elementos que separam as placas do piso das estruturas adjacentes, impedindo a transferência de carregamentos e esforços horizontais para estes elementos, sobretudo os fenômenos de retração e dilatação térmica.

Segundo Dal-Maso (2008), apresentam espessura média entre 5mm e 20mm, é preenchida com material compressível com bom índice de resiliência, garantindo a absorção dos esforços e não os transferindo para outras estruturas.

As figuras 9.5, 9.6, 9.7 e 9.8 mostram a solução adotada no encontro dos pisos com pilares conhecida como junta de encontro tipo diamante.



Figuras 9.5 e 9.6: Juntas de encontro tipo diamante e circular



Figuras 9.7 e 9.8: Exemplo de projeto e execução de junta diamante (Fonte: Dal-Maso, 2008)

Em casos de encontros com blocos de fundação, bases de maquinários e demais elementos estruturais, as placas de concreto devem estar afastadas destes elementos a fim de garantir deslocamento horizontal livre, conforme mostrado na figura 9.9.

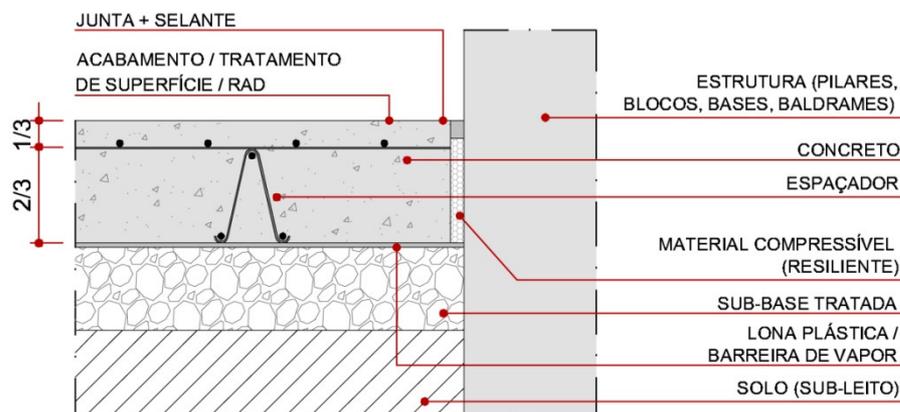


Figura 9.9: Junta de encontro (JE)

Segundo Rodrigues et al. (2006), embora não seja solução muito usual em pisos industriais, em alguns casos específicos, como por exemplo, em áreas onde ocorre mudança de direção de tráfego, as juntas de expansão são utilizadas entre as placas

sendo denominadas como junta de dilatação (JD), devendo ser instalado um capuz na extremidade da barra de transferência, que limita a movimentação da placa.

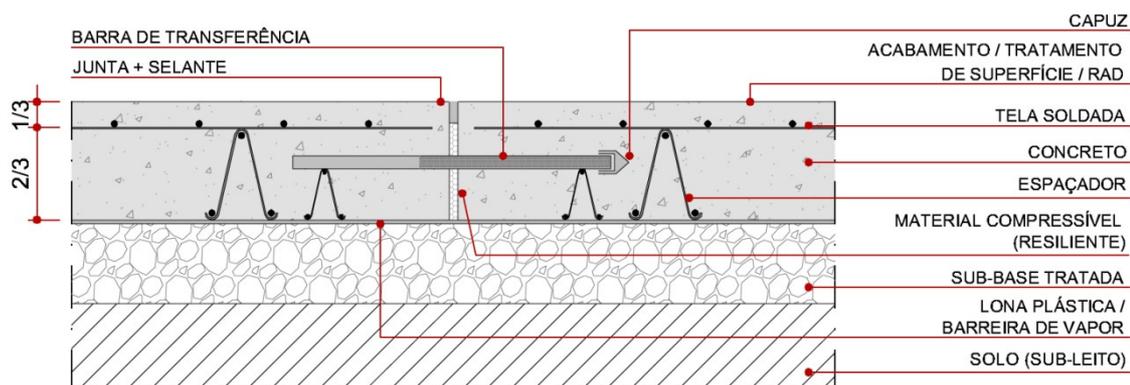


Figura 9.10: Junta de dilatação (junta de encontro de placas).

## 9.2 Projeto geométrico

O projeto geométrico de pisos industriais dispõe de maneira adequada as juntas ao longo da área de operação, considerando: o dimensionamento e espaçamento adequados; o layout operacional, seus carregamentos e previsão de tráfego; o dimensionamento das placas com ênfase na largura das faixas a serem concretadas e os índices de planicidade exigidos; e a concordância destes elementos com as demais juntas e elementos construtivos. Esta prática é fundamental para evitar patologias nos pisos industriais e reduzir seus custos de manutenção.

Rodrigues & Gasparetto (2000), definem os cuidados básicos a serem observados e seguidos na produção do projeto geométrico de juntas:

- O piso deve trabalhar isolado da estrutura, portanto, no encontro de pilares, paredes, bases de máquinas, etc., deverão ser previstas juntas de encontro, permitindo que o piso trabalhe livremente e não seja solicitado pela estrutura;
- A largura da faixa de concretagem deve ser consistente com os índices de planicidade exigidos para o uso do piso;
- Recomenda-se que as juntas longitudinais de construção sejam paralelas com as estantes carregadas e distantes cerca de 15 cm dos montantes;
- As juntas devem ser alinhadas aos cantos internos do piso;
- O comprimento de um trecho de junta de construção ou serrada deve ser no mínimo igual a 50 cm;
- Prever ângulos de encontro entre juntas sempre maiores do que  $90^\circ$ ;
- Uma junta de construção ou serrada deve sempre encontrar uma curva em ângulo igual a  $90^\circ$ ;
- Uma junta de construção ou serrada não pode terminar em outra junta de construção ou serrada, sempre deverá terminar em uma junta de expansão;
- As juntas deverão ser sempre contínuas, podendo apenas ser interrompidas nas juntas de encontro, desde que sejam tomadas medidas preventivas quanto à propagação da fissura.
- Desenvolver os detalhamentos de encontro do piso com as interferências, como canaletas, niveladores de docas, caixas de passagem, etc.

As figuras a seguir apontam patologias causadas por erros de projeto geométrico das juntas. Na figura 9.11, a junta de construção termina em junta serrada gerando uma trinca alinhada com a junta de construção. Na figura 9.12, a junta serrada termina em junta de encontro, gerando fissura a  $90^\circ$  em relação à curva.



Figura 9.11: Fissura gerada pelo encontro de junta de construção e junta serrada (Fonte: Rodrigues & Gasparetto, 2000).

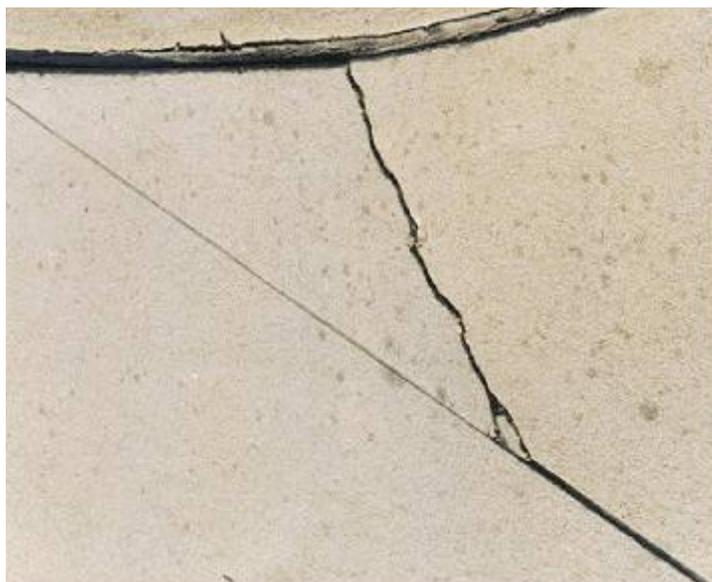


Figura 9.12: Fissura gerada pelo posicionamento inadequado da junta serrada na interseção com a junta de encontro em curva (Fonte: Rodrigues & Gasparetto, 2000).

### 9.3 Mecanismos de transferência de carga

Segundo Rodrigues et al. (2006), atualmente os sistemas de piso industrial empregados em larga escala são notadamente os de placas mais delgadas, visando

economia de material a partir do bom desempenho do sistema. Esse tipo de tecnologia sobrecarrega bastante as áreas das juntas, aumentando as tensões nessas regiões.

Para um bom desempenho do sistema de juntas, devem ser empregados mecanismos específicos de reforço estrutural, que quando executados com materiais adequados, combatem patologias como o esborcinamento das juntas, empenamento, além de proporcionarem uma melhor distribuição dos carregamentos estáticos e móveis entre as placas adjacentes.

Dentre esses mecanismos podemos citar o encaixe macho-e-fêmea com ou sem barras de ligação, o espessamento das bordas e aumento de suporte da sub-base. Porém, o sistema com barras de transferência vem se mostrando mais eficiente em função de seu desempenho e praticidade executiva, pois além de transferirem as cargas, estas permitem os movimentos horizontais de expansão e retração, provocados pela variação de temperatura.

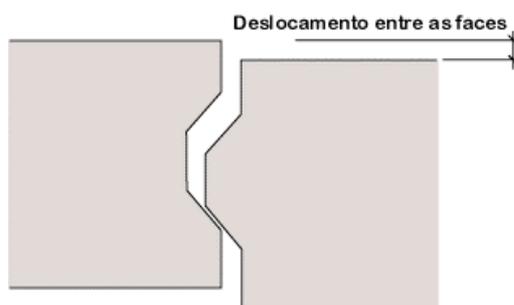


Figura 9.13: Encaixe tipo macho e fêmea (Fonte: [www.lmbrasil.com.br](http://www.lmbrasil.com.br))

As barras de transferência são geralmente fabricadas em aço CA 25, em bitolas de 10 a 32 mm, e fornecidas prontas para o uso no comprimento-padrão de 50 cm. Amarradas em suportes metálicos (espaçadores treliçados), deverão estar

posicionadas no meio da espessura da placa antes da concretagem, distanciadas geralmente a cada 30cm e em posição absolutamente paralelas entre si. Seu diâmetro varia de acordo com a espessura do piso e cálculo prévio. Metade de seu comprimento deve ser engraxado para facilitar movimentação após a cura do concreto.



Figura 9.14: Detalhe das barras de transferência instaladas paralelamente na forma durante a concretagem. Esta solução se adéqua nas juntas de construção (Fonte: [www.belgo.com.br](http://www.belgo.com.br))



Figura 9.15: Detalhe das barras de transferência instaladas paralelamente nos espaçadores treliçados. Esta solução é prevista em casos de junta serrada (Fonte: [www.belgo.com.br](http://www.belgo.com.br))

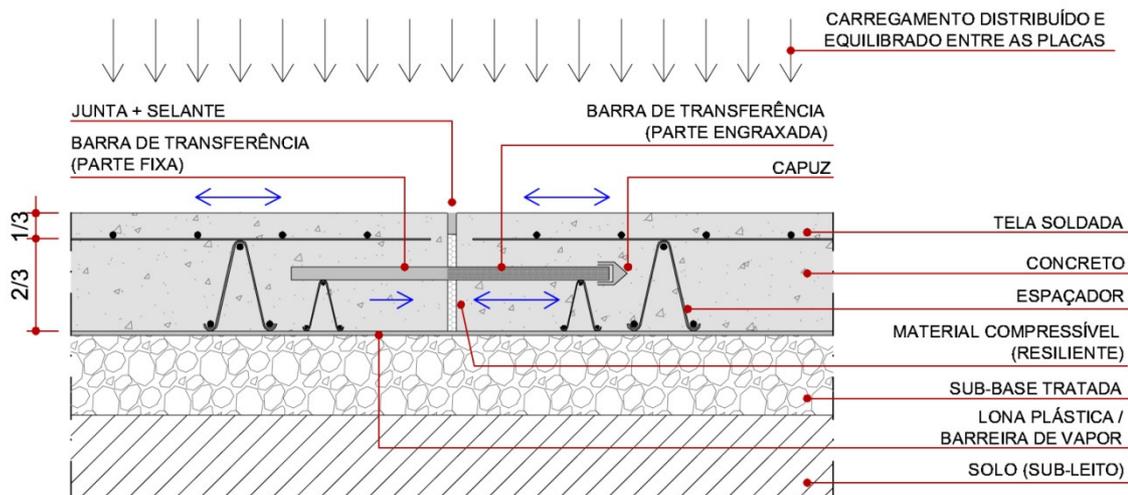


Figura 9.16: Detalhe de sistema de transferência de cargas

A tabela 9.1 apresenta, de acordo com recomendações do *American Concrete Institute* (ACI), a relação entre o diâmetro das barras e a espessura do piso ou pavimento.

Tabela 9.1: Parâmetros técnicos das barras de transferência. (Fonte: [www.belgo.com.br](http://www.belgo.com.br))

### Adequação do diâmetro da Barra à espessura da placa

Espessura da placa de concreto	Diâmetro da Barra de Transferência
cm	mm
8,0	10,0
10,0	12,5
12,5	16,0
15,0	20,0
20,0 a 22,5	25,0
25,0 a 30,0	32,0

### Características do produto

Designação da Barra	Diâmetro da Barra	Peso por Barra de 50 cm
	mm	kg
CA 25		
BTB 10	10,0	0,308
BTB 12	12,5	0,482
BTB 16	16,0	0,789
BTB 20	20,0	1,233
BTB 25	25,0	1,927
BTB 32	32,0	3,157

#### **9.4 Controle de qualidade das juntas**

Visto como um elemento fundamental para o bom desempenho do sistema do piso, as juntas deverão receber cuidados especiais no projeto e sua execução deverá controlada para garantir sua função. Esse controle de qualidade, quando criteriosamente empregado, pode evitar sérias patologias no sistema iniciadas a partir de deficiências nestes elementos.

Segundo Rodrigues (2003), o controle de qualidade das juntas deverá ser feito respeitando os critérios mínimos citados abaixo:

- A irregularidade do espaçamento entre as barras de transferência devem ser no máximo de 25mm;
- Tolerância máxima de 7mm no posicionamento das barras em relação ao ponto médio das placas de concreto, sendo que as barras deverão estar distantes no mínimo 10mm em relação às juntas;
- A variação máxima permitida para o alinhamento das juntas construtivas é de 10mm ao longo de 3 metros;
- A variação máxima da profundidade das juntas serradas é de no máximo 5mm em relação à especificada em projeto.

#### **9.5 Tratamento das juntas**

O tratamento de juntas é de fundamental importância para conferir durabilidade ao piso. Quando não tratadas adequadamente, as juntas tornam-se frágeis, sendo grandes causadoras de patologias no sistema de pavimentação e acelerando o processo de deterioração do pavimento.

Para definição dos critérios de tratamento de cada junta, procedimento que deve se feito ainda nas etapas de projeto, é necessário avaliar o seu comportamento (função definida a partir do tipo de junta), analisar as atividades previstas para a área (uso, maquinário e cargas) e as condições ambientais do local (níveis de agressividade, insolação).

O preenchimento das juntas com materiais adequados impede a penetração de impurezas e partículas contaminantes, além de aumentar a resistência das bordas laterais bastante solicitadas, pelo carregamento gerado por rodas de maquinários de transporte de cargas, reduzindo assim a manutenção e aumentando durabilidade do pavimento. Além disso, a presença de materiais como pedras, metais e outros detritos de elevada dureza, pode impedir a movimentação prevista para as placas nas regiões das juntas, criando pontos de tensão concentrada e provocando trincas e desprendimento de pedaços do piso, reduzindo de modo significativo sua vida útil.

Rodrigues (2003) classifica os sistemas de tratamento de juntas em dois grupos: os pré-moldados, que são compostos por materiais compressíveis utilizados principalmente onde não há tráfego de maquinário, e os moldados "*in loco*", que são compostos à base de poliuretano, epóxi, silicone ou asfalto modificado, e que em função de sua composição e execução cuidadosa suportam maior carregamento e elevados níveis de agressividade.

Para bom desempenho do sistema, são necessários cuidados na especificação dos materiais a serem empregados como selante das juntas, pois os diversos materiais encontrados no mercado apresentam propriedades bastante particulares. A tabela 9.2 apresenta alguns critérios de especificação e na tabela 9.3 são mostradas as principais propriedades destes materiais.

Tabela 9.2: Critério de especificação do selante por tipo de junta  
(Fonte: Denverglobal, em [www.piniweb.com.br](http://www.piniweb.com.br))

<b>Tipos</b>	<b>Características</b>	<b>Especificação do selante</b>	<b>Materiais mais recomendados</b>
Longitudinal e de controle	Movimentação menor e abertura relativamente pequena	Pode ser menos flexível, com dureza ShoreA entre 50 e 80, dependendo do tipo de piso e das condições de uso	Poliuretano, epóxi modificado com uretano, acrílico
Movimentação	Movimentação cerca de 25% maior que a longitudinal	Mais flexível com dureza ShoreA maior ou igual a 50. Para aumentar a vida útil, é recomendada a aplicação de reforço nas bordas com argamassa epoxídea	Poliuretano, polissulfeto e silicone
Periféricas	Semelhantes à de movimentação	Flexíveis, com dureza ShoreA entre 25 e 40. No caso de portas ou acessos com tráfego, a especificação é igual à das juntas de movimentação	Poliuretano, polissulfeto e silicone

Tabela 9.3: Características das juntas em função do material empregado (Fonte: Denverglobal, Brascol, Sika, Dow Corning e Rhodia, acessado em [www.piniweb.com.br](http://www.piniweb.com.br))

<b>Material</b>	<b>Propriedades</b>
Poliuretano	Melhor desempenho estético com raios ultravioleta Pouca retenção de poeira Grande resistência química Facilidade de ajuste de dureza superficial e alongamento Dependendo do tipo, pode ser pintado com tinta elástica
Silicone	Melhor desempenho estético com raios ultravioleta Por ter mais estática, retém mais poeira e fuligem Boa resistência a derivados do petróleo
Acrílicos	Melhor desempenho estético com raios ultravioleta Melhor elasticidade que poliuretano e silicone quando exigido no limite
Epóxi modificado com uretano	Grande resistência química Facilidade de ajuste de dureza superficial e alongamento
Polissulfeto	Boa resistência a derivados do petróleo Mantém característica sob tráfego intenso
Poliuretano modificado com asfalto	Boa resistência a derivados do petróleo Mantém característica sob tráfego intenso

Para aplicação dos selantes, as superfícies devem estar limpas, sem presença de substâncias oleosas, desmoldantes ou partículas finas soltas. Feita a limpeza, é instalado um dispositivo limitador da profundidade do selante, que tem função de manter o fator forma (proporção altura-largura) da seção do selante e garantir a aderência do selante apenas nas bordas laterais das placas, controlando sua expansão-retração. Nas laterais das placas é aplicada camada de *primer* para criar uma ponte de aderência do substrato com o selante. Por fim, as bordas são isoladas com fitas e o selante é aplicado e curado conforme especificação dos fabricantes.

Em alguns casos a solução mais indicada é a adoção de lábios poliméricos. Este sistema é aplicado principalmente em regiões onde é previsto o trânsito de veículos transportadores de roda rígida e de pequeno diâmetro, o que gera tensões não suportadas pelas bordas das placas. A instalação dos lábios poliméricos é feita em berços laterais ao longo das juntas, reforçando suas quinas e evitando patologias de esborcinamento. Geralmente os materiais empregados para confecção destes dispositivos são à base de resinas epoxídicas e polímeros minerais de alta resistência.

De acordo com Rodrigues et al. (2006), é fundamental retardar ao máximo a aplicação dos selantes de forma a garantir que os processos de retração na cura do concreto não influenciem na eficiência do selante, que poderão sofrer deslocamento e até ruptura em alguns casos quando não respeitados estes critérios.



Figura 9.17: Detalhe do sistema de junta com aplicação de selante moldado in loco.

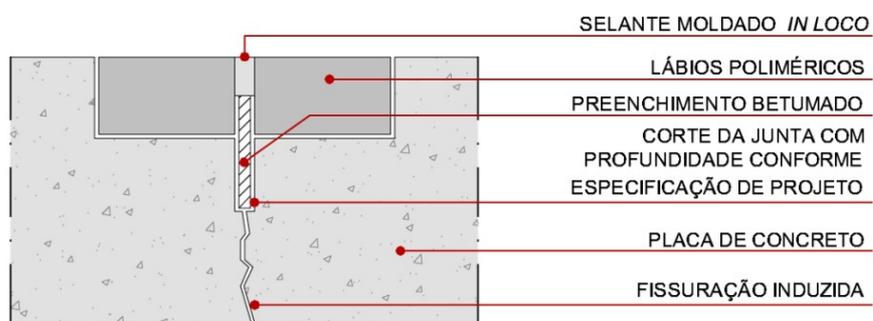


Figura 9.18: Detalhe do sistema de junta com adoção de lábios poliméricos.



Figura 9.19: Detalhe do limitador de profundidade instalado na junta antes da aplicação do selante (Fonte: Fabiola & Loh, 2009)



Figura 9.20: Aplicação de selante na junta do piso (Fonte: [www.revistatechne.com.br](http://www.revistatechne.com.br))

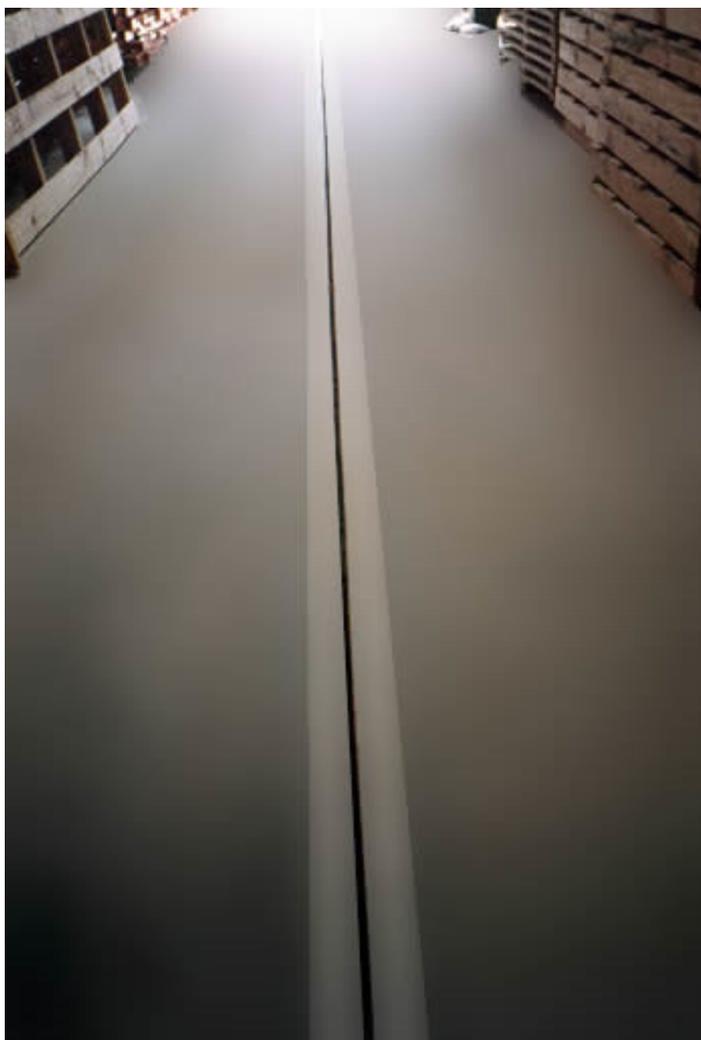


Figura 9.21: Detalhe de juntas com lábios poliméricos (Fonte: [www.durecrete.com.br](http://www.durecrete.com.br))

## 10. RAD: REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO

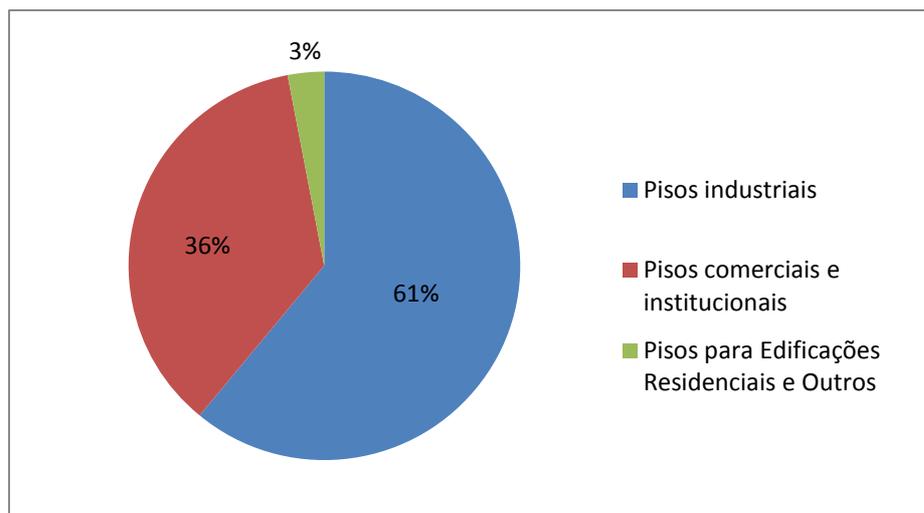
Os revestimentos de alto desempenho, também conhecidos com RAD, são as camadas finais utilizadas em casos específicos nos pisos industriais, como elementos de reforço e proteção. Assim como os endurecedores de superfícies, quando utilizados, aumentam a vida útil e reduzem o custo de manutenção do pavimento.

São empregados de acordo com a necessidade de acrescentar características particulares ao sistema do piso. De acordo com sua utilização prevista em projeto, garantem proteção do piso contra agentes químicos e mecânicos, agressões físicas e bacteriológicas, requisitos higiênicos e estéticos, e controle da rugosidade das superfícies lisas ou antiderrapantes.

Embora existam diversos tipos de composição, as principais bases químicas aglutinantes constituintes dos revestimentos de alto desempenho são poliméricas (resinas epóxi e poliuretano) e cimentícias (OLIVEIRA, 2003).

As poliméricas que podem variar geralmente de 0,1mm até 6mm de espessura, dependendo das solicitações químicas e mecânicas do pavimento. Em alguns casos específicos de reparos em pisos existentes e revestimento anticorrosivos, estas espessuras chegam até 50mm. Já os RAD à base materiais cimentícios têm espessura variável entre 2 mm e 150 mm.

Segundo Oliveira (2003), os segmentos onde o RAD (à base de polímeros ou cimentícios) é mais utilizado são os de pisos industriais e o de pisos comerciais / institucionais. Ainda ressalta que 60% da utilização nacional é destinada à recuperação de pisos antigos, enquanto 40% é para pisos novos.



**Pisos industriais:** Alimentos e bebidas, Indústria automobilística e de produtos de engenharia, Indústria farmacêutica e de higiene e limpeza, Indústria química e petroquímica, Indústria eletrônica e de telecomunicações, Indústria aeroespacial, Indústria de papel e celulose, Indústria metalúrgica e siderúrgica

**Pisos comerciais e institucionais:** Shopping Centers e lojas, Edifícios comerciais, Hotéis, Supermercados e hipermercados, Aeroportos, Escolas e edifícios públicos.

Figura 10.1: Segmentos de utilização de RAD (Fonte: adaptação de dados de Oliveira, 2003)

A norma NBR 14.050/98 – Sistemas de Revestimento de Alto Desempenho estabelece os procedimentos para projeto, seleção, execução, inspeção, avaliação do desempenho e recebimento dos produtos e serviços executados com sistemas de revestimentos de alto desempenho (RAD) à base de resinas epoxídicas e agregados minerais. Aplica-se a substratos de concreto e metálico.

Atualmente, a norma está revisada em função da evolução dos materiais empregados e das novas demandas de mercado, visando garantir o controle de qualidade e classificação dos RAD. Novos ensaios estão sendo inseridos e sendo devidamente adaptados para controlar os parâmetros de resistência e desgaste por abrasão, critérios de umidade da base, índices de rugosidade, planicidade, condutividade e controle de coloração, dentre outros. Além disso, a questão do uso e manutenção do RAD está ganhando atenção especial.

## **10.1 Critérios para especificação do RAD**

A determinação do RAD adequado às diversas situações deve ser feita com bastante critério. É fundamental conhecer o sistema de piso (já existente ou projetado), os materiais disponíveis no mercado e suas propriedades, e as atividades previstas para o local.

Além dos critérios de desempenho do material e caracterização do substrato, por se tratarem geralmente de áreas operacionais, as variáveis do cronograma para execução da obra e liberação do tráfego são fundamentais para a especificação do RAD. A grande variedade de materiais presente no mercado garantem um controle e previsão do tempo de instalação e de cura do revestimento, não acarretando em interrupções das atividades operacionais do local onde será aplicado.

### **10.1.1 Condições do ambiente e previsão das atividades**

A tabela 10.1 apresenta aspectos fundamentais para a especificação dos RAD, considerando critérios específicos em relação ao desempenho baseado nas atividades previstas de utilização da área.

Tabela 10.1 - Fatores importantes a considerar na seleção do RAD  
(Fonte: OLIVEIRA, 2003)

Fatores	Pontos a observar
1. Resistência à abrasão requerida	Intensidade e frequência de tráfego de veículos e de pedestres, tipo de veículo utilizado, carga transportada, tipo e tamanho das rodas. Também é importante saber a frequência de limpeza e se haverá presença de partículas ou grãos abrasivos no piso
2. Resistência ao impacto	Tipo e frequência do impacto a que o RAD estará sujeito
3. Resistência ao escorregamento	Detalhamento do tipo de perfil e textura requerida para o RAD, de forma a garantir a segurança de pessoas e evitar a derrapagem de veículos. Este item tem implicação direta com a maior ou menor facilidade de limpeza
4. Facilidade de limpeza	A manutenção da limpeza superficial é crítica para certas áreas e atividades. Há sempre um balanço apropriado entre uma textura mais lisa que torne a superfície de fácil limpeza e uma mais rugosa que proporcione resistência ao escorregamento. Um RAD bem conservado e limpo é um forte estímulo à produtividade de áreas industriais e um forte atrativo em pisos de uso comercial, público ou institucional
5. Ataque químico	É importante saber que produtos químicos estarão em contato com o RAD, bem como sua concentração, temperatura e frequência de contato. Também é importante considerar se a exposição se dará por respingos, derramamentos esporádicos ou contato permanente. Os produtos usados para a limpeza e a temperatura de contato destes com o RAD também precisam ser considerados
6. Potabilidade e compatibilidade com alimentos e bebidas	No revestimento de áreas de processamento ou estocagem de alimentos ou mesmo na manutenção do RAD destas áreas, estes revestimentos precisam atender critérios de potabilidade estabelecidos (FDA / USDA), não deixando cheiro ou alterando o gosto de alimentos e bebidas
7. Vibração	A presença de vibração transmitida por equipamentos pode causar danos como delaminações e fissuras no substrato e no RAD. É possível prevenir este tipo de problema, mediante o isolamento das bases destes equipamentos e adoção de revestimentos ou camadas intermediárias mais flexíveis
8. Choques térmicos	A intensidade e frequência de possíveis choques térmicos também precisam ser conhecidas. A não observância a estes aspectos é uma causa comum de delaminação dos RAD. São disponíveis sistemas de RAD mais flexíveis e tolerantes a estas situações de uso
9. Condutividade elétrica e dissipação de eletricidade estática	Existem RAD formulados especificamente para atender as necessidades de áreas de manuseio de inflamáveis ou que ofereçam risco de explosão ou ainda, áreas que ofereçam danos potenciais para equipamentos eletrônicos sensíveis na indústria eletrônica ou em salas de cirurgia, por exemplo,
10. Aspectos estéticos e arquitetônicos	Este atributo não pode ser subestimado. A existência RAD com resistência à abrasão muito superior à do concreto permite a especificação de sistemas que propiciem elevada vida útil de serviço, mesmo sob condições severas de operação. RAD para pisos institucionais e comerciais podem apresentar benefícios importantes, com possibilidades arquitetônicas ilimitadas no que tange a escolha de cores, texturas e acabamento
11. Refletância de luz	Certas atividades de precisão exigem pisos claros e de alta refletância luminosa. O uso de RAD de base polimérica de cores claras e de acabamento liso permite a obtenção de elevada refletância, com implicação direta na segurança da operação e na redução dos custos de iluminação
12. Controle microbiológico	Áreas de processamento de remédios, vacinas e certos tipos de alimentos e de bebidas, além de hospitais e centros médicos requerem RAD que propiciem controle microbiológico. Os RAD para esta finalidade contêm fungicidas apropriados para efetuar o controle microbiológico, além de oferecer grande facilidade de limpeza
13. Descontaminação de radioatividade	Em usinas e áreas de transformação de energia atômica, esta propriedade é requerida. Existem normas e procedimentos padrão que regulamentam esta operação. No Brasil estes critérios são estabelecidos pelo CNEN

### 10.1.2 Espessura do RAD

A definição da espessura do RAD é diretamente associada às condições de uso e vida útil do material. Quanto mais espessa a camada, maior é o nível de proteção e resistência oferecida. Porém, isto se aplica apenas quando analisada a espessura da camada comparativamente em relação a um mesmo sistema de RAD / material.

Quando avaliadas as capacidades de resistência ao impacto e as carregamentos móveis, a utilização de espessuras elevadas redistribui as tensões geradas na superfície superior do material a uma área maior do substrato, garantindo bom desempenho de sua aderência ao longo de sua vida útil (OLIVEIRA, 2003).

A figura 10.2 mostra a transmissão de carga do revestimento ao substrato. No primeiro caso, a espessura reduzida transmite os esforços a uma área menor que no segundo, onde estes são distribuídos e solicitam menos a superfície de ancoragem.

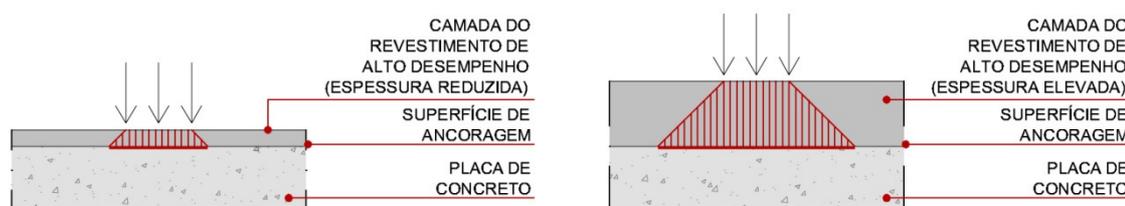


Figura 10.2: Absorção dos esforços na superfície de ancoragem

## 10.2 Classificação dos tipos de RAD

Os revestimentos de alto desempenho podem ser classificados quanto à sua base de composição dos aglutinantes em cimentícios e poliméricos. Quanto ao sistema de

aplicação, são classificados como pintura, autonivelantes, multicamadas ou argamassados / espatulados.

- **Pintura:** constituído por pintura de baixa e de alta espessura;
- **Autonivelantes:** constituído por uma argamassa polimérica com pequena quantidade de carga mineral e de consistência fluida;
- **Multicamadas:** constituído por uma matriz polimérica com posterior incorporação de carga mineral cuja aplicação é feita em camadas subseqüentes;
- **Argamassados / Espatulados:** constituído por uma argamassa polimérica com grande quantidade de carga mineral.

As tabelas: 10.2 e 10.3 apresentam respectivamente os principais tipos de RAD à base de cimento e à base de polímeros, definem sua espessura média e descrevem sucintamente sua utilização e propriedades.

Tabela 10.2 - Principais tipos de RAD à base de cimento (Fonte: OLIVEIRA, 2003)

Tipo	Espessura típica	Uso
Produtos à base de cimento e óxido de alumínio incorporados ao concreto fresco denominados "endurecedores de superfície"	2 a 3 mm	Aumento de resistência à abrasão em pisos de concreto novos, em áreas industriais, em depósitos e garagens
Revestimentos espatulados à base de cimento, agregados minerais e aditivos especiais	8 a 20 mm	Materiais para o reparo de pisos de concreto existentes
Revestimentos espatulados à base de cimento modificado com polímero (SBR ou acrílico), agregados minerais e aditivos especiais	4 a 10 mm	Aumento de resistência à abrasão no revestimento de pisos de concreto novos ou existentes. Baixa permeabilidade a óleo e graxa. Pigmentos especiais e o polimento superficial podem propiciar efeito decorativo para uso em áreas comerciais
Revestimentos autonivelantes à base de cimento modificado com polímero (SBR ou acrílico), agregados minerais e aditivos especiais	10 a 40 mm	De execução fácil e rápida, se prestam principalmente à renovação de pisos existentes cujas superfícies encontram-se deterioradas. Para a aplicação são utilizados misturadores-bomba especiais.
Materiais à base de cimentos e aditivos especiais para reparos rápidos	5 a 150 mm	Usados em reparos emergenciais e permanentes em pisos e em pavimentos de concreto, permitindo a rápida liberação para tráfego (1,5 hora)

Tabela 10.3: Principais tipos de RAD à base de polímeros  
(Fonte: OLIVEIRA, 2003)

<b>Tipo</b>	<b>Espessura típica</b>	<b>Uso</b>
Seladores de baixa espessura, aplicados em 1 ou 2 demãos	0,1 a 0,15 mm	Selamento de revestimentos monolíticos espatulados ou de epóxi-terrazzo, conferindo-lhes maior resistência química e facilidade de limpeza
Pinturas de baixa espessura, aplicadas em 2 ou mais demãos	0,1 a 0,2 mm	Alta resistência ao ataque químico e de fácil limpeza. Uso em indústrias de higiene e limpeza, alimentícias, farmacêuticas, hospitais e laboratórios
Pinturas de alta espessura, aplicadas em 1 ou mais camadas	0,3 a 1 mm	Alta resistência ao ataque químico e elevada resistência à abrasão, além de fácil limpeza. Uso em indústrias químicas, de higiene e limpeza, alimentícias, farmacêuticas, hospitais e laboratórios
Revestimentos espatulados	4 a 10 mm	Alta resistência mecânica, à abrasão e ao impacto, com superfície antiderrapante. Também oferece elevada resistência ao ataque químico, se selado com uma pintura adequada. Uso em indústrias metalúrgicas, áreas de montagem e em áreas molhadas. O emprego de agregados coloridos os habilita como revestimento decorativo, em áreas comerciais
Revestimentos autonivelantes	1,5 a 6 mm	Alta resistência mecânica, à abrasão, ao impacto e elevada resistência química. A superfície lisa permite fácil limpeza e assepsia. Uso em indústrias de higiene e limpeza, alimentícias, farmacêuticas, hospitais e laboratórios
Revestimentos constituídos por camadas múltiplas	1,5 a 4 mm	Alta resistência à abrasão. Para uso em áreas que requerem boa resistência mecânica e química, mas não exigem resistência ao impacto. A adoção de agregados coloridos habilita o seu uso como revestimento decorativo em áreas comerciais
Revestimentos laminados	0,6 a 2 mm	Alta resistência química e à abrasão. Uso em indústrias químicas, petroquímicas e em indústrias de papel e celulose
Revestimentos anticorrosivos	5 a 40 mm	Revestimentos monolíticos ou para rejuntamento e assentamento de cerâmicas e tijolos anticorrosivos, constituídos por polímeros e cargas especiais. Uso como barreira química em sistemas anticorrosivos.
Revestimento decorativo Epóxi-terrazzo	4 a 12 mm	Alta resistência à abrasão e ao riscamento, de fácil limpeza. Uso em aeroportos, escolas, shopping centers e edificações comerciais
Revestimentos antiderrapantes	0,2 a 2 mm	Para o revestimento de rampas e escadas
Materiais para reparos rápidos	2 a 50 mm	Para reparos rápidos e permanentes, reforço de bordas de juntas ou para a regularização de pisos existentes

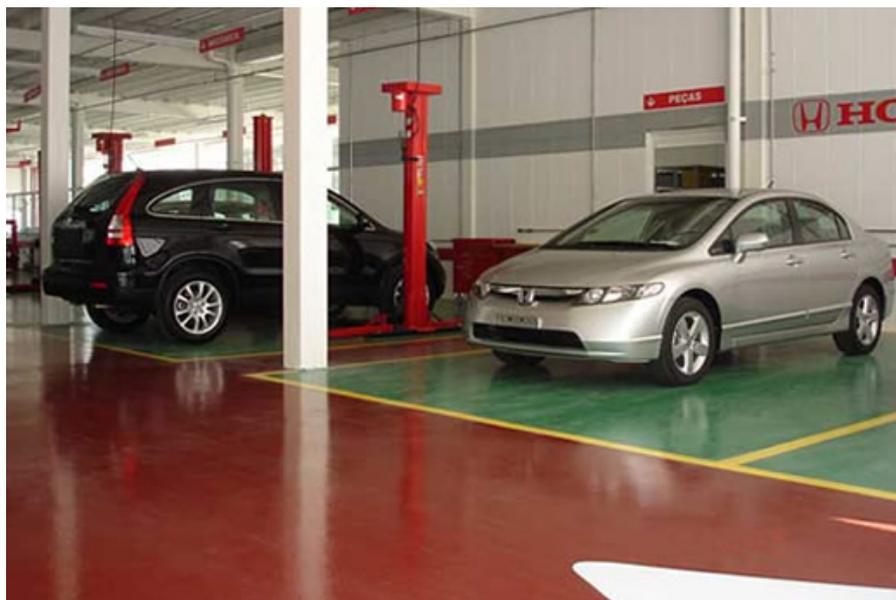


Figura 10.3: Piso de concreto com pintura epóxi (Fonte: [www.aecweb.com.br](http://www.aecweb.com.br))

### 10.3 Preparação do substrato

Fundamental para o bom desempenho dos revestimentos de alto desempenho, o substrato merece cuidados especiais. Este elemento serve de base de ancoragem para o RAD e deve estar em condições ideais para não prejudicar o funcionamento do sistema.

Casualmente denominado como estrutura do RAD, as placas de concreto devem apresentar boas propriedades características de resistência suportar todos os esforços solicitados, incluindo os carregamentos móveis, cargas uniformemente distribuídas, lineares, pontuais e horizontais. Além disso, devem apresentar bons índices de rugosidade e planicidade superficial. Observadas essas questões, a aplicação dos RAD pode ser feita com mais critério e menos interferências negativas causadas pelo substrato.

A escolha do processo de preparação de superfície é variável. De acordo com as condições apresentadas pelo substrato, define-se o sistema a partir de análises de das condições de umidade e contaminação, regularidade da superfície e condições de resistência, tipo de revestimento a ser aplicado, e disponibilidade de tempo para execução dos serviços (logística da obra).

Para receber os revestimentos de alto desempenho, as regiões de juntas também devem apresentar detalhes construtivos específicos para que possam continuar a desempenhar sua função de controlar as variações dimensionais das placas e redistribuir os esforços sem causar patologias nos RAD.

### **10.3.1 Condições de umidade**

A umidade do substrato deve ser controlada ainda em fase de projeto, quando é instalada a barreira de vapor entre as placas de concreto e a sub-base ou mesmo sistemas de drenagem, evitando ascensão de umidade do solo. Quando não observadas condições ideais de estanqueidade, a pressão gerada nos poros capilares do concreto provocam o aparecimento de bolhas no revestimento. Outra questão relativa ao controle de umidade é verificação do processo de cura completa do concreto antes da aplicação do RAD, evitando que a água retida na placa, mesmo que em teores mínimos, não comprometa o desempenho do revestimento.

Quando não obtidos os índices admissíveis de 4% a 5% de umidade superficial, são aplicados seladores e camada de *primer* à base de polímeros, que além de criar uma camada de bloqueio contra umidade e contaminação, já funciona como ponte de

aderência para o revestimento. Estas alternativas são comumente utilizadas para reduzir os prazos de entrega das obras.

### **10.3.2 Grau de contaminação**

As contaminações do substrato impedem a boa aderência do RAD ao substrato. Em geral, as contaminações são causadas por óleos, graxas, açúcares, produtos químicos e outras substâncias penetram nos poros das placas de concreto e impedem boa eficiência de ancoragem do revestimento, podendo contaminar os materiais utilizados, causando perda de suas propriedades e em conseqüência disso, graves patologias. Os métodos utilizados para descontaminação serão descritos no decorrer do texto. Todavia, é fundamental que após qualquer processo de preparação da superfície, esta seja lavada com sabão neutro e água para remoção dos agentes químicos ou sujeiras geradas, pois estes elementos poderão reagir com os materiais do RAD.

Em casos críticos, quando é constatado um índice elevado de contaminação e os métodos de limpeza não são eficazes para seu tratamento, a camada superficial atingida do piso deve ser removida e posteriormente reconstituída com argamassas especiais em condições ideais para aplicação do RAD.

### **10.3.3 Regularização das superfícies de ancoragem**

A superfície de ancoragem ou substrato deve estar em condições íntegras para receber o revestimento. De acordo com o tipo de RAD utilizado, e mediante avaliações “*in loco*” das condições do piso, é determinado o método adequado para preparação da superfície.

Após os reparos das trincas e fissuras, e a avaliação de problemas existentes de recalques, a superfície deverá ser tratada de forma a apresentar um “micro-relevo” com irregularidades dimensionais e angulares adequadas ao produto a ser aplicado, facilitando a ancoragem do revestimento. Esta rugosidade garante maior área de contato do material do revestimento com o substrato, aumentando sua resistência e conseqüentemente sua durabilidade em relação aos problemas de destacamentos.

Como a maioria dos RAD é constituída por camada, ou camadas de pequena espessura, estas tendem a acompanhar a geografia superficial do substrato. É necessário prever o tipo de revestimento para que se aplique às superfícies as condições ideais de rugosidade.

No caso de pinturas de baixa espessura, estas devem ser mínimas ou quase inexistentes, cabendo então uma aplicação de camada de *primer* para garantir boa aderência sem causar imperfeições de acabamento da superfície.

Já em casos de sistemas argamassados / espatulados, quando as espessuras do RAD são elevadas, a rugosidade mais acentuada auxilia na adesão e incorporação das camadas.

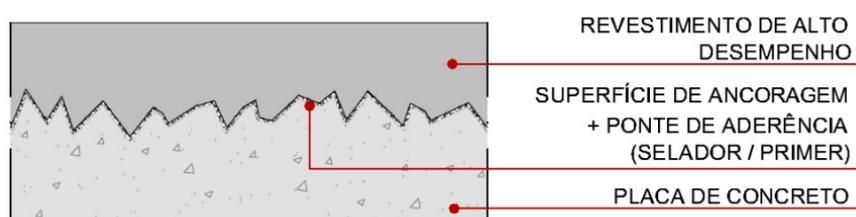


Figura 10.4: Aderência do RAD-Substrato

### 10.3.4 Métodos de preparo do substrato

Os métodos de preparação podem ser classificados em processos químicos ou mecânicos. Os processos químicos utilizam produtos especiais, geralmente soluções ácidas, que corroem as superfícies e criam perfil de ancoragem adequado nas superfícies. Os processos mecânicos são obtidos por desgaste superficial através de ferramentas próprias para efetuar desgastes abrasivos.

Segundo Moura (2003), entre as várias técnicas existentes, o sistema de jateamento de granalha de aço por sistema de auto-aspiração tem se apresentado como o mais indicado, por promover o reaproveitamento do abrasivo e o acondicionamento de contaminantes dentro do próprio equipamento. O sistema tem se mostrado o mais eficaz e o mais rápido quando comparado com as demais técnicas de preparo.

Tabela 10.4: Métodos e equipamentos de preparo do substrato (Fonte: [www.durecrete.com.br](http://www.durecrete.com.br))

<b>Tipo</b>	<b>Equipamentos</b>
Desgaste Superficial	Marteletes eletrônicos ou pneumáticos
Escarificação mecânica	Fresas mecânicas com roletes de aço duro
Polimento superficial e lixamento eletromecânico	Lixadeiras mecânicas
Jateamento de granalha	Fresas mecânicas com granalhas de aço
Lavagem com soluções ácidas	Soluções de ácidos clorídricos e nítricos
Lavagem com soluções desengraxantes	Soluções industrializadas com inibidores de corrosão
Regularização do substrato	Argamassa epoxídica, cimentícia ou micro concreto

Tabela 10.5: Métodos de preparo do substrato (Fonte: MOURA, 2003)

Processos Químicos	Ácidos	
Processos Mecânicos	Lixamento / Polimento	Promove perfil rugoso leve sobre a superfície através de lixadeiras ou politrizes com pedras abrasivas ou diamantadas. Deve-se tomar cuidado com a poeira gerada que se incrusta nos poros da superfície impedindo a boa ancoragem do revestimento. Só é aplicável em situações de pintura do revestimento, não devendo ser usado quando da instalação de revestimentos com mais de 500 micrometros de espessura. Este processo não se aplica a superfícies metálicas ou de madeira.
	Fresamento	O processo de fresamento remove a camada superficial do substrato, retirando os contaminantes e criando perfil de ancoragem ao mesmo tempo. Devido à poeira que este método gera, equipamentos mais sensíveis devem ser protegidos. As partículas de pó que caem no piso precisam ser completamente retiradas por meio de varrição, seguido de aspiração com aspiradores de pó industriais. O grande inconveniente deste processo é o tipo de agressão provocado ao substrato que faz com que o consumo de produto aplicado aumente consideravelmente, elevando os custos. Todavia, quando há necessidade de remoção de contaminações mais profundas, o fresamento é bastante eficaz. O método de fresamento não se aplica a substratos metálicos ou de madeira.
	Hidrojateamento	Trata-se, primordialmente, de um processo de remoção de sujeira e contaminantes depositados sobre a superfície. Para atingir um grau de limpeza adequado e produtividade satisfatória é necessária a utilização de equipamentos com pressão de água variando entre 15.000 e 40.000psi. Promovem, em geral, grande agressão ao substrato quando são usados bicos rotativos com carga pontual e são ineficazes com o bico em leque. O processo não se aplica a superfícies metálicas ou já revestidas. Como no caso dos ácidos, deve-se secar a superfície até índices de umidade inferiores a 5%, para a posterior aplicação de revestimentos à base de polímeros.
	Hidrojateamento abrasivo	Este método está entre os mais indicados para a remoção de contaminantes e criação de perfil rugoso para superfícies verticais. A combinação do jato de água com ultra-alta pressão (15.000 a 40.000 psi) com abrasivos variados - que vão desde abrasivos macios e biodegradáveis, como o bicarbonato de sódio, até abrasivos com o óxido de alumínio - confere à superfície os índices de limpeza e rugosidade adequados para que se efetue um bom revestimento. Seu grande inconveniente é a necessidade de secagem da superfície de acordo com os índices já mencionados. Da mesma forma que o tratamento com ácidos, para substratos de concreto, é importante avaliar o tipo de abrasivo a ser utilizado, de forma a evitar eflorescências ou a formação de sais na superfície e nos poros do concreto, o que pode prejudicar a aderência de revestimentos.
	Jateamento de areia	A utilização de jato de areia gera grandes quantidades de pó e detritos que demandam uma tarefa tediosa e intensa de limpeza. A produtividade é muito baixa e sua utilização está sujeita a códigos ambientais restritivos devido aos riscos que oferece pela inalação de materiais tóxicos, geração de poeira explosiva e pelo problema da silicose.
	Jateamento com granalha	Processo de uma só operação, remove revestimentos preexistentes, limpa e dá perfil de ancoragem simultaneamente. Como toda a poeira e os contaminantes são recolhidos pela máquina, não há a necessidade de limpeza posterior, bastando apenas a utilização de aspirador industrial para remover pequenas impurezas que tenham restado sobre a superfície. O revestimento pode ser aplicado imediatamente.

#### 10.4 Aplicação de RAD

Os métodos de aplicação dos revestimentos de alto desempenho são bastante variáveis em função da especificação do produto e sistema de RAD a ser executado. O mercado dispõe de uma enorme variedade de materiais e compostos com critérios de aplicação orientados segundo suas características físico-químicas específicas. Como padrões genéricos de aplicação, procedem-se:

- Delimitação da área a ser revestida e análise das condições do substrato;
- Identificação de trechos a serem reparados, tratados ou mesmo isolados, antes da aplicação do revestimento, como trincas, desníveis, quinas, rodapés, interseção com planos verticais, caixas de instalações, dispositivos de drenagem, entre outros elementos construtivos;
- Preparação do substrato através de limpeza, descontaminação, regularização das superfícies e controle de umidade;
- Inspeção ao longo da área delimitada para assegurar as boas condições para o início da aplicação do RAD;
- Aplicação de selador / *primer* como camada separadora e ponte de aderência;
- Aplicação do RAD conforme instruções do fabricante e do projeto do pavimento;
- Tempo de cura / secagem e liberação do tráfego.

Oliveira (2003) sugere que a aplicação seja feita por mão-de-obra especializada para garantia de bom acabamento dos produtos e da aplicação conforme as especificações do projeto. Além disso, as empresas especializadas garantem o gerenciamento da qualidade dos serviços através de ensaios apropriados de controle de campo e de laboratório.

## **11. PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO DE PAVIMENTOS INDUSTRIAIS**

Neste capítulo é apresentado o todo o processo envolvido no ciclo de vida da pavimentação industrial, destacando-se as particularidades de cada etapa da execução do projeto, da execução da obra e da adequada utilização dos pisos industriais com referências aos critérios de manutenção e conservação dos elementos construídos.

O ciclo de vida básico dos pavimentos industriais considerado em ordem cronológica (projeto → construção → utilização → manutenção) envolve diversos agentes com diferentes atribuições e responsabilidade sobre os processos envolvidos. A definição de responsabilidades de cada uma das etapas, seja ela, de conceituação e projeto, execução, gestão dos processos, controle de qualidade e operação, deve ser criteriosamente elaborada, ressaltando-se a interação das diversas áreas do conhecimento envolvidas para obtenção de bons resultados finais.

Um fator determinante da tecnologia da pavimentação industrial é entender a particularidade de cada caso, propondo soluções de projeto e de execução compatíveis com a demanda e logística de execução, e baseado em sua operação.

Segundo Pitta (2004), cada pavimento industrial tem personalidade própria, e portanto, as soluções adotadas para uma obra podem não ser ideais para outra, por mais parecidas que sejam as características. Estas questões impõem aos agentes envolvidos um alto grau de especialização para que possam apresentar soluções eficazes e eficientes dentro da enorme gama de possibilidades do sistema construtivo.

Tabela 11.1: Quadro de responsabilidades

Agentes	Atribuições
Projetista	Coleta prévia de informações úteis sobre a operação, condições ambientais e recursos disponíveis (equipamentos / materiais e financeiros).
	Elaboração do projeto com base no domínio tecnológico do sistema construtivo, dos processos envolvidos e previsão de durabilidade do pavimento.
Empresa de execução	Administração e gerenciamento dos processos de logística da obra.
	Articulação dos processos executivos e controle tecnológico da execução.
Usuário / Cliente	Fornecimento de informações precisas sobre as atividades das áreas a serem pavimentadas.
	Utilização / operação, manutenção e conservação conforme especificado pelo projeto.

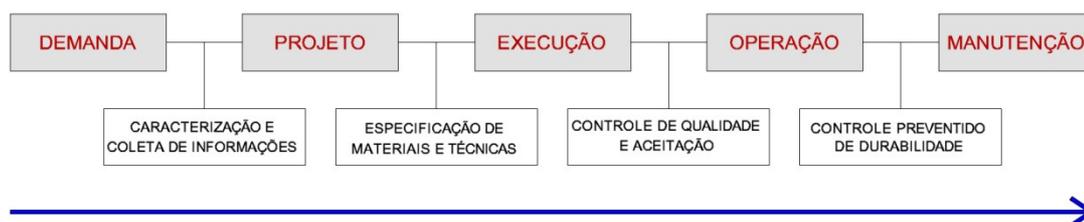


Figura 11.1: Fluxograma do ciclo de vida de pavimentos industriais

## 11.1 Projeto

Embora o bom desempenho dos pavimentos industriais seja garantido por um conjunto de ações coordenadas, destaca-se a etapa de projeto como a mais importante, pois nela são definidas todas as tecnologias empregadas no processo de execução mediante a demanda da utilização dos pavimentos e logística executiva.

É recomendado o envolvimento de todos os agentes nesta etapa, objetivando a produção do projeto com coesão multidisciplinar e reduzindo riscos decorrentes da

incompatibilidade de sistemas, materiais e procedimentos empregados. Resta afirmar que as interferências ainda em fase de projeto apresentam custos inferiores às efetuadas no período de execução das obras ou da operação da área.

Por esses motivos, é sempre indicada a contratação de profissional especializado para desenvolvimento dos projetos de pisos industriais. A visão holística dos projetistas associada ao domínio tecnológico dos processos e materiais envolvidos, garantem à esta etapa, as condições de equação entre custos, desempenho, durabilidade e a viabilidade de produção (BINA, 2005).

A tabela 11.2 lista as principais questões e procedimentos a serem observados em fase inicial de projeto, ressaltando-se a importância da prévia caracterização das condicionantes ambientais, operacionais e logísticas para produção do projeto consistente.

Tabela 11.2: Dados de entrada para projeto de pavimento industrial.

Caracterização (análise prévia dos dados de entrada):	
Ambiental	Caracterização do solo (avaliação de relatórios de ensaios).
	Condições gerais do ambiente: umidade, temperatura, insolação e demais agentes agressivos do meio externo.
Logística e Recursos	Condições de acessibilidade no canteiro de obras.
	Possibilidade de fechamento do local para execução.
	Recursos financeiros disponíveis ou planejados.
	Materiais, equipamentos e mão-de-obra.
Operação	Descrição das atividades (layout de utilização e fluxograma).
	Equipamentos e mobiliário (maquinário de transporte de cargas e caracterização do tráfego; estocagem e caracterização do mobiliário).
	Identificação de agentes agressivos: químicos, mecânicos e físicos.
Outros	Projetos arquitetônico, estrutural, de instalações e drenagem.
	Aspectos estéticos (expectativa quanto à aparência).
	Previsão de durabilidade.

Com base nos dados levantados, o projetista terá condições de propor soluções para equacionar todas as condicionantes apresentadas, desenvolvendo a especificação dos materiais, descrevendo procedimentos de execução e definindo os cuidados de manutenção e utilização do pavimento.

O projeto para pavimento industrial deverá apresentar os seguintes dados:

- Método de preparação do subleito e índices de compactação;
- Sistema de sub-base (composição granulométrica e índices aceitáveis de nivelamento);
- Especificação da barreira de vapor (espessura e tipo do material);
- Definição do sistema quanto ao reforço estrutural e dimensionamento e memória de cálculo de todos os elementos componentes;
- Plano de concretagem e detalhamento das fôrmas;
- Especificação do concreto (resistência mecânica, classificação e consumo do cimento, controle de abatimento, fator água/cimento, teor de argamassa, capacidade da central dosadora, especificação dos agregados, aditivos e adições);
- Especificação de elementos estruturais incorporados ao concreto (armaduras, cabos e assessorios de protensão, fibras, barras de ligação e transferência, espaçadores);
- Acabamento superficial (aspectos estéticos, controle de planicidade e nivelamento, especificação de endurecedores de superfície ou aspensão de agregados minerais e metálicos);
- Materiais e procedimentos de cura;
- Especificação das juntas (projeto geométrico, detalhes executivos e especificação de sistemas e materiais para selamento);
- Especificação de RAD (preparação do substrato; cronograma de aplicação e previsão para liberação de tráfego);
- Memorial descritivo contendo todos os procedimentos executivos e cuidados a serem tomados na utilização do piso. Procedimentos de manutenção.

Assim como em outras áreas da construção civil, nem sempre o projeto completo em termos de informações fornecidas é considerado um bom projeto. Além de fornecer todas essas informações, a definição de um bom projeto para pavimentos industriais é dada pelo atendimento da demanda, considerando a viabilidade das condições técnicas e sua eficiência, a viabilidade financeira e a durabilidade prevista.

Além dos aspectos abordados, espera-se do projetista a imparcialidade através da independência de fornecedores e aplicadores, e o aprimoramento através da busca contínua de novas tecnologias (CHODOUNSKY, 2008).

## **11.2 Execução de pavimentos industriais**

A etapa executiva dos pavimentos industriais deverá apresentar necessariamente um planejamento apurado de ações coordenadas e disponibilizar de mão-de-obra especializada para executá-las. O controle tecnológico dos processos e materiais desta etapa é essencial para que se alcance o desempenho previsto pelo projeto do pavimento.

Como citado anteriormente, sugere-se a construção prévia de um trecho de teste para que os profissionais envolvidos possam avaliar o desempenho e condições ambientais do canteiro de obra, e anteciparem aos possíveis imprevistos e desconformidades (RODRIGUES et al, 2006).

### **11.2.1 Fundação**

A execução da fundação compreende no preparo das primeiras camadas para receber a placa de concreto. Segundo Rodrigues et al. (2003), essas operações devem ser criteriosas para não comprometer o desempenho do pavimento, mesmo que este apresente qualidade na camada da placa de concreto. Considera-se como execução da fundação, os serviços executivos das camadas do subleito, a sub-base e a barreira de vapor.

#### **11.2.1.1 Subleito**

O subleito deve apresentar configuração uniforme ao longo de sua extensão. Após os serviços de terraplenagem é necessário conferir as condições de homogeneidade das características do solo. Em especial nas áreas próximas às fundações do edifício e galerias de drenagem ou instalações, as atenções devem estar voltadas a recompor adequadamente o solo local com as mesmas características de composição, granulometria e compactação do solo existente para evitar recalques diferenciais.

Segundo Senefonte (2007), em alguns casos faz-se necessário o reforço do subleito para atendimento da resistência prevista. Porém, estas intervenções devem ser executadas ainda nas etapas preliminares de terraplenagem, através da adição de materiais granulares, cimentícios ou estabilizantes químicos.

A compactação, regularização e correções de desnivelamentos do subleito devem feitas a partir das especificações descritas em projeto através de equipamentos mecanizados, como por exemplo, a moto niveladora ou rolo compactador (pé de

carneiro). Admite-se a utilização de compactadores de placas vibratórias para locais de difícil acesso, como por exemplo, as regiões próximas às bases dos pilares.

Após a compactação, são realizados os ensaios CBR, descritos no capítulo 4, para avaliação da resistência alcançada pelo processo de compactação.

Nesta etapa é fundamental considerar as demais espessuras das camadas do pavimento e definir, mediante controle topográfico, as cotas de implantação de acordo com o projeto de piso industrial e projeto arquitetônico.

Para aceitação da etapa, admite-se variações máximas de 10% na espessura e de 15mm no nivelamento do subleito em relação aos valores especificados no projeto (SENEFONTE, 2007).



Figura 11.2: Operação de terraplenagem e preparação do subleito.

Fonte: [www.pisosindustriais.com.br](http://www.pisosindustriais.com.br)

### 11.2.1.2 Sub-bases

Após a compactação e aceitação do subleito, o material especificado (preparado de acordo com normatização específica) para a sub-base deve ser lançado e distribuído de maneira uniforme ao longo da área do pavimento, respeitando a espessura prevista em projeto. Rodrigues et al. (2003) reforça que a espessura lançada em projeto é a espessura final após execução da compactação.

Segundo Senefonte (2007), a preparação deverá ser feita de formas distintas de acordo com os materiais empregados:

- Sub-bases granulares: distribuição do material por caminhões basculantes e pás carregadeiras e posterior compactação.
- Sub-bases granulares com ligante hidráulico: o material ligante deverá ser uniformemente distribuído após o lançamento uniforme do material granular, promovendo-se a homogeneização da mistura através de gradeamento.

Os controles executados para a sub-base são os mesmos executados para o subleito: espessura da camada, nivelamento, grau de compactação, teor de umidade e CBR (SENEFONTE, 2003).

Para aceitação da etapa, admite-se variações máximas de 10% na espessura e de 7mm no nivelamento da sub-base em relação aos valores especificados no projeto (SENEFONTE, 2007).

### **11.2.1.3 Barreira de vapor**

As lonas plásticas, como são popularmente conhecidas, são produzidas geralmente nas medidas de 2 a 8 metros de largura e em diversas espessuras. A largura a ser instalada é determinada em função das larguras das faixas de concretagem e as espessuras mais especificadas para pavimentos industriais variam entre 2mm e 3mm.

Após a preparação e aceitação da sub-base deve-se proceder a cobertura da área com filme de polietileno em toda extensão da placa a ser concretada. Um detalhe importante de instalação é que ela deve ultrapassar os limites das fôrmas e permitir sobreposição das próximas faixas. O assunto será abordado com mais detalhes no próximo item.

### **11.2.2 Montagem das fôrmas**

O sistema de fôrmas para pavimentos industriais geralmente é constituído por peças metálicas (perfis metálicos dobrados) ou vigas de madeira. Segundo Rodrigues et al. (2006), estas devem apresentar características de variação máxima de linearidade de 3mm a cada 5 metros e rigidez suficiente para suportar as pressões laterais produzidas pelo processo de concretagem e pelos equipamentos utilizados na fase de adensamento.

Instaladas conforme as definições geométricas do projeto nas áreas perimetrais das placas a serem concretadas, definidas pelas juntas de construção e expansão e pelas bordas livres, as fôrmas são posicionadas sobre o filme de polietileno e segundo Rodrigues et al. (2003), devem ser fixadas com emprego de pontas de ferro com

diâmetro de pelo menos 16mm, cunhas de madeira e complementado por bolas de concreto.

Já caracterizadas como definição do posicionamento das juntas de construção, as fôrmas devem ter furação laterais para instalação das barras de transferência distanciada conforme especificação de projeto ou ainda os dispositivos de ancoragem de cabos do sistema de protensão. Nos pontos de encontro com elementos da construção, as fôrmas devem ter geometria conforme detalhado em projeto para execução posterior de juntas de encontro.

Segundo Senefonte (2007), após instalação é necessário conferir o alinhamento e o nivelamento, geralmente executados com equipamento de aferições a laser, bem como a resistência da fixação para contenção do concreto.

### **11.2.3 Posicionamento dos elementos de reforço estrutural**

A última etapa antes da concretagem é a da disposição dos elementos estruturais ao longo do pavimento. Trata-se da instalação das armaduras (ativas e passivas), telas, barras de transferência, barras de ligação, distanciadores, caranguejos, cordoalhas e acessórios de protensão, espaçadores e demais reforços estruturais. No caso de utilização de concreto reforçado com fibras, esta etapa é suprimida do processo de execução.

Para liberação da concretagem, estes elementos deverão ser conferidos de acordo com o projeto considerando os seguintes itens: bitolas, caracterização do aço,

posicionamento horizontal e alturas, amarração e estabilidade das peças para evitar deslocamentos durante o processo de concretagem.



Figura 11.3: Detalhe da forma e elementos de reforço

#### 11.2.4 Concretagem

O processo de concretagem pode ser dividido em 5 etapas seqüenciais: produção e transporte, lançamento, adensamento, acabamento superficial e cura. É fundamental controlar estes processos, sobretudo no cronograma de execução, com estipulação de tempo aproximado transcorrido entre eles para que as fases se processem adequadamente.

É importante tratar o processo de execução da concretagem de pavimentos industriais como serviço especializado, que apresenta particularidades, quando comparado às concretagens convencionais de outras peças estruturais. Todos esses processos estão sujeitos ao planejamento da concretagem, que deve ser feito de acordo com a disponibilidade de equipamentos no canteiro de obras.

Segundo Rodrigues et al, (2006), o emprego de concretagens em xadrez é hoje condenado e não deve ser empregado, sendo mais indicada a seqüência de concretagens em faixas ou em grandes placas. Estas últimas garantem elevada produtividade no canteiro de obras e controle tecnológico mais preciso em relação aos índices de planicidade e nivelamento. A figura 11.4 apresenta a evolução dos sistemas planos de concretagem a partir da utilização de novas tecnologias e equipamentos.

- Concretagem em xadrez: processo não indicado, pois as placas trabalham de forma independente. Além disso, a logística de circulação de equipamentos e mão-de-obra é comprometida;
- Concretagem em faixas: processo recomendado, em função da logística da obra e facilidade de acesso dos equipamentos de espalhamento e adensamento (régua vibratória, régua treliçada para aspersão de agregados);
- Concretagem em placas: processo inovador. Concretagem de grandes áreas com utilização de equipamento de última geração (*Laser Screed*), que faz as operações de espalhamento, adensamento, controle de nivelamento e parte do acabamento superficial. As juntas são serradas posteriormente.

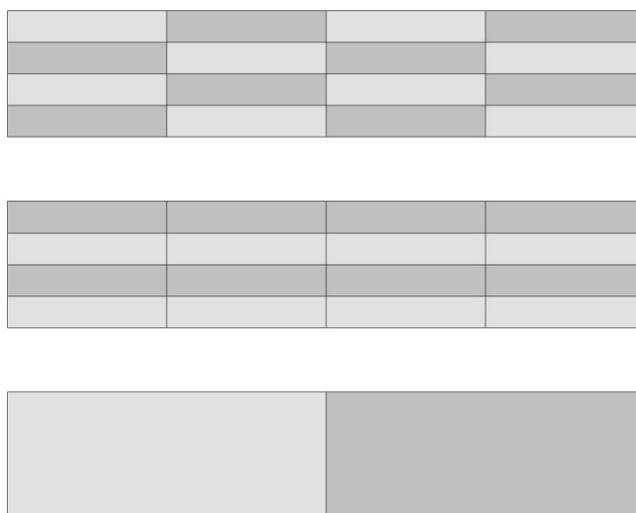


Figura 11.4: Seqüência de concretagem

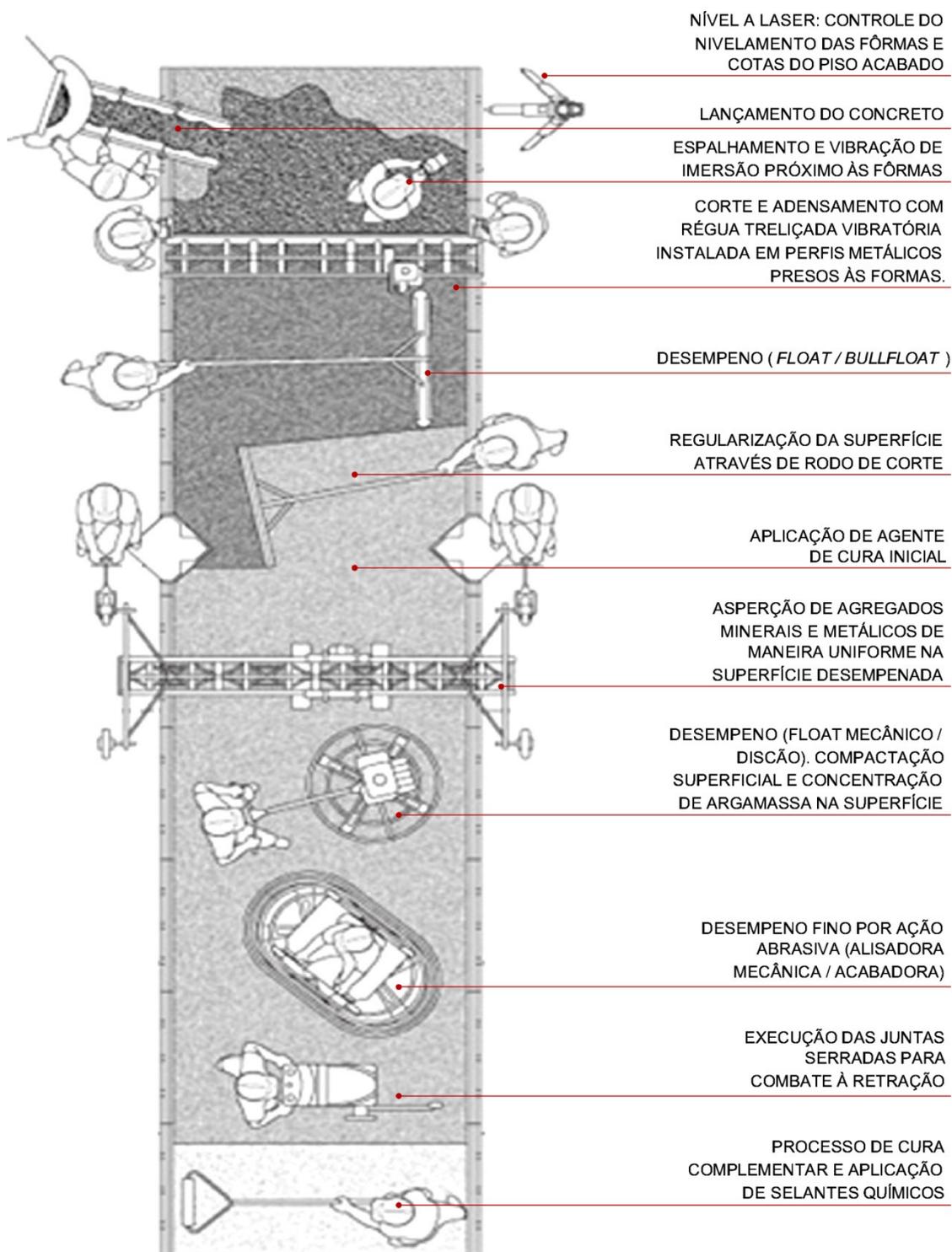


Figura 11.5: Processo executivo da concretagem de pavimentos industriais

#### 11.2.4.1 Produção e transporte

Como explicitado no capítulo 7, o concreto para pisos industriais deve ser dosado segundo condições específicas. É fundamental a interação entre a empresa da central dosadora e o projetista na fase de especificação destes materiais e planejamento da concretagem, sobretudo considerando:

- Traço adequado, aditivos e adições;
- Condições do fornecimento (logística de transporte e capacidade da central dosadora);
- Logística de lançamento (equipamentos e disponibilidade de acesso ao canteiro de obras).

Este planejamento prévio garante o fornecimento de material adequado para atender os parâmetros estipulados pelo projeto, a preparação do canteiro de obras para receber grandes volumes de concreto e a execução dos serviços dentro da capacidade prevista, evitando desperdício de materiais, e atrasos no cronograma da concretagem. Ressalta-se que esses atrasos podem levar à necessidade de construção de juntas de construção não previstas em projeto, comprometendo as especificações do projeto.

Para controle de qualidade do concreto, deverão ser executados os ensaios padrão de abatimento (*slump test*) e a modelagem dos corpos de prova para posteriores ensaios laboratoriais de resistência.

#### **11.2.4.2 Lançamento**

O método de lançamento do concreto é definido a partir da disponibilidade de equipamentos de lançamento e em função das condições de acessibilidade à área a ser concretada, podendo ser lançado diretamente do caminhão ou necessitar do emprego de bombas tipo lança para alcançar áreas de difícil acesso.

As questões de acessibilidade são definidas de acordo com sistema de piso adotado, permitindo o tráfego de caminhões betoneira sem prejudicar os elementos estruturais já posicionados. Em alguns casos são adotados dispositivos para facilitar o acesso, como rampas e plataformas sobre os elementos de reforço estrutural.

Segundo Rodrigues (2003), o controle da velocidade de lançamento do concreto é fundamental para garantir pega uniforme e evitar manchamento da superfície. Indica-se o valor de 20m<sup>3</sup>/h como referencial. Porém, a compatibilidade entre o volume a ser vibrado e acabado deve ser compatível com o lançado. Outros cuidados para evitar a segregação a partir do lançamento de alturas inadequadas, controle da homogeneização da mistura, e os ensaios de abatimento e modelagem dos corpos de prova para ensaios de resistência também devem ser observados.

#### **11.2.4.3 Adensamento**

Os processos de adensamento do concreto geralmente associam o uso de régua vibratória treliçada com vibradores de imersão nas áreas próximas às formas. Considerando as baixas espessuras das placas utilizadas atualmente, com cerca de 15cm, as seqüências de concretagens em faixas, e a baixa densidade de armações e

demais elementos de reforço estrutural, a utilização da régua treliçada vibratória é um processo bastante eficiente.

Outra alternativa de grande produtividade é a utilização de equipamentos como o *Laser Screed*. O emprego desta tecnologia garante várias vantagens aos processos de concretagem, uma vez que efetuam simultaneamente o nivelamento, adensamento e vibração do concreto, além de já executarem parte do acabamento superficial.

O *Laser Screed* é uma máquina auto-propelida, guiada por emissor laser que corrige os níveis através de mecanismos hidráulicos, garantindo bons índices de planicidade e nivelamento. Além disso, a redução do número de fôrmas e juntas de construção é significativa, uma vez que permitem concretagens de placas de grandes dimensões.

#### **11.2.4.4 Acabamento superficial**

A execução do acabamento superficial poderá apresentar variações metodológicas em função do aspecto estético desejado, da existência de especificação de acabamentos especiais, como a incorporação de agregados minerais e metálicos, e dos equipamentos disponíveis para execução.

Ressalta-se a importância de práticas executivas criteriosas nesta etapa, pois a superfície acabada estará em contato direto com o meio agressor, devendo apresentar bom desempenho segundo aos métodos adotados.

De maneira genérica, após o adensamento e o corte efetuado com a régua treliçada ou *Laser Screed*, os processos são executados ordenadamente conforme descrito na tabela 11.3:

Tabela 11.3: Seqüência de acabamento superficial  
(Fonte: adaptação de Rodrigues ET AL, 2006)

<b>Etapas:</b>	<b>Equipamentos:</b>	<b>Processo:</b>	<b>Função:</b>
<b>1</b> Desempeno ( <i>float / bullfloat</i> )	Desempenadeira manual, metálica ou de madeira com 80cm a 300cm de comprimento e 20cm de largura, com extremidades arredondadas;	Operação de alisamento da superfície	Promover um primeiro alisamento superficial, fechando as imperfeições deixadas pela régua vibratória.
<b>2</b> Rodo de corte	Ferramenta constituída por uma régua de alumínio de 3m, montada ortogonalmente a um cabo articulado que permite mudar o seu ângulo de ataque na superfície, permitindo o corte tanto quando é puxado como empurrado.	Remoção de material superficial através de atrito da lâmina nos pontos de espessuras diferentes e desnivelamentos.	Melhorar a planicidade do piso, permitindo a execução de superfícies mais planas.
<b>3</b> Período de espera	Barreiras de vento, proteções contra incidência solar e partículas de cura química específicas.	Instalação de dispositivos de proteção ou aplicação de cura química sobre a superfície.	Controlar a perda de água do concreto por exsudação e agentes externos durante o período de pega de concreto.
<b>4</b> Desempeno ( <i>Float Mecânico</i> )	Disco(s) metálico com cerca de 80cm de diâmetro, fixados nas acabadoras mecânicas (dupla ou simples). São também conhecidas como discão.	Alisamento mecânico da superfície do concreto através do uso das acabadoras em momento adequado da pega do concreto cerca 2 horas e meia após aplicação do rodo de corte. Em função das características do concreto o tempo de início da etapa pode variar bastante.	Promover a compactação superficial e garantir maior concentração de argamassa na superfície.
<b>5</b> Desempeno fino / Alisamento mecânico	Rodo de corte (opcional, no caso de pisos com elevados índices de planicidade) e acabadoras mecânicas com dispositivos de pás metálicas com inclinações variáveis.	Aplicação do rodo de corte, e posteriormente, alisamento mecânico com forte tensão de contato das pás metálicas com a superfície do piso.	Desempenar e alisar a superfície por ação abrasiva, controlando a sua rugosidade e conferindo brilho à superfície acabada. Diminuir o atrito na utilização do piso, caracterizando aumento de resistência à abrasão.

Os critérios para avaliar o intervalo de pega, entre a aplicação do rodo de corte e as operações das acabadoras mecânicas, assim como o controle da exsudação, são fundamentais para garantir bom desempenho do piso visto que neste período, podem ocorrer patologias de micro fissuração e retração. A aplicação de cura inicial descrita no item 11.2.2.5 é fundamental nesta etapa.

Portanto, é necessário um acompanhamento presencial nesta fase de execução, pois a partir das condições ambientais e características apresentadas pelo concreto, deve ser definido o momento ideal para o início das atividades das acabadoras mecânicas. Este tempo pode variar bastante segundo a especificação do concreto, comprometendo o desempenho do acabamento superficial tanto pela execução prematura, quanto pela execução tardia do processo de desempenho mecânico.

As principais alternativas para aumento da resistência abrasiva dos pisos empregadas atualmente são as aspersões de agregados minerais e metálicos, conhecidos como *dry-shakes*, e a aplicação de líquidos endurecedores de superfícies, descritos no capítulo 8.

Em relação aos métodos executivos, a aspersão de agregados minerais e metálicos deve ser feita após aplicação do rodo de corte, em duas etapas conforme demonstrado pela figura 11.5. A aplicação destes elementos é feita por equipamento composto por um trilho instalado em uma régua treliçada suspensa por bases rolantes, que procede a distribuição dos agregados ao longo das superfícies de maneira uniforme, sendo incorporados às superfícies pela mistura com a pasta de cimento.

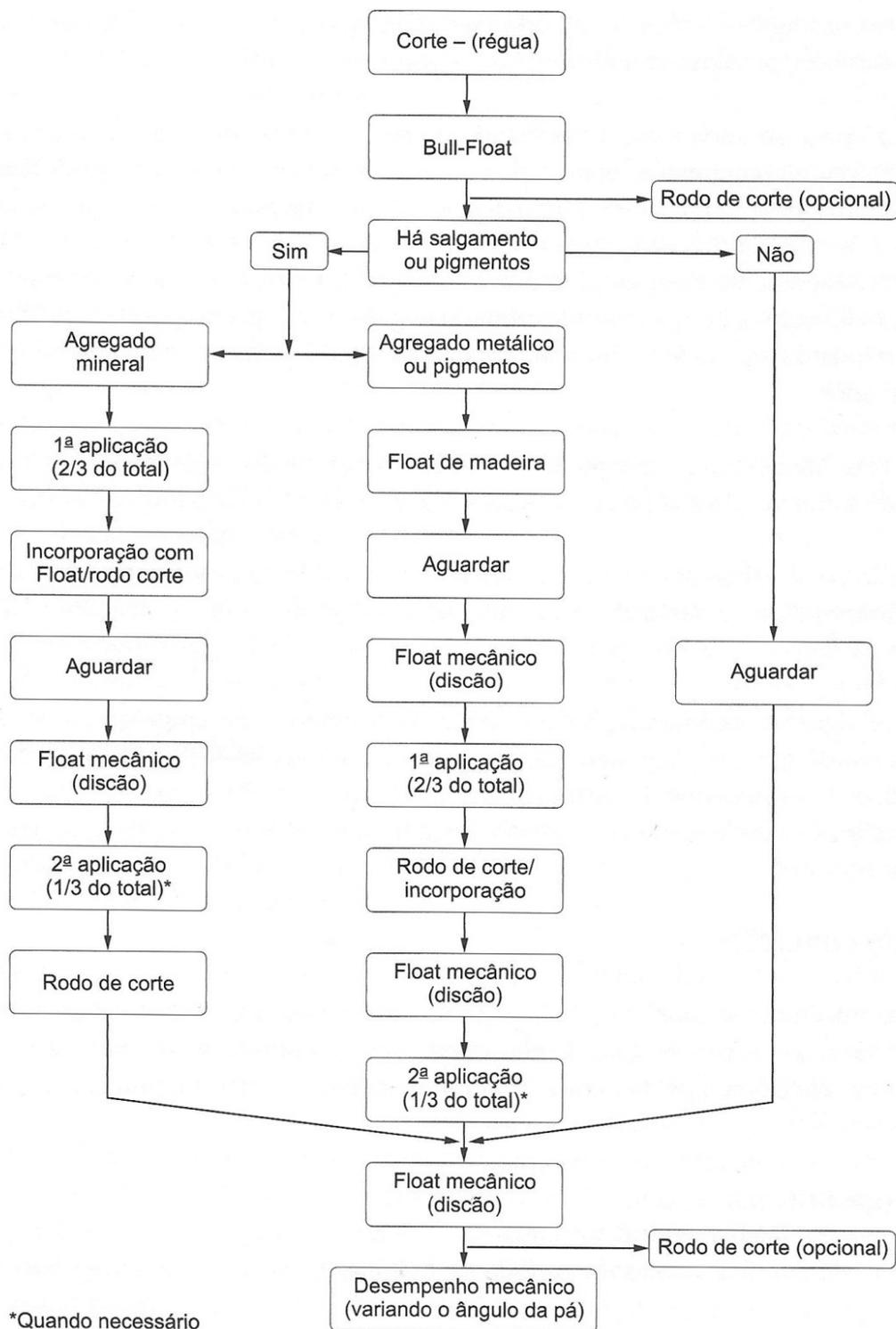


Figura 11.6: Fluxograma da fase de acabamento do concreto  
(Fonte: Rodrigues et al, 2006)

Já os líquidos endurecedores de superfícies devem ser aplicados após todo processo de cura do concreto, sendo o processo retardado ao máximo dentro do cronograma da obra, pois sua eficiência está condicionada à formação de Portlandita (hidróxido de cálcio) na superfície do concreto, para que possa reagir com os silicatos e flúor-silicatos dos produtos quando aplicados ao pavimento.

O lançamento e espalhamento dos líquidos na superfície devem ser efetuados com sistemas de baixa pressão, evitando o jateamento do material contra a superfície do concreto curado.

Segundo Oliveira & Tula (2006), o processo de aplicação destes elementos deve-se proceder em duas demãos esfregadas energeticamente com equipamentos de cerdas de náilon sobre a superfície limpa, isenta de contaminações e saturada com água. Antes da aplicação da segunda demão, o gel e o excesso de cristais formados devem ser removidos com água abundante e rodos de borracha.



Figura 11.7: Lançamento do concreto

Fonte: [www.pisosindustriais.com.br](http://www.pisosindustriais.com.br)



Figura 11.8: Distribuição e adensamento por régua treliçada vibratória  
Fonte: [www.bhpisos.com.br](http://www.bhpisos.com.br)



Figura 11.9: Regularização da superfície através do rodo de corte  
Fonte: [www.estreladosulconstrutora.com.br](http://www.estreladosulconstrutora.com.br)



Figura 11.10: Controle de planicidade e nivelamento através de aferição dos níveis durante o processo de acabamento. (Fonte: [www.adolinpisos.com.br](http://www.adolinpisos.com.br))



Figura 11.11: Laser Screed. Operações simultâneas de adensamento, de corte, nivelamento e início de acabamento. (Fonte: [www.concreteenterprises.com](http://www.concreteenterprises.com))



Figura 11.12: Instalação de plataforma para deslocamento do Laser Screed sobre a área das armaduras. (Fonte: [www.pyramidconcretellc.com](http://www.pyramidconcretellc.com))



Figura 11.13: Aspersão de agregados na superfície do concreto recém adensado.

Fonte: ABCP



Figura 11.14: Desempeno e alisamento mecânico com acabadoras duplas

Fonte: [www.pisosindustriais.com.br](http://www.pisosindustriais.com.br)

#### **11.2.4.5 Procedimentos de Cura**

O período de cura é o intervalo de tempo que corresponde às reações iniciais de hidratação do cimento e endurecimento do concreto (THOMAZ, 2005).

A concretagem de pavimentos industriais merece cuidados ainda maiores com os procedimentos de cura, pois devido à grande superfície concretada exposta, as condições ambientais exercem grande influência na qualidade do concreto, podendo causar evaporação da água necessária à hidratação completa do cimento Portland.

Além disso, na maioria dos casos considera-se adoção do concreto aparente como acabamento final, devendo existir práticas específicas para adoção de sistemas que não produzam manchas na superfície.

Em vista às dificuldades encontradas para os procedimentos de cura, sobretudo pela logística de execução dos acabamentos superficiais, é indicada a adoção de práticas de cura em duas etapas: a cura inicial (cura química), através da aplicação de líquidos retardadores de evaporação ainda nas fases iniciais do acabamento e a cura complementar, até que o concreto atinja 75% de sua resistência, feita através de saturação de umidade em dispositivos inertes dispostos na superfície das placas.

#### **11.2.5 Execução das juntas serradas**

Segundo as práticas recomendadas da ABCP, o início do procedimento de corte das juntas deve ser evitado com o concreto ainda “verde”, pois pode causar esborcinamento e desprendimento de partículas dos agregados graúdos; e não pode

ser muito tardio, pois o atraso pode permitir o aparecimento de fissuras de retração. O tempo indicado para início dos cortes é variável em função do tipo de concreto empregado, a velocidade de hidratação do cimento e a temperatura ambiente, variando geralmente entre 8 e 15 horas.

Após a identificação do momento preciso para o corte, deverão ser feitos os cortes precedidos de marcação de alinhamento e com profundidade definida conforme projeto geométrico e detalhamento das juntas.

A seqüência dos cortes deve-se proceder de maneira a dividir as placas sucessivamente em placas de menores dimensões, conforme indicado na figura abaixo:

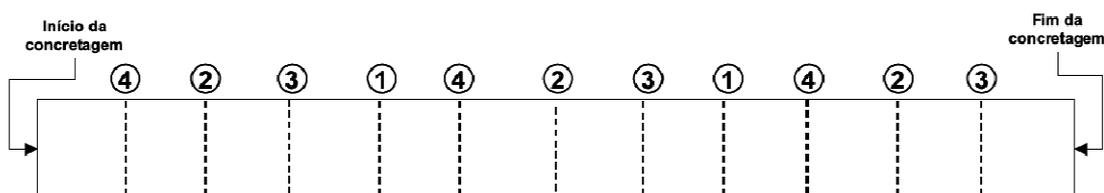


Figura 11.15: Plano de corte das juntas transversais

Fonte: ABCP

O tratamento e selamento deverão ser feitos após cura completa do concreto e limpeza com jateamento de ar comprimido. Os detalhes executivos são apresentados no capítulo 9.

Novas tecnologias podem ser empregadas atualmente para se reduzir o risco da fissuração por atraso no corte das juntas. Trata-se do sistema denominado *Soff-Cut*, que permite cortes a seco no período entre uma e duas horas após a primeira utilização do rodo de corte, a partir do momento em que o concreto apresentar

resistência para suportar o peso da máquina e do operador. Os dispositivos do maquinário combinam a serra de corte e uma haste com rolamento frontal, que controlam as frequências de rotação e torque da lâmina através da pressão aferida pela haste em contato com o concreto, evitando falhas ou estilhaços.



Figura 11.16: Sistema de corte Soff-Cut

Fonte: [www.soffcut.com/csi.html](http://www.soffcut.com/csi.html)



Figura 11.17: Indução de fissura no alinhamento da junta serrada

Fonte: ABCP

## 12. PATOLOGIAS DE PISOS INDUSTRIAIS

*Durabilidade consiste na capacidade do produto em conservar, ao longo do tempo, desempenho compatível com a utilização prevista, sob condições de instalação, operação e manutenção especificadas pelo seu produtor e/ou fornecedor. (FILHO, C. V. Mitidieri. **Qualidade e desempenho na construção civil**. 2007).*

As patologias em pisos industriais são causadas principalmente por falhas de projeto e falhas executivas, além da utilização não prevista e inadequada do piso, gerando conseqüências sérias para o desenvolvimento das operações industriais, como por exemplo, o aumento dos custos com manutenção dos equipamentos, redução da produção e restrição das operações de transporte de cargas, contaminações generalizadas, entre outros.

Além disso, geralmente os processos de recuperação são bastante onerosos, podendo, em alguns casos, ser enquadrados em patamares de custo equivalente ao da produção de um novo pavimento.

O principal fator indicado para evitar as patologias é a execução controlada do pavimento a partir de um projeto especializado e as limitações impostas ao sistema adotado. Todos os procedimentos controle de materiais e processos executivos explicitados neste trabalho faz parte de um conjunto de especificações para garantir a durabilidade do piso, desde que mesmo corretamente planejados e executados, as indicações para sua utilização sejam respeitadas.

Quando detectada a ocorrência de patologias, o primeiro passo é identificar e classificar essas patologias para planejamento de recuperação. Considerando a grande disponibilidade de materiais específicos para estes tipos de reparo encontrados no mercado, deve-se proceder um projeto de recuperação que irá tecnicamente identificar os pontos atingidos, limitando as áreas a serem recuperadas com procedimentos específicos e gerando menos transtornos nas atividades operacionais da área.

Os principais agentes de aceleração da deterioração dos pavimentos estão: a atuação de sobrecargas (móveis ou fixas), os impactos mecânicos, o uso de equipamentos de transporte com rodas de aço, a operação imprópria de empilhadeiras e outros equipamentos, o uso de processos e materiais inadequados para limpeza e a falta de manutenção das juntas, possibilitando infiltrações de agentes contaminantes e detritos.

Visto que grande parte das patologias é causada por utilização indevida dos pisos, a prática de fornecer um manual de utilização aos responsáveis após a entrega das obras pode ser bastante eficiente. Neste manual deverão estar previstos os procedimentos de manutenção do piso e suas limitações quanto à resistência, garantindo ao usuário informações precisas sobre como utilizar e cuidar do pavimento para aumentar sua durabilidade.

Nos quadros 12.1 e 12.2 a seguir, são apresentadas as principais patologias dos sistemas de pavimentos industriais e dos revestimentos de alto desempenho, ressaltando a descrição dessas patologias e suas possíveis causas, além dos procedimentos de prevenção e recuperação indicados para cada caso específico.

**Tabela 12.1 – Principais patologias em Pisos Industriais. Características, Prevenção e Tratamento. (Fonte: adaptação de dados Aguiar (2009) e dados de Gasparetto e Hovaghimian, disponíveis em [www.revistatechne.com.br](http://www.revistatechne.com.br))**

Patologia	Descrição	Causa	Prevenção	Recuperação
Delaminação	Destacamento da camada superficial de acabamento, cuja espessura varia de 2 mm a 4 mm.	Selamento superficial prematuro que impede a exsudação da água do concreto, gerando pressões internas na camada impermeável de selante.	Controle da umidade do substrato (placa de concreto) antes de aplicação de materiais formadores de filme impermeável. Controle da dosagem do concreto evitando emprego de grandes quantidades de aditivos incorporadores de ar, retardadores de pega ou agregados miúdos de baixa granulometria. Fator água/cimento adequado.	Reparo com argamassas poliméricas ou cimentícias modificadas com polímeros. Recorte da área danificada, regularização da superfície, aplicação de um primer e argamassa. Executar processo de cura adequado e lixar caso necessário.
Desgaste Superficial	Desprendimento do material superficial do piso, grãos de areia e pó de cimento	Utilização de concreto de baixa resistência, tratamento superficial incorreto, concreto com exsudação excessiva ou cura inadequada. Ataques químicos e má utilização do piso.	Especificação da resistência do concreto com base na utilização do piso. Controle dos processos executivos de acabamento, cura e tratamento superficial.	Fechamento da porosidade superficial através de aplicação de endurecedor químico em duas demãos. Lapidagem da superfície com ferramentas diamantadas (até grana 3000). Aplicação de RAD argamassados epoxídicos ou uretânicos sob substrato preparado.
Manchas	Formação de manchas que se destacam da cor padrão do concreto aplicado no piso, proveniente dos processos de hidratação e carbonatação do concreto.	Atraso no processo de concretagem e consequente pega diferenciada do concreto. Posicionamento dos agregados graúdos muito próximos da superfície Processo de cura mal-executado e de maneira heterogênea na superfície.	Definição prévia de plano de concretagem e cálculo de volume de material necessário para cada placa. Dosagem correta dos materiais do concreto considerando sua trabalhabilidade e controle do processo de lançamento, adensamento e vibração. Controle do processo de cura. Garantir que os agentes de cura estejam em contato com toda a superfície do concreto.	A cor da superfície do concreto tende a se uniformizar com o tempo e, após alguns meses, as manchas podem desaparecer. Caso os aspectos estéticos sejam primordiais, pode-se aplicar uma pintura de resistência compatível com as atividades previstas. Esta alternativa gera custo extra-planejado.
Fissuras de Retração	Fissuras regulares nas placas geralmente paralelas às juntas serradas.	Atraso no corte das juntas. A retração hidráulica na cura do concreto não é absorvida pelas juntas, impedindo sua movimentação durante o período de pega. Reforço insuficiente ou Restrição à movimentação da placa. Deficiências no preparo ou especificação de tratamento da base.	Executar o corte das juntas no intervalo entre 4 e 12 horas após o lançamento do concreto. O tempo de pega é variável em função do tipo de concreto utilizado. Após a pega, executar imediatamente. Detalhamento das juntas e mecanismos de transferência de carga devidamente dimensionados e posicionados. Procedimento criterioso de execução com base no projeto (atenção aos aspectos de caracterização da capacidade de suporte do solo e tratamento adequado das sub-bases).	Fissuras próximas às juntas (de 5 cm a 10 cm): aplicar selador de acordo com especificação dos materiais das juntas. Fissuras mais afastadas: estabilização por colagem com material epoxídico/poliuretano, ou pela costura com barras de aço inclinadas na lateral da fissura, sendo estas coladas e seladas material à base de resina epóxi. Execução de juntas complementares tratadas para garantir a transferência de carga entre as placas. Execução de trechos com armação complementar de combate à tração e empenamento da placa.
Deslocamento (corrosão das armaduras)	Destacamento da camada de cobertura do concreto sob tensões de expansão volumétrica das armaduras.	Penetração de cloretos e dióxido de carbono, nas placas do piso causando depassivação das armaduras (de controle de retração, de combate à tração e até mesmo das fibras de aço) e posterior processo de corrosão das armaduras. Aumento do volume das ferragens causado pela corrosão destes elementos.	Execução de cobertura com espessura adequada e concretagem adequada para evitar elevada porosidade (baixo fator água/cimento, vibração adequada). Tratamento contra umidade: instalação de barreira de vapor, selamento das juntas e critérios na seleção dos métodos e materiais de acabamento superficial.	Delimitação da área afetada, remoção do concreto deteriorado. Limpeza das superfícies. Tratamento e/ou reforço estrutural das armaduras. Aplicação de camada para selamento e ponte de aderência. Aplicação da argamassa de alto desempenho, regularização e cura adequada.

**Tabela 12.2 – Principais patologias em RAD. Características, Prevenção e Tratamento. (Fonte: adaptação de dados Aguiar (2009) e dados de Gasparetto e Hovaghimian, disponíveis em [www.revistatechne.com.br](http://www.revistatechne.com.br))**

Patologia	Descrição	Causa	Prevenção	Recuperação
Bolhas	<p>Formação de bolhas na superfície e consequente descolamento dos revestimentos. Quando submetido à condições de tráfego intenso, o RAD sofre deformações, rupturas e exposição da base ou camadas intermediárias.</p>	<p>Presença de líquidos ou gases oriundos da sub-base (variação do lençol freático, falha na drenagem ou infiltração das tubulações embutidas). Umidade da placa de concreto (substrato). Presença de água de amassamento.</p> <p>Presença de agentes contaminantes, como óleos e produtos químicos variados.</p> <p>Presença de agentes contaminantes do próprio revestimento. Erros de dosagem, falhas dos produtos e aplicações em desconformidade com a especificada.</p>	<p>Instalação de sistema de drenagem eficiente. Utilização de sub base granular e barreira de vapor com filme de polietileno. Controle do tempo ideal de cura completa antes da aplicação do revestimento. Análise da umidade do substrato que deverá apresentar taxas máximas de 4% a 5% conforme ensaios específicos.</p> <p>Limpeza e descontaminação do substrato utilizando métodos adequados de lavagem.</p>	<p>O revestimento danificado deve ser removido parcial ou totalmente. Dependendo da distribuição das patologias, a base deverá ser novamente preparada. Aplicação revestimentos específicos para concretos recém-lançados ou para áreas com umidade ascendente.</p>
Falhas e irregularidades no acabamento	<p>Variações estéticas e acabamento superficial irregular do revestimento. Variação da textura final do revestimento, liso em certos pontos e antiderrapante em outros. Em alguns casos o sistema apresenta posterior desagregação em relação ao substrato.</p>	<p>Falhas na preparação do substrato. Uso de materiais de baixa qualidade e de sistemas inadequados. Utilização inadequada do piso (rodízios duros, presença de abrasivos na área, ataque de produtos químicos a concentrações e temperaturas elevadas).</p>	<p>Regularização do substrato. A superfície deverá apresentar rugosidade uniforme para aplicação do RAD.</p> <p>Especificação técnica de sistemas de RAD adequados ao uso proposto e emprego de materiais com qualidade reconhecida no mercado.</p>	<p>Lixamento geral da área e na aplicação de uma nova camada com sistemas livres de solventes e melhor índice de cobertura.</p> <p>Remoção da parte danificada, preparação da base e reconstrução do sistema de RAD. Tratamento com sistemas argamassados (epóxi / poliuretano) em áreas de maior solicitação de abrasão. Nas áreas de ataques químicos utilizar sistemas à base de resinas éster vinílicas, metil-metacrilatos, epóxi ou poliuretanos modificados.</p>
Destacamentos e Descolamentos	<p>Desprendimento de placas de RAD do substrato.</p>	<p>Perda de aderência do RAD com o substrato em função de falhas na preparação da base. Solicitação mecânica superior à prevista em projeto.</p>	<p>Regularização do substrato. A superfície deverá apresentar rugosidade uniforme para aplicação do RAD.</p> <p>Especificação técnica de sistemas de RAD adequados ao uso proposto e emprego de materiais com qualidade reconhecida no mercado.</p>	<p>Mapeamento da área a ser recuperada por meio de testes localizados. Remoção do revestimento danificado. Identificação da causa da patologia (preparação do substrato ou incompatibilidade entre o substrato e o revestimento). Correção e aplicação o novo sistema.</p>
Trincas e fissuras	<p>Aparecimento de trincas e fissuras na superfície do revestimento.</p>	<p>Deficiência do sistema estrutural do piso (trincas geradas pela movimentação excessiva ou assentamento de material do substrato do RAD). Tratamento inadequado das juntas antes da aplicação do RAD.</p>	<p>Desenvolver projeto criterioso de todos os elementos do sistema do piso. Controlar a qualidade da execução para atingir os índices descritos em projeto. Tratamento específico das juntas antes da aplicação do RAD.</p>	<p>Criação de junta ao longo de toda a fissuração aparente, permitindo a movimentação independente dos dois panos. Recorte da faixa de revestimento danificada com folga lateral de 5cm para cada lado. Preenchimento do local com argamassa epóxi de alta resistência. Corte com disco, no alinhamento da fissura, e preenchimento com selante elastomérico à base de poliuretano ou epóxi semirrígido.</p>

### 13. CONCLUSÕES

Apresentadas as questões relativas ao sistema construtivo de pavimentos industriais e os aspectos característicos envolvidos na sua produção, ressaltam-se os seguintes aspectos conclusivos:

- A inserção das tecnologias no mercado da construção civil brasileira é bastante recente e vem se desenvolvendo em larga escala devido à demanda existente, sobretudo dos quesitos de adequação da infra-estrutura dentro do sistema produtivo das empresas e indústrias através da adoção de elementos duráveis e conseqüente redução dos custos de manutenção;
- Procede-se uma especialização dos profissionais de projeto, das empresas de execução, dos fornecedores de materiais, e da mão-de-obra no setor de pavimentos industriais. Em vista da deficiência normativa específica para esse tipo de pavimento, estes agentes vêm se estruturando para desenvolvimento de tecnologia e controle de qualidade mais apurado para melhor poder atender o mercado;
- Embora alguns autores considerem a fase de execução dos pavimentos industriais como a de maior peso para obtenção de boa qualidade final do elemento construído, o trabalho demonstra que a garantia de qualidade e de boas condições de operação são obtidas a partir de decisões criteriosas de projeto definidas sob a ótica de equipes multidisciplinares envolvendo projetista, usuário, executores, fornecedores de insumos e materiais.

- O projeto baseia-se no domínio tecnológico do sistema construtivo, e deve obrigatoriamente conter informações completas para a execução dos pavimentos. A análise holística prévia dos diversos aspectos envolvidos e o planejamento tornam-se então ferramentas essenciais e de grande influência no sistema construtivo.
- Por se tratar de área específica e apresentar caráter particular de execução, a normatização relativa aos sistemas construtivos, execução e materiais dos pavimentos industriais deve ser urgentemente desenvolvida. Atualmente recorre-se com frequência às normas estrangeiras, porém, esta prática pode não se adequar em alguns casos à logística tecnológico-produtiva nacional. A difusão destas tecnologias deve ser acessível feita para todos os agentes envolvidos no ciclo de vida do elemento construtivo.

### **13.1 Sugestões para novas pesquisas**

Como sugestões de temas para novas pesquisas, definem-se quatro questões pouco abordadas no trabalho e que têm grande importância para produção de pavimentos industriais:

- Dosagem de concreto para fins específicos de pavimentação industrial;
- Desenvolvimento de referencial normativo específico para pavimentação industrial;
- Comparativo de metodologias de cálculo e dimensionamento de pavimentação.
- Considerações da utilização de sistemas de bases aderidas e bases não-aderidas.

## 14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEC\_WEB. **Os padrões que garantem melhor manuseio e durabilidade aos pisos industriais**. Disponível em: <<http://www.aecweb.com.br/aec-news/materia/1191/os-padroes-que-garantem-melhor-manuseio-e-durabilidade-aos-pisos-industriais.html>> Acesso em 08/01/2010.

AGUIAR, José Eduardo de. **Durabilidade, Proteção e Recuperação de Estruturas**. Belo Horizonte: UFMG, 2000. Notas de aula.

AGUILAR, Maria Teresa Paulino. **Materiais para Construção Civil**. Belo Horizonte: UFMG, 2000. Notas de aula.

ANDERY, Paulo Roberto Pereira. **Gestão da Produção na Construção Civil**. Belo Horizonte: UFMG, 2000. Notas de aula.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO. **Mídia Institucional 2009**. Disponível em: <[http://www.anapre.org.br/cd2009/anapre\\_final.html](http://www.anapre.org.br/cd2009/anapre_final.html)> Acessado em 20/12/2009. (CD-ROM)

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE: Guide for Concrete Floor and Slab Construction (ACI 302.1R-04). Michigan, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. São Paulo, ABCP, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Pavimento de concreto - Práticas Recomendadas. vol.1, vol.2, vol.3, vol.4, vol.5**. São Paulo, ABCP. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/downloads/index.shtml>> Acesso em: 10/11/2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7583: Execução de Pavimentos de Concretos Simples por meio Mecânico**. Rio de Janeiro, ABNT, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7197: Projeto de estruturas de concreto protendido**. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7481: Tela de Aço Soldada. Armadura para Concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, ABNT, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11801: Argamassa de Alta Resistência Mecânica para Pisos**. Rio de Janeiro, ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14050: Sistemas de Revestimentos de Alto Desempenho à Base de Resinas Epoxídicas e Avaliação do Desempenho – Procedimento**. Rio de Janeiro, ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484: Execução de Sondagens de simples reconhecimento dos solos**. Rio de Janeiro, ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO. **Boletins técnicos 1 a 24**. ANAPRE, 2006-2010. Disponível em: <<http://www.anapre.org.br>> Acessado em 20/12/2009.

ASTM E 1155M. **Standard Method of Determining  $F_F$  Floors Flatness and  $F_L$  Floor Levelness Numbers (Metric)**. ASTM, 1996.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos Viários e Pisos Industriais**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. vol. 2 cap. 42, p. 1297-1332.

BASF – The Chemical Company. **Catálogos técnicos de produtos**. Disponível em: <<http://www.basf-cc.com.br/pt/Pages/default.aspx>> Acesso em: 22/11/2009.

BATISTA, Arildo et al. **Produtos de aço para estruturas de concreto e alvenaria**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) *Materiais de Construção Civil e Princípios da Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: IBRACON, 2007. vol.2 cap. 32, p. 1077-1111.

BEINHAUER, Peter. **Standart-Detail-Sammlug**. Ed. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & CO., 2ª ed., Colônia, 2005.

CARNIO, Marco Antônio. **Análise em regime plástico de placas de concreto reforçado com fibras de aço sobre base elástica**. Campinas. 104p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, SP, 1998.

CARVALHO, M. D. & PITTA, M. R. **Pisos Industriais de Concreto. Parte I: Dimensionamento de Pavimentos de Concreto Simples**. Associação Brasileira de Cimento Portland, ET 52, SP, 1989.

CHODOUNSKY, Marcel Aranha. **Fibras metálicas para reforço de concreto**. Revista Pisos Industriais. 7ª ed, SP, 2006. Disponível em: <<http://www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia.asp?ID=146>>. Acesso em 24/11/2009.

CHODOUNSKY, Marcel Aranha. **Pisos industriais de concreto: aspectos teóricos e construtivos**. São Paulo: Reggenza, 2007.

COMINATTO, Gustavo; CANTON, Marco; VIEIRA, Júlio César Diehl. **Preparação de superfície: jateamento e hidrojateamento**. Revista Pisos Industriais. 4ª ed., SP, 2003. Disponível em: <<http://www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia.asp?ID=85>>. Acesso em 24/11/2009.

DAL-MASO, Josiano. **Pisos industriais de concreto com armadura distribuída – projeto e execução**. Santa Maria, 77 p. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado

ao Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentos Rígidos**. 2ª ed, Rio de Janeiro, DNIT, 2004. 233p.

EISINGER, André B. **Pisos e Revestimentos Industriais: reconhecimento de sua importância**. Revista Pisos Industriais, ed. 0, SP, 2003. Disponível em: <<http://www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia.asp?ID=28>>. Acesso em 24/11/2009.

FARIA, Renato. **Juntas reduzidas**. Revista Técnica PINI 144ª ed., São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/144/juntas-reduzidas-visando-diminuir-a-quantidade-de-juntas-de-128915-1.asp>> Acesso em 08/01/2010.

FILHO, C. V. Mitidieri. **Qualidade e desempenho na construção civil**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) Materiais de Construção Civil e Princípios da Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: IBRACON, 2007. vol.1 cap. 2, p. 37-74.

GASPARETTO et al. **Barras de TRANSFERÊNCIA** Revista Pisos Industriais. 3ª ed., SP, 2003. Disponível em: <<http://www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia.asp?ID=62>>. Acesso em 24/11/2009.

GASPARETTO, Wagner Edson. **Gestão de Projetos – Pisos e Pavimentos de Concreto**. Revista Pisos Industriais. 9ª ed., SP, 2007. Disponível em: <<http://www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia.asp?ID=167>>. Acesso em 24/11/2009.

GASPARETTO, W. E. & RODRIGUES P. P. F. **Juntas em Pisos Industriais**. Disponível em: <[http://www.lmbrasil.com.br/comentarios\\_tecnicos/juntas\\_industriais.html](http://www.lmbrasil.com.br/comentarios_tecnicos/juntas_industriais.html)> Acesso em 03/01/2010.

GOMES, Abdias Magalhães. **Durabilidade, Proteção e Recuperação de Estruturas**. Belo Horizonte: UFMG, 2000. Notas de aula.

HELENE, Paulo. **Concreto de Cimento Portland**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) *Materiais de Construção Civil e Princípios da Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: IBRACON, 2007. vol.2 cap. 27, p. 903-944.

JPR – Produtos e Revestimntos. **Catálogos técnicos de produtos**. Disponível em: <<http://www.grupotpb.com/?link=173>> Acesso em: 22/11/2009.

JÚNIOR, Antônio Neves de Carvalho. **Técnicas de Revestimento**. Belo Horizonte: UFMG, 2000. Notas de aula.

LEAL, Ubiratan. **Adaptados às Necessidades de Cada Piso**. Revista Técnica. PINI, São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/adaptados-as-necessidades-de-cada-piso-80221-1.asp>> Acesso em 08/01/2010.

LEAL, Ubiratan. **Pisos Industriais**. Revista Construção Mercado. PINI 43ª ed., São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://revista.construcaomercado.com.br/negocios-incorporacao-construcao/43/artigo121807-1.asp>> Acesso em 08/01/2010.

LOPES, Elizabeth M.; BARROS, Mércia. M. S. B. **A importância da umidade do substrato no desempenho dos revestimentos de pisos de concreto**. Revista Pisos Industriais, 1ª ed., SP, 2003. Disponível em: <<http://www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia.asp?ID=19>>. Acesso em 24/11/2009.

MATTOS, Maria Luiza. **Pisos industriais de concreto**. Revista Técnica 89ª ed. PINI, São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/pisos-industriais-de-concreto-79647-1.asp>> Acesso em 08/01/2010.

QUINÁLIA, Eliane. **Pisos Industriais**. Revista Construção Mercado. PINI 83ª ed., São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://revista.construcaomercado.com.br/negocios-incorporacao-construcao/83/artigo120782-1.asp>> Acesso em 08/01/2010.

MC – BAUCHEMIE. **Catálogos técnicos de produtos**. Disponível em: <<http://www.mc-bauchemie.com.br>> Acesso em: 22/11/2009.

MEHTA, P. Kumar & MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008. 674p.

MOURA, M. V. & COMINATTO Gustavo. **Preparação de superfície – Parte I**. Revista Pisos Industriais. 2ª ed., SP, 2003. Disponível em: <<http://www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia.asp?ID=42>>. Acesso em 24/11/2009.

NAKAMURA, Juliana. **Diferentes concretos para pisos industriais**. Revista Técnica PINI 144ª ed., São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/145/artigo131689-1.asp>> Acesso em 08/01/2010.

NETO, Batlouni Jorge. **Diretrizes do projeto de estrutura para Garantia do Desempenho e Custo**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. vol. 1 cap. 7, p. 201-231.

NETO, Batlouni Jorge. **Critérios de Projeto para Seleção de Materiais**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) Materiais de Construção Civil e Princípios da Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: IBRACON, 2007. vol.1 cap. 5, p. 120-138.

OLIVEIRA, P. L. **Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto**. São Carlos, 216 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

OLIVEIRA, Paulo S. F. **O mercado de RAD para pisos**. Revista Pisos Industriais, ed. 0, SP, 2003. Disponível em:

<<http://www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia.asp?ID=33>>. Acesso em 24/11/2009.

OLIVEIRA, Paulo S. F. **Uma revisão à questão da abrasão de Revestimento de Alto Desempenho (RAD)**. Revista Pisos Industriais. 1ª ed., SP, 2003. Disponível em: <<http://www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia.asp?ID=20>>. Acesso em 24/11/2009.

OLIVEIRA, Paulo S. F. **Revestimentos de Alto Desempenho RAD para pisos**. Revista Pisos Industriais. 3ª ed., SP, 2003. Disponível em: <<http://www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia.asp?ID=76>>. Acesso em 24/11/2009.

OLIVEIRA, Paulo S. F. **Principais tipos de RAD para pisos**. Revista Pisos Industriais, 4ª ed., SP, 2003. Disponível em: <<http://www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia.asp?ID=83>>. Acesso em 24/11/2009.

OLIVEIRA, Paulo S. F.; TULA, Leonel. **Tratamento anti-pó para pisos de concreto com endurecedores de superfície químicos à base de flúor-silicatos metálicos**. Revista Pisos Industriais, 5ª ed., SP, 2006. Disponível em: <<http://www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia.asp?ID=115>>. Acesso em 22/11/2009.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. Oficina de Textos, 2ª ed., SP, 2002.

PISOS INDUSTRIAIS. **PI – Revista Pisos Industriais**. vol. 0-9, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.pisosindustriais.com.br> >. Acesso em 22 set. 2008.

PITTA, M. R. et al. **Materiais para Pavimento de Concreto Simples**. Associação Brasileira de Cimento Portland. ET 47, São Paulo, 1981.

PITTA, Márcio Rocha. **Construção de pavimentos de concreto simples**. Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, 1989.

PITTA, Márcio Rocha. **Projeto de Sub-bases para Pavimento de Concreto**. Associação Brasileira de Cimento Portland, 5ª ed., São Paulo, 1990.

QUINTA, Marcelo Toledo. **Pisos de concreto com fibras de aço**. Revista Técnica. PINI, São Paulo. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/107/artigo31700-1.asp>> Acesso em 08/01/2010.

REVISTA TÉCNICA. **Piso em movimento**. PINI. São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/piso-em-movimento-80675-1.asp>> Acesso em 08/01/2010.

REVISTA TÉCNICA. **Recuperação no chão**. Ed. PINI. São Paulo. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/154/artigo159921-1.asp>> Acesso em 08/01/2010.

RODRIGUES, P. P. F. & PITTA, M. R. **Pavimento de Concreto**. Revista Ibracon n. 19, SP, 1997.

RODRIGUES, P. P. F. & CASSARO, C. F. **Pisos Industriais de Concreto Armado**. IBTS – Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, 1998.

RODRIGUES, Públis Penna Firme. **Crítérios de Projetos**. Revista Pisos Industriais, SP, 2003.

RODRIGUES, Públis Penna Firme. **Tipos de Pisos Industriais**. Revista Pisos Industriais. 2ª ed., SP, 2003. Disponível em: <<http://www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia.asp?ID=46>>. Acesso em 30/11/2009.

RODRIGUES, P. P. F. et al. **Manual Gerdau de pisos industriais**. Ed. PINI, 1ª ed., São Paulo 2006. 109p.

RODRIGUES, Públío Penna Firme **Projetos e critérios executivos de pavimentos industriais de concreto armado**. ITBS, 2ª ed. São Paulo, 2006. 101p.

RUNKLE CONSULTING, INC. **Measuring Floor Flatness with the "F" Number System**. Disponível em:  
<<http://www.runkleconsulting.com/FloorFlatnessStudies/FloorFlatnessStudies.htm>>  
Acesso em 08/01/2010.

SANTOS, Airton Gustavo et al. **Política Industrial no Brasil: O Que é a Nova Política Industrial**. DIEESE, 2005. 8p.

SAYEGH, Simone. **Opcional de fábrica**. Revista Técnica. PINI, São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/opcional-de-fabrica-80682-1.asp>> Acesso em 08/01/2010.

SEGANTINI, A. A. S. & ALCÂNTARA M. A. M. **Solo-Cimento e Solo-Cal**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) **Materiais de Construção Civil e Princípios da Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. vol. 2 cap. 25, p. 833-861.

SEILER, Horst Paul. **Concreto para pisos industriais**. Boletim técnico da ANAPRE, mar/2009. Disponível em: < <http://eciviluno.files.wordpress.com/2009/04/anapre.pdf>>  
Acesso em 18/01/2010.

SENÇO, Wlastemiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. vol. 1, PINI 2ª ed., São Paulo, 2001. 761p.

SENÇO, Wlastemiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. vol.2, PINI 1ª ed., São Paulo, 2001. 671p.

SENEFONTE, Kleber Basílio & BARROS, Mércia Maria S. Bottura. **Diretrizes de execução e controle da produção de pisos industriais de concreto protendido**. Revista Pisos Industriais. 9ª ed., SP, 2007. Disponível em:  
<<http://www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia.asp?ID=166>> Acesso em 24/11/2009.

SILVA, Maristela Gomes da. **Cimentos Portland com Adições Minerais**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) *Materiais de Construção Civil e Princípios da Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: IBRACON, 2007. vol.1 cap. 23, p. 761-793.

THOMAZ, Erico. **Execução, Controle e Desempenho das Estruturas de Concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. vol. 1 cap. 18, p. 527-581.

YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar**. Ed PINI, 10ª Ed., São Paulo 2009.