

CARLOS HENRIQUE COSTA JARDIM

**QUALIDADE DO PROJETO NA ENGENHARIA RODOVIÁRIA -
APLICAÇÃO NO CASO DE ESTUDOS GEOTÉCNICOS
DESENVOLVIDOS NAS OBRAS DE DUPLICAÇÃO DA RODOVIA
FERNÃO DIAS – BR 381**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Título
de Mestre em Engenharia

CONSULTA
FD-3603

São Paulo
2004

dr

CARLOS HENRIQUE COSTA JARDIM

**QUALIDADE DO PROJETO NA ENGENHARIA RODOVIÁRIA -
APLICAÇÃO NO CASO DE ESTUDOS GEOTÉCNICOS
DESENVOLVIDOS NAS OBRAS DE DUPLICAÇÃO DA RODOVIA
FERNÃO DIAS – BR 381**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Título
de Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Mineral

Orientador:
Prof. Titular
Lineu Azuaga Ayres da Silva

São Paulo
2004



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Relatório de Defesa

Relatório de defesa pública de Dissertação do(a) Senhor(a) Carlos Henrique Costa Jardim no Programa: Engenharia Mineral, do(a) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Aos 6 dias do mês de fevereiro de 2004, realizou-se a Defesa da Dissertação do(a) Senhor(a) Carlos Henrique Costa Jardim, intitulada: "Qualidade do projeto na engenharia rodoviária - aplicação no caso de estudos geotécnicos desenvolvidos nas obras de duplicação da Rodovia Fernão Dias - BR 381" apresentada para obtenção do título de Mestre em Engenharia - Área: Engenharia Mineral. Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passa a palavra aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Nome dos Participantes da Banca	Vínculo do Docente	Síglia da Unidade	Resultado
Lineu Azuaga Ayres da Silva	Presidente	EP	APROVADO
Lindolfo Soares	Titular	EP	APROVADO
Aarão de Andrade Lima	Titular	Docente Externo	APROVADO
Resultado Final: APROVADO			
Parecer da Comissão Julgadora (opcional)			

Eu, Mara Fatima de Jesus Luz Sanches Mara Fatima de Jesus Luz Sanches, Técnico Acadêmico, lavrei a presente ata, que assino juntamente com os(as) Senhores(as). São Paulo, aos 6 dias do mês de fevereiro de 2004.

Lindolfo Soares
Lindolfo Soares

Aarão de Andrade Lima
Aarão de Andrade Lima

Lineu Azuaga Ayres da Silva
Lineu Azuaga Ayres da Silva
Orientador(a)

Obs: Se o candidato for reprovado por algum dos membros, o preenchimento do parecer é obrigatório.
Nos termos do artigo 110, do RG-USP, encaminhe-se o presente relatório à CPG, para homologação.

209 p.

Aos meus pais pelas oportunidades que me deram e pelo caminho que me ensinaram a trilhar, à minha esposa Adriana e meus filhos Vitor e Felipe pela paciência e compreensão.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Adriana e aos meus filhos Vitor e Felipe, pela paciência e compreensão quando da minha ausência para elaboração dos trabalhos.

Ao Prof. Dr. Lineu Azuaga Ayres da Silva pela competente orientação, incentivo permanente e presença constante na resolução dos problemas.

À Concremat Engenharia e Tecnologia S.A. pelo apoio operacional ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

Ao colega de trabalho Cícero Ricardo Calou Xavier pela boa vontade e competência na elaboração dos desenhos.

A todos que direta ou indiretamente, colaboraram na execução deste trabalho.

RESUMO

O trabalho desenvolvido tem como motivação básica a percepção do autor, durante os últimos quinze anos, na variabilidade da qualidade dos projetos de construção de rodovias e a possibilidade de se propor, na presente dissertação de mestrado, diretrizes e métodos que se baseiam em princípios de racionalização e construtibilidade e que poderão contribuir sobremaneira para a uniformização desta qualidade num patamar mais elevado, principalmente com relação ao desenvolvimento de estudos geotécnicos em obras rodoviárias.

Os principais conceitos da qualidade são discutidos e as relações projeto- processo de produção são analisadas, levando à revisão das funções do projeto no empreendimento em um enfoque global.

A racionalização e a construtibilidade são aqui tratados e analisados, enfatizando como eles alteram o processo de projeto e podem aumentar a eficiência da produção.

A metodologia proposta resulta das diretrizes da qualidade, racionalização e construtibilidade, sugerindo mudanças nos tradicionais esquemas de organização de equipes, desenvolvimento e coordenação de projeto para obter a garantia da qualidade do processo, citando-se como estudo de caso, as obras de duplicação da Rodovia Fernão Dias – BR 381.

Conclui-se com o exame das dificuldades em se criar a idealidade nas condições organizacionais e humanas necessárias à implantação de mudanças, principalmente em ambientes conservadores por natureza como o da Engenharia de Construção Rodoviária.

ABSTRACT

This research has as basic motivation the author's feeling, experienced throughout fifteen years, of how much quality in road construction's project might vary, and in the possibility of proposing through this essay, guidelines and methods based upon principles of rationalization and constructability that will greatly contribute in unifying the quality, at a higher level, specially related with the development of geotechnical studies in road construction.

The quality major concepts are discussed and the relation project-production process are analysed what ends in the revision of the project roles in the enterprise having a global focus.

Rationalization and constructability are here discussed and analysed, with emphasis in how they alter the project process and how they can improve production efficiency.

The proposed methodology results from the quality guidelines, rationalization and constructability, where author suggests changes in the team's traditional organizational schemes, project's development and coordination in order to guarantee the process' quality, making reference to the duplication of Fernão Dias Highway BR 381.

This essay is accomplished with an examination of how difficult is to implement ideal organizational and human conditions necessary to make changes, specially in natural conservative environments as Highway Construction Engineering.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS E FOTOS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO	
ABSTRACT	
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Justificativa.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodologia.....	4
1.4 Estruturação do Trabalho.....	5
2 QUALIDADE E PROJETO.....	7
2.1 Implantação de Programas de Qualidade.....	7
2.1.1 A evolução do conceito de qualidade.	7
2.1.2 Os princípios modernos de gestão da qualidade.....	11
2.1.3 Os conceitos de qualidade aplicados à construção de rodovias – área da Engenharia Geotécnica.....	14
2.1.4 A qualidade e os custos na construção civil.....	16

2.2 A Importância do Projeto na Busca da Qualidade.....	21
2.2.1 O projeto e a ocorrência de falhas do produto.....	21
2.2.2 O projeto e o ciclo da qualidade.....	23
2.2.3 Garantia da qualidade e o projeto.....	25
2.2.4 Projeto: um produto ou um serviço?	28
2.3 Considerações Finais Sobre os Temas do Capítulo 2.....	31
3 O PROJETO E O EMPREENDIMENTO DE CONSTRUÇÃO DE RODOVIAS.....	33
3.1 O Setor de Construção de Rodovias no Setor Público e o Projeto.....	33
3.1.1 A situação atual.....	33
3.1.2 A função do projeto.....	35
3.2 Conceituação de Projeto.....	40
3.2.1 O que significa 'projeto'?	40
3.2.2 O significado do projeto no contexto do empreendimento.....	42
3.3 Considerações Finais Sobre os Temas do Capítulo 3.....	48

4 RACIONALIZAÇÃO, CONSTRUTIBILIDADE E O PROJETO GEOTÉCNICO NA IMPLANTAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS RODOVIÁRIOS.....	50
4.1 A Racionalização Construtiva através do Projeto.....	50
4.1.1 O que é a “racionalização construtiva” ?	50
4.1.2 A utilização de ações de racionalização construtiva e o projeto.....	51
4.2 Construtibilidade como Filosofia de Projeto.....	54
4.2.1 Conceito: o que é “construtibilidade” ?	54
4.2.2 A filosofia da construtibilidade e a etapa de projeto.....	56
4.3 Considerações Finais Sobre os Temas do Capítulo 4.....	61
5 ESTUDO DE CASO – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA NOS PROJETOS DE ESTABILIZAÇÃO DOS TALUDES DAS OBRAS DE DUPLICAÇÃO DA BR-381 – RODOVIA FERNÃO DIAS.....	64
5.1 Histórico de Obras de Estabilização de Taludes.....	64
5.2 Histórico e Antecedentes das Obras da Fernão Dias.....	65
5.3 Análises e Métodos de Estabilização de Taludes.....	67
5.3.1 Correlações entre os vários métodos.....	90
5.3.2 Análises Probabilísticas de Estabilidade de Taludes	93

5.4	Sistematização dos processos de estabilização de taludes.....	95
5.5	Comparativo de Custos de Obras.....	100
5.5.1	Hipóteses Preconizadas.....	100
5.5.2	Resultados Obtidos.....	101
5.6	Considerações Finais Sobre os Temas do Capítulo 5.....	106
6	ESTUDO DE CASO – SOLUÇÕES PROJETADAS, CRITÉRIOS E PARÂMETROS DE CÁLCULO.....	107
6.1	Solo Grampeado.....	107
6.2	Cortina Atirantada em Concreto Projetado.....	112
6.2.1	Concepção das Soluções com Ancoragens e Concreto Projetado.....	113
6.2.2	Critérios para as Soluções com Ancoragens e Concreto Projetado.....	114
6.3	Concreto Projetado.....	116
6.4	Tela Vegetal.....	117
6.5	Tela Metálica.....	118
6.6	Chumbadores.....	118
6.6.1	Critérios de Dimensionamento.....	119
6.7	Estudos das Ocorrências.....	120

6.8 Análise Econômica entre as Soluções de Estabilização Projetadas Inicialmente e as Propostas nessa Dissertação.....	144
6.9 Considerações Finais Sobre os Temas do Capítulo 6.....	146
7 ANÁLISE E PROPOSIÇÕES.....	148
7.1 Diretrizes para a Estruturação do Processo de Projeto.....	148
7.1.1 A filosofia da qualidade e o projeto.....	148
7.1.2 Enfoque sistêmico do processo e qualidade do projeto.....	151
7.1.3 Projeto do produto e projeto do processo.....	155
7.1.4 Informações e padronização na elaboração do projeto.....	159
7.1.5 A multidisciplinaridade do processo de projeto de rodovias.....	163
8 CONCLUSÕES.....	165
8.1 Desdobramentos da Implantação da Qualidade de Projeto em Empresas Projetistas, Construtoras e Entidades Empreendedoras.....	165
8.2 Temas para estudo em Qualidade do Projeto de Rodovias.....	169
8.3 Conclusões Finais.....	170
BIBLIOGRAFIA.....	173
ANEXO I – ROTEIRO DE CÁLCULO E PLANILHAS ELETRÔNICAS.....	182

LISTA DE FIGURAS E FOTOS

- Figura 2.1** – As mudanças de mercado levando a nova forma de compor custos e preços (adaptado de Souza, 1992).....20
- Figura 2.2** – Origens dos problemas patológicos das construções (Motteu & Cnudde, 1989).....22
- Figura 2.3** – Ciclo da qualidade segundo Ramos (1992).....23
- Figura 2.4** – Ciclo da qualidade na Construção Civil (Souza et al.,1993).....24
- Figura 2.5** – O ciclo da qualidade na Construção Civil e as relações entre projeto e os demais participantes do ciclo (Melhado, 1993).....27
- Figura 3.1** – Capacidade de influenciar o custo final de um empreendimento ao longo de suas fases (adaptado de Barros & Melhado, 1993).....36
- Figura 3.2** – Avanço do empreendimento em relação à chance de reduzir o custo (Hammarlund & Josephson, 1993).....37
- Figura 3.3** – Gráfico que relaciona o tempo de desenvolvimento de um empreendimento e o custo mensal das atividades (Barros & Melhado, 1993).....37
- Figura 3.4** – Gráfico que relaciona o tempo de desenvolvimento de um empreendimento e o custo mensal das atividades, com maior investimento na fase de projeto (Barros & Melhado, 1993).....39
- Figura 3.5** – Os quatro participantes que atuam em um empreendimento Rodoviário (adaptado de Barros & Violani, 1992a).....43

Figura 3.6 – O ciclo da qualidade em empresas de incorporação e construção (Picchi, 1993).....	46
Figura 4.1 – A utilização da racionalização construtiva em um programa de evolução tecnológica envolvendo a organização do processo de projeto (adaptado de Rosso, 1980).....	53
Figura 4.2 – Ações de implementação da construtibilidade (O'Connor & Tucker, 1986).....	60
Figura 5.1 – Forças atuando em uma fatia típica (Duncan & Wright, 1980).....	69
Figura 5.2 – Diferenças entre as suposições no que diz respeito às forças paralelas nos métodos mais comuns de análise de estabilidade de taludes (Duncan & Wright, 1980).....	70
Figura 5.3 – Polígono de forças para o Método de Bishop Simplificado (Bishop, 1954).....	73
Figura 5.4 – Polígono de forças para o Método de Morgenstern-Price (Morgenstern and Price, 1965).....	74
Figura 5.5 – Polígono de forças para o Método de Spencer (Spencer, 1967).....	75
Figura 5.6 – Suposição do sentido da força resultante entre as lamelas no Método de Lowe-Karafiath (superfície composta de escorregamento) (Lowe, 1967).....	78

Figura 5.7 – Suposição do sentido da força resultante entre as lamelas no Método do Corpo de Engenheiros.....	79
Figura 5.8 – Ábaco para cálculo de estabilidade de taludes homogêneos pelo Método de Taylor (Taylor, apud Guidicini & Nieble, 1976).....	80
Figura 5.9 (a-b) – Ábacos para cálculo de estabilidade de taludes de terra pelo Método Gráfico (Bishop e Morgenstern, apud Guidicini & Nieble, 1976).....	82
Figura 5.9 (c-d) – Ábacos para cálculo de estabilidade de taludes de terra pelo Método Gráfico (Bishop e Morgenstern, apud Guidicini & Nieble, 1976).....	83
Figura 5.9 (e-f) – Ábacos para cálculo de estabilidade de taludes de terra pelo Método Gráfico (Bishop e Morgenstern, apud Guidicini & Nieble, 1976).....	84
Figura 5.10 – Representação das condições de água subterrânea admitidas na análise de ruptura circular para utilização dos ábacos da figura 5.11 (Hoek e Bray, apud Guidicini & Nieble, 1976).....	86
Figura 5.11 (a-b) – Ábacos para cálculo de estabilidade no caso de ruptura circular (Hoek e Bray, apud Guidicini & Nieble, 1976).....	87
Figura 5.11 (c-d) – Ábacos para cálculo de estabilidade no caso de ruptura circular (Hoek e Bray, apud Guidicini & Nieble, 1976).....	88
Figura 5.11 (e) – Ábacos para cálculo de estabilidade no caso de ruptura circular (Hoek e Bray, apud Guidicini & Nieble, 1976).....	89

Figura 5.12 – Comparações entre os fatores de segurança obtidos através de alguns métodos de cálculo (Mitchell & Villet, 1987).....	93
Figura 5.13 – Planejamento de um programa de estabilização de taludes (Hoek e Bray, 1981).....	95
Figura 5.14 – Seções típicas analisadas (Manual Técnico de Encostas/GeoRio, 2000).....	100
Figura 5.15 – Muro em L – Influência da altura na variação dos custos (Manual Técnico de Encostas/GeoRio 2000).....	101
Figura 5.16 – Muro em Concreto Ciclópico – Influência da altura na variação dos custos (Manual Técnico de Encostas/GeoRio 2000).....	102
Figura 5.17 – Comparação de custo entre muros de concreto armado e concreto concreto ciclópico (H=2m) <i>versus</i> distância de transporte (Manual Técnico de Encostas/GeoRio 2000).....	103
Figura 5.18 – Comparação de custo entre muros de concreto armado e concreto concreto ciclópico (H=4m) <i>versus</i> distância de transporte (Manual Técnico de Encostas/GeoRio 2000).....	103
Figura 5.19 – Comparação de custo entre cortina ancorada e solo grampeado (H=4m) <i>versus</i> distância de transporte (Manual Técnico de Encostas/GeoRio 2000).....	104
Figura 5.20 – Comparação de custo entre cortina ancorada e solo grampeado (H=6m) <i>versus</i> distância de transporte (Manual Técnico de Encostas/GeoRio 2000).....	104

Figura 5.21 – Comparação entre soluções de contenção em função da distância de transporte (Manual Técnico de Encostas/GeoRio, 2000)	105
Figura 6.1 – Esquema da massa de solo com superfície de ruptura (Mitchell e Villet, 1987)	110
Figura 6.2 – Diagrama de Pressões (Mitchell e Villet, 1987)	115
Figura 6.3 – Solução em concreto projetado com tela (Mitchell e Villet, 1987)	117
Figura 6.4 – Esquema de fixação de blocos de rocha com tela metálica (Mitchell e Villet, 1987)	118
Figura 6.5 – Mapa de Localização das Ocorrências	121
Figura 6.6 – Croqui frontal do mapeamento entre os km 62,60 e 62,98.....	123
Figura 6.7 – Seções representativas do corte entre os km 62,60 e 62,98.....	124
Figura 6.8 – Vista frontal do talude a ser tratado entre os km 62,60 e 62,98.....	125
Figura 6.9 – Seção típica da solução adotada - segmento com solo grampeado	126
Figura 6.10 – Seção típica da solução adotada - segmento com concreto projetado e tela vegetal	126
Foto 6.1 – Solo residual jovem, com blocos rochosos de até 10m ³ . Notar planos de fraturas no contato solo-rocha e preservados no solo residual	128
Foto 6.2 – Presença de corpo rochoso no talude inferior, condicionado, geometricamente, por fraturas.....	128

Foto 6.3 – Presença de muitos blocos rochosos no talude inferior e erosão acima, no contato solo – rocha	128
Foto 6.4 – Desenvolvimento do corpo rochoso no talude inferior	128
Foto 6.5 – Soluções de estabilização implantadas	130
Foto 6.6 – Soluções de estabilização implantadas	130
Foto 6.7 – Vista frontal do escorregamento ocorrido, com vários blocos destacados do maciço.....	131
Foto 6.8 – Provável afloramento do maciço rochoso no talude inferior, muito Fraturado – escavações incompletas.....	131
Foto 6.9 – Soluções de estabilização implantadas	132
Foto 6.10 – Soluções de estabilização implantadas.....	132
Foto 6.11 – Soluções de estabilização implantadas.....	133
Foto 6.12 – Soluções de estabilização implantadas.....	133
Foto 6.13 – Ocorrência de solo residual jovem de metassedimentos e o contato com o aterro sobreposto	134
Foto 6.14 – Região do contato entre o corpo ígneo e os metassedimentos pré- existentes – zona de escorregamentos e erosões	134
Foto 6.15 – Segmento onde ocorreu um escorregamento no talude inferior e a proteção com reaterro provisório.....	135

Foto 6.16 – Soluções de estabilização implantadas	135
Foto 6.17 – Soluções de estabilização implantadas	136
Foto 6.18 – Soluções de estabilização implantadas	136
Foto 6.19 – Ocorrências de blocos de rocha imersos em solo residual jovem.....	137
Foto 6.20 – Delimitação do provável topo rochoso, com surgimento de erosões no talude superior.....	137
Foto 6.21 – Zona de transição solo – rocha com reaterro executado para contenção provisória dos escorregamentos.....	138
Foto 6.22 – Soluções de estabilização implantadas	138
Foto 6.23 – Soluções de estabilização implantadas	138
Foto 6.24 – Vista geral do corte, mostrando o escorregamento ocorrido no talude médio	139
Foto 6.25 – Intenso ravinamento no talude inferior, bloco residual no talude inferior e projetado no superior.....	139
Foto 6.26 – Presença de grande bloco residual de granodiorito na região de contato com os metassedimentos	140
Foto 6.27 – Soluções de estabilização implantadas	140
Foto 6.28 – Soluções de estabilização implantadas	141

Foto 6.29 – Soluções de estabilização implantadas.....	141
Foto 6.30 – Ocorrência de grandes blocos de rocha com decomposição química esferoidal em solo residual jovem	142
Foto 6.31 – Afloramento do maciço rochoso e a transição entre rocha sã e rocha alterada muito fraturada.....	142
Foto 6.32 – Afloramento do maciço rochoso e a transição entre rocha sã e rocha alterada muito fraturada.....	143
Foto 6.33 – Soluções de estabilização implantadas.....	143
Foto 6.34 – Soluções de estabilização implantadas.....	143
Gráfico 6.1 – Custos comparativos, por trecho, entre as soluções propostas pelo empreendedor e as soluções propostas nesse trabalho.....	145
Gráfico 6.2 – Custos comparativos finais globais	146
Figura 7.1 – O subsistema projeto (adaptado de Handler, 1970)	153
Figura 7.2 – Projeto do produto e projeto da produção, orientados pelo plano da qualidade implantado pelo empreendedor	158
Figura 7.3 – Proposta do banco de tecnologia como ligação entre etapas de projeto e execução e parte do processo de desenvolvimento tecnológico das projetistas e empreendedores.....	160

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Desperdício estimado, expresso em percentagem do custo da obras (Picchi, 1993)	18
Tabela 2.2 – Distribuição dos custos de falhas da qualidade na Suécia, internas e externas (Hammarlund e Josephson, 1992).....	22
Tabela 4.1 – Resumo comparado dos elementos conceituais envolvidos na adoção de diretrizes de racionalização construtiva com implantação de novas tecnologias e na filosofia da construtibilidade	63
Tabela 5.1 – Condições de satisfação do equilíbrio limite estático por vários métodos das lamelas (Mitchell e Villet, 1987).....	91
Tabela 5.2 – Suposições em cada um dos métodos para atender as análises determinadas (Mitchell e Villet, 1987)	92
Tabela 5.3 – Indicação de providências saneadoras dos escorregamentos, expostas ordenadamente segundo as causas preparatórias e imediatas principais e os modos de ação segundo os quais atuam (modificada de Freire, apud Guidicini e Nieble, 1976)	97
Tabela 5.4 – Principais Métodos de Estabilização de Taludes (Kanji, 1997)	99
Tabela 6.1 – Considerações básicas de diferentes Métodos de Cálculo (apud Juran, 1990).....	109

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

Como a grande maioria dos empreendimentos públicos implantados no país, a duplicação da BR 381 também sofreu com a falta de planejamento e a carência de estudos, projetos e investigações adequadas.

Analisando o comportamento empresarial na Construção Civil em geral, Rocha Lima (1993) afirma que a operação de construir até um passado recente foi tratada como um processo de “franca especulação” onde era comum “fazer preço antes de conhecer os custos”, sem estímulo à busca de ganhos quanto à qualidade.

Hoje, pode-se afirmar que nenhuma outra temática é tão atual, seja nos meios empresariais ou acadêmicos, quanto esta da qualidade, inserida em forte crítica ao desempenho do setor; a mídia como um todo e as publicações especializadas têm dado destaque às deficiências da indústria da construção, apesar dos vários programas de qualidade implantados, chamando a atenção principalmente para o desperdício de materiais e de mão de obra. A revista Construção publicou resultados de uma pesquisa realizada em 30 canteiros de obras de 5 estados brasileiros, revelando um índice de ociosidade da mão-de-obra correspondente a 35% da duração da jornada de trabalho (César, 1993).

Nessa óptica, pode-se perceber claramente o quanto as ações que envolvem a melhoria da qualidade na construção de estradas significam para o desenvolvimento da economia nacional, representando melhor utilização de recursos, levando a melhores produtos, a maior produção e permitindo também a geração de mais empregos.

Sabe-se atualmente que a qualidade não é apenas resultado de cuidados relativos aos insumos utilizados no processo de produção, envolvendo materiais, mão-de-obra e controle de serviços contratados. Quando a atividade de projeto é pouco valorizada,

os projetos são entregues à obra repletos de erros e de lacunas, levando a grandes perdas de eficiência nas atividades de execução, bem como ao prejuízo de determinadas características do produto que foram idealizadas antes da sua execução. Isso pôde ser comprovado nas obras de duplicação da Rodovia Fernão Dias e mais recentemente nas obras de implantação do Rodoanel Mário Covas, dos Corredores e Terminais de Ônibus da cidade de São Paulo e do “Paulistão – VLP (Veículo Leve sobre Pneus)” pelo grande número de problemas de cunho geotécnico atribuídos a falhas de projeto.

Pode-se, portanto, afirmar que “na implementação de sistemas de garantia de qualidade na construção de rodovias, é de importância fundamental o fluxo de informações entre o *projeto* e *execução*, onde é necessário alcançar uma integração organizacional e tecnológica entre as duas atividades, entre o que se concebeu e o que virá a se tornar realidade” (Melhado & Violani, 1992b)

O projeto deveria ser capaz de subsidiar as atividades de produção em canteiro com informações de alto nível e que poderiam ser igualmente geradas no ambiente de obra; a partir de um bom projeto, tornar-se-ia possível elaborar um planejamento e uma programação eficientes, assim como um programa efetivo de controle da qualidade para materiais e execução.

Também a tecnologia construtiva deveria estar detalhadamente definida na etapa de projeto; pois nessa etapa precisa-se ser capaz de formular alternativas, estudá-las e propor técnicas de construção racionalizadas, dentro de um processo de criação e otimização que objetiva *antecipar no papel o ato de construir*. Qualquer esforço dispensado durante o projeto repercute em ganhos sensíveis e possui custos reduzidos quando comparados aos que advêm das modificações feitas posteriormente, durante a execução, pois as modificações feitas “no papel” são mais simples de serem efetuadas.

Com efeito, o projeto passaria a participar do processo de evolução tecnológica, inclusive quanto ao registro das soluções dadas aos problemas enfrentados em seu

desenvolvimento (“as built”), possibilitando criar uma *memória da tecnologia*, somada aos arquivos das empresas ao final de um empreendimento.

Da eficiência na elaboração do projeto depende a qualidade do produto resultante, justificando-se, portanto a adoção de procedimentos metodologicamente estabelecidos que visem orientar simultânea e conjuntamente os vários profissionais e estabelecer um fluxo adequado de informações entre eles, além de conduzir as decisões a serem tomadas nesta fase do empreendimento.

Ao definir o tema e o enfoque dentro do mesmo, tratamos um estudo de caso com as obras de duplicação da Rodovia Fernão Dias onde a *carência de estudos e investigações* trouxeram para execução uma obra com inúmeros problemas. Observa-se claramente, e é demonstrado nessa dissertação, que o trato de tais problemas como foi realizado, é típico nas grandes obras, principalmente no trato de problemas relacionados a taludes escavados em solos e rochas, ou à geotecnia em muitos casos, o que conduz a resultados que, se não catastróficos, implicam em acréscimos de custos e extensão demasiada dos prazos de execução do empreendimento.

1.2 Objetivos

Partindo da premissa de que *para as instituições federais, estaduais ou mesmo municipais, concessionárias e empresas do setor de construção de rodovias evoluírem e alcançarem maiores índices de competitividade e eficiência tecnológica deve haver uma reorganização de modo que a elaboração de projetos seja parte de um conjunto de atividades de produção, obedecendo a procedimentos de garantia da qualidade*, definiu-se como objetivo para o desenvolvimento deste trabalho *resgatar, propor e discutir a implantação de uma nova metodologia para o desenvolvimento de projetos de rodovias, explicitando estudos de casos de soluções de problemas de cunho geotécnico, cujo campo de pesquisa e desenvolvimento foram as obras de Duplicação da Rodovia Fernão Dias – BR 381.*

Para alcançar o objetivo final acima, deve-se passar ainda pelo atendimento aos

seguintes *objetivos parciais*:

- discutir o *conceito de projeto* e analisar sua participação na implantação do empreendimento, utilizando como referência o campo de construção de rodovias;
- avaliar a *contribuição* potencial da organização do processo de projeto *para a qualidade* na construção de estradas, bem como os fatores envolvidos na obtenção da mesma;
- colocar de modo sistemático, segundo vários autores, as *várias metodologias de cálculos de estabilidade de taludes, suas ponderações e restrições e os métodos e alternativas para estabilização*. Ainda dentro desse espectro mostrar, com estudos de casos, *como a falta de um projeto detalhado* pode interferir substancialmente nos custos e prazos de entrega, comparando estudos e soluções estudadas;
- propor de modo sistematizado, a partir de experiências vivenciadas pelo autor, um conjunto de *diretrizes e métodos* voltados à elaboração e controle do projeto, que contribuam para a qualidade do produto final “rodovia”.

1.3 Metodologia

A revisão bibliográfica dentro dos temas *qualidade, construção de rodovias, estudos de estabilidades de taludes, métodos para estabilização, desenvolvimento tecnológico e projeto* foi um dos principais elementos de apoio na elaboração deste trabalho. Dada ainda a complexidade e grande amplitude do tema e levando-se em conta, apesar dos muitos “programas de qualidade” implantados ou em fases de implantação nas empresas envolvidas com projetos e execução de obras rodoviárias, mostrou-se fundamental auxiliar a estruturação da dissertação a partir dos dados vividos pelo autor e colhidos em empresas e instituições com atividades voltadas para o tema. Uma grande preocupação a ser aqui retratada é a situação das

instituições públicas quanto à implantação do seu próprio *programa de qualidade*.

Portanto, parte-se da análise conceitual a partir de uma extensa revisão crítica das fontes bibliográficas consultadas e utilizam-se os dados de empresas de projeto, construção e concessionárias de rodovias atuantes no Estado de São Paulo para embasar as propostas que se seguem, fundamentadas em preceitos de garantia da qualidade aplicados à elaboração e controle de projetos de estradas.

1.4 Estruturação do Trabalho

Após esta Introdução, no segundo capítulo, são tratados dois dos três temas centrais: *Qualidade e Projeto*, sendo estabelecida a relação entre eles, no caminho da evolução do setor de construção de rodovias.

No terceiro capítulo analisa-se as características do *empreendimento* de construção de rodovias e avalia-se o contexto atual de mercado, com suas implicações para o tema central do trabalho. Em adição a esta análise, também é discutido o *conceito de projeto*.

O quarto capítulo trata da importância do *projeto* para a evolução tecnológica, estabelecendo-se a racionalização construtiva através das *fases de projeto* e a *construtibilidade* como *filosofia de projeto*.

O quinto capítulo mostra as experiências de implantação de um empreendimento público com deficiências de projeto, explicitando aquelas relacionadas às escavações de taludes de corte em solos e rochas, bem como as várias metodologias de cálculo de estabilidade de taludes.

O sexto capítulo trata das técnicas mais usuais para estabilização com os critérios e parâmetros utilizados, traçando-se um paralelo de desempenho de custos para implantação das obras projetadas.

Seqüencialmente, o sétimo capítulo traça as diretrizes para estruturação do *processo de projeto* e propõe uma *metodologia de desenvolvimento e coordenação de projetos* e a possibilidade de implantação da proposta em empresas ligadas ao setor de transportes.

Por último, concluímos com os desdobramentos da implantação da *qualidade de projeto* nas empresas do meio rodoviário, com as recomendações para a formação dos profissionais para atuação no campo da engenharia rodoviária e os temas para estudos futuros em *qualidade do projeto de rodovias*.

2 QUALIDADE E PROJETO

Serão tratados, neste segundo capítulo, dois importantes temas deste trabalho:

- *Qualidade*, tomando como ponto de partida um contexto internacional, analisando os conceitos que se propagaram nas empresas de construção como um todo e o transporte de tal conceituação para o setor rodoviário,
- e *Projeto*, considerado aqui como uma das atividades que compõem o conjunto daquelas necessárias a qualquer processo de construção.

A relação entre eles, na busca de caminhos para a evolução do setor de construção de rodovias, será discutida também nesta parte da dissertação.

2.1 Implantação de Programas da Qualidade

2.1.1 A evolução do conceito de qualidade

“A globalização da economia colocou a competitividade e a qualidade na ordem do dia. As idéias relacionadas à qualidade transcenderam os limites das empresas industriais e permeiam atualmente quase todas as atividades humanas. Vive-se hoje a eminência de uma terceira onda da qualidade. A primeira surgiu ligada ainda ao modelo taylorista-fordista de produção e consumo em massa. O foco era no controle do produto final e o nome usual *controle da qualidade*. A segunda onda surgiu no Japão após a Segunda Grande Guerra, associada aos sistemas de produção flexíveis. O foco deslocou-se para o processo e a otimização global do sistema produtivo” (Wood Jr., 1993).

A preocupação com a qualidade no meio industrial tem estado presente há várias décadas. Inicialmente, a partir da necessidade de manter os padrões de atendimento às especificações de produtos seriados, desenvolveram-se mecanismos de controle, como forma de minimização de incertezas no processo e para reduzir a possibilidade

de colocação de produtos defeituosos no mercado.

Posteriormente, a noção de qualidade evoluiu e “controle da qualidade” passou a ser a denominação dada a “técnicas e atividades operacionais usadas para satisfazer às necessidades especificadas da qualidade” (Juran & Gryna, 1991), ficando a denominação “qualidade” reservada para o aspecto mais abrangente da questão.

É sabido que um grande impulso à qualidade industrial veio com a adoção de padrões mais rígidos de exigência por parte dos países desenvolvidos, preocupados em regular as relações entre fornecedores e clientes dentro de mercados internacionais, surgindo o conjunto de normas ISO 9000 especificamente devido à constituição da *Comunidade Européia*, completada em 1993.

Assim, qualidade é definida na atualidade como “a totalidade das propriedades e características de um produto ou serviço que lhe conferem capacidade de satisfazer necessidades explícitas ou implícitas” (ISO, 1986). Esta definição exige que tais necessidades sejam especificadas e, dependendo do enfoque poderá aproximar-se da idéia de *desempenho*, ou comportamento em uso, não se dispensando a existência de normas e padrões mínimos que orientem o processo que vai gerar o produto ou o serviço em questão.

Segundo afirma Figueiredo (1993), ao comentar a necessidade crescente de integração econômica entre os países, “a ISO (International Organization for Standardization) antecipou-se na elaboração de normas de gerenciamento e garantia de qualidade” e, aprovada a série ISO 9000 “iniciou-se um grande movimento, considerado hoje um marco histórico no comércio interno e externo das economias desenvolvidas e em desenvolvimento”. O mesmo autor comenta que um levantamento efetuado pela ISO constatou que estas normas estão em aplicação em vários países do mundo globalizado, como base para a gestão da qualidade interna e avaliação das empresas fornecedoras.

Um dos benefícios indiretos da implantação de sistemas da qualidade - que

frequentemente motiva uma empresa a adotar normas de garantia da qualidade - está no âmbito comercial, pois obter certificação segundo as normas ISO equivale a demonstrar aos clientes que seu sistema da qualidade está de acordo com padrões internacionais e, portanto, permite melhorar sua posição dentro do mercado¹.

A respeito da evolução das políticas da qualidade, Bobroff (1991) resume as mudanças ocorridas recentemente: “após uma primeira fase, dedicada à inspeção, com controles de conformidade, em um enfoque ‘a posteriori’, a administração da qualidade descartou o controle de processo para prevenir falhas. A autora analisa o salto ocorrido com a introdução de conceitos como a análise de valor e da certificação dos fornecedores, levando a um enfoque da qualidade “a priori”, mais global: a *garantia da qualidade*. A mais recente fase é a da *qualidade total*, que inclui um enfoque organizacional e enfatiza a política de recursos humanos e o relacionamento intra e inter-empresas, segundo Bobroff.

Merli (1993) apresenta as mudanças no enfoque dado à qualidade na *indústria japonesa*, em que as contribuições da inspeção e do controle do processo para a qualidade foram sendo gradativamente substituídas pela introdução de características superiores do produto, desde a etapa de projeto.

¹ A série ISO 9000 básica compreende cinco normas, cujo conteúdo é o seguinte:

- ISO 9000 - contém diretrizes para seleção e uso, estabelecendo os conceitos da qualidade e esclarecendo as diferenças entre as demais normas, que apresentam vários níveis de abrangência;
- ISO 9001 - aplicável desde o projeto até a assistência técnica, é a mais abrangente de todas;
- ISO 9002- diz respeito apenas à produção ou instalação;
- ISO 9003- relativa à inspeção e ensaios, é a mais reduzida das normas;
- ISO 9004 - oferece um guia para o desenvolvimento de sistemas da qualidade em empresas.

Para obter certificação segundo a ISO 9000, a empresa é submetida a um processo de auditoria, que verificará sua conformidade com os procedimentos e demais requisitos estabelecidos pela(s) norma(s) correspondente(s), que pode ser realizada apenas por organismos credenciados.

Todos os autores reconhecem que a conceituação de que “obter qualidade depende de controles estabelecidos” foi perdendo espaço para a consideração da influência dos fatores de caráter humano e organizacional - um campo onde *o projeto* pode dar uma importante contribuição.

Na opinião de Wood Jr (1993), o período mais recente citado por Bobroff fez parte da *segunda onda* da qualidade, quando houve na verdade uma intensificação do enfoque de *processo*, através do reforço da noção de qualidade total que acabou trazendo a visão das ciências sociais contemporâneas e dos sistemas interativos em que ocorrem mudanças incrementais. Este autor prevê a *terceira onda da qualidade*, que “admitiria a instabilidade dinâmica e mudanças descontínuas”, alternando períodos de caos e de evolução. De qualquer forma, sem dúvida os conceitos continuarão a evoluir.

Em termos recentes, não se pode deixar de citar ainda o advento da *reengenharia* - um enfoque que envolve mudanças radicais na estruturação das empresas. A reengenharia (*business process re-engineering*) requer pessoal com qualificação generalista e flexível, consistindo em um conjunto de alterações organizacionais que passam pela remoção de níveis intermediários de gerência, subdivisão das empresas em várias “mini-empresas” interligadas, além da criação de equipes inter-funcionais para resolver conjuntamente questões que afetam diversos setores da empresa, dentre outras ações.

Plonski (1993) define a reengenharia como a mudança radical dos processos empresariais, com a finalidade de obter resultados expressivos de melhoria de desempenho, medido através de *custo, qualidade, atendimento e velocidade*; esse autor afirma que a reengenharia nada mais faz do que utilizar a *engenhosidade* para reconfigurar a empresa.

Segundo um artigo do periódico *The Economist* (Re-engineering ,1994) “há toda chance de que a reengenharia não seja apenas mais uma teoria de gerenciamento da moda”, apesar de que muitas empresas européias empregam o termo como um

eufemismo que abriga seus programas de redução de quadros de funcionários. Sendo recente - segundo o mesmo artigo, o termo teria sido conceituado pela primeira vez em 1993 - ainda não se tem o mesmo nível de retorno prático a respeito da sua aplicação, como ocorre com a filosofia da qualidade total.

Dentro do contexto deste trabalho, voltado a empresas ligadas ao meio rodoviário, passa-se então a aprofundar de forma mais específica as questões ligadas à implantação de *programas da qualidade*.

2.1.2 Os princípios modernos de gestão da qualidade

De acordo com Sjøholt (2000), durante a década de 80 a certificação da qualidade esteve centrada na satisfação do cliente tendo passado pelo enfoque na segurança, saúde e meio ambiente no início dos anos 90; para por fim, ao final do século 20, despertar o interesse em amalgamar os diferentes aspectos inerentes aos sistemas de gestão.

Após essa evolução e incorporando princípios modernos de gestão da qualidade a NBR ISO 9000:2000 (ABNT 2000a) define assim sistema de gestão da qualidade (item 2.11 do texto da norma):

“Sistema de gestão da qualidade representa a parte do sistema de gestão da organização cujo enfoque é alcançar resultados em relação aos objetivos da qualidade para satisfazer as necessidades expectativas e requisitos das partes interessadas conforme apropriado Os objetivos na qualidade complementam outros objetivos da organização tais como os relacionados ao crescimento, captação de recursos humanos, lucratividade, meio ambiente, segurança e saúde ocupacional. As várias partes de um sistema de gestão da organização podem ser integradas, juntamente com o sistema de gestão da qualidade, dentro de um sistema de gestão único utilizando-se elementos comuns”.

Os princípios da gestão da qualidade que se consolidaram na última fase de evolução

da gestão na qualidade, a chamada “qualidade total”, foram incorporados ao texto da versão para o ano 2000 da série ISO 9000. São eles (ABNT 2000a): Foco no cliente; Liderança; Envolvimento de pessoas; Abordagem de processo; Abordagem sistêmica para a gestão; Melhoria contínua; Abordagem factual para tomada de decisões; Benefícios mútuos nas relações com os fornecedores.

Foco no cliente: organizações dependem de seus clientes e, portanto convém que entendam as necessidades atuais e futuras do cliente, atendam aos requisitos e procurem exceder as suas expectativas;

Liderança: líderes estabelecem a unidade de propósitos e o rumo da organização; convém que eles criem e mantenham um ambiente interno no qual as pessoas possam estar totalmente envolvidas no propósito de atingir os objetivos da organização;

Envolvimento de pessoas: pessoas de todos os níveis são a essência de uma organização e seu total envolvimento possibilita que as suas habilidades sejam usadas para o benefício da organização;

Abordagem de processo: um resultado desejado é alcançado mais facilmente quando as atividades e os recursos relacionados são gerenciados como um processo;

Abordagem sistêmica para a gestão: identificar, entender e gerenciar os processos inter-relacionados como um sistema contribui para a eficácia e a eficiência da organização no sentido desta alcançar seus objetivos;

Melhoria contínua: convém que a melhoria contínua do desempenho global da organização seja seu objetivo permanente;

Abordagem factual para tomada de decisões: decisões eficazes são baseadas na análise de dados e informações;

Benefícios mútuos nas relações com os fornecedores: uma organização e seus

fornecedores são interdependentes e uma relação de benefícios mútuos aumenta a capacidade de ambos em agregar valor.

O uso com sucesso dos oito princípios pode propiciar, segundo a norma, melhoria no retorno financeiro, criação de valor e aumento de estabilidade.

Especificamente para o caso da Construção Civil, Sjøholt destaca também que um dos objetivos do setor, face à nova versão da “família 9000” da ISO, seria preconizar suas aplicações no processo como um todo, paralelamente à sua inserção na esfera de cada agente envolvido no empreendimento. Analisando-se o desenvolvimento de um empreendimento observa-se muitas vezes uma incipiente integração entre o sistema certificado exibido por um agente dele participante e as reais necessidades criadas por essa participação; enfim, falta um direcionamento claro dos sistemas de gestão da qualidade aos objetivos de cada configuração, cada cliente, cada conjunto de pontos críticos específicos de cada empreendimento. Apesar da importância dos planos da qualidade para o processo do empreendimento na construção civil Sjøholt ressalta que o conceito e suas aplicações ainda não foram aprendidos pelos empreendedores.

Melhado (1998) aponta que o sistema da qualidade do empreendimento não resulta da sobreposição entre os eventuais sistemas da qualidade existentes nas empresas participantes. O estabelecimento de relações temporárias entre os principais agentes demanda a implementação de modelos integrados para a gestão do empreendimento a fim de reduzir a dispersão e eliminar parte das barreiras para decisões futuras, postura que exige, em contrapartida, um tratamento adequado das interfaces entre os agentes envolvidos no processo de produção dos empreendimentos. Quando se menciona o sistema de gestão da qualidade dos agentes componentes em um empreendimento, nota-se que há uma preocupação da empresa direcionada à sua organização interna e com os seus clientes diretos. Contudo ao utilizar-se o empreendimento como referência, a situação se modifica surgindo deficiências nas interfaces.

O principal ponto se refere à origem histórica dos conceitos refletidos no texto das

normas, onde a relação entre organização e cliente, ou organização e fornecedores é biunívoca e centrada na primeira, os processos e as atividades de produção são repetitivos, a demanda pode ser analisada mais detalhadamente e os custos de desenvolvimento e de gestão são distribuídos ao longo do período de produção.

A produção, na construção civil, não tem a mesma lógica de processo das indústrias de produtos seriados, pois a primeira possui uma sucessão de fases caracterizadas por terem coordenações distintas; múltiplos relacionamentos entre os agentes; grande dispersão de responsabilidades e baixo grau de integração entre esses agentes.

Como explicitação dessas características, falaremos a seguir da relação entre a qualidade e os custos na construção civil, de um modo geral.

2.1.3 Os conceitos de qualidade aplicados à construção de rodovias – área da Engenharia Geotécnica

Inserida no contexto de implantação de um empreendimento rodoviário, a engenharia geotécnica se destaca pela característica de envolver-se com os maciços do terreno “in natura”, com todas as variabilidades que estes maciços apresentam, graças à sua evolução ao longo do tempo geológico.

Contrariamente à imensa maioria das atividades produtivas industriais, mesmo à grande maioria daquelas relacionadas à construção civil, a área produtiva da engenharia geotécnica desenvolve-se sobre um material preexistente não escolhido, e inclusive não passível de perfeita investigação. Por mais que sejam executadas investigações geotécnicas, mapeamentos de superfície e amostragens de boa qualidade, sempre há possibilidades de “surpresas geológicas”, de comportamentos não totalmente previstos e de variabilidades não totalmente mensuráveis “a priori”. (Alonso, 1990 apud Fundações: teoria e prática).

Dessa forma, a engenharia geotécnica depara-se sempre com riscos muito mais elevados de enfrentar condições desconhecidas ou inesperadas do que todas as outras

áreas da construção civil, como será demonstrado no “Estudo de Caso” desta Dissertação, presente nos Capítulos 5 e 6 mais adiantes. E, na grande maioria dos estudos geotécnicos aplicados a obras viárias, a complexidade dos “sítios” geológicos não recebe a atenção devida.

Quando da abertura de uma rodovia e da implantação de seus taludes de cortes mais especificamente, com ou sem estruturas de contenção, trabalha-se com um binômio “conhecido x desconhecido”, isto é, a estrutura de contenção ou mesmo o ângulo da face do corte enquanto elemento “estrutural” perante o maciço terroso ou rochoso ‘in situ’. Para o projetista procura-se conhecer o melhor possível este maciço e, através de investigações de campo e laboratório, caracterizar suas propriedades, prever seus comportamentos, especialmente na interação com o elemento estrutural a ser implantado ou o ângulo de corte deste maciço.

Velloso (1990) afirma que “não sendo possível controlar as propriedades do maciço ‘in situ, como num outro processo produtivo se controlam as propriedades das matérias-primas, na engenharia geotécnica procura-se investigar estas propriedades para conhecê-las tanto quanto possível dentro das limitações impostas pela disponibilidade de recursos que seja possível – ou razoável – aplicarem tais investigações”. A partir daí, é elaborado o projeto, adequando as estruturas de contenções ou os ângulos de faces dos taludes a cada tipo de terreno e exigências específicas, inclusive escolhendo o tipo mais adequado e dimensionamento de elementos. Como o conhecimento do terreno é sempre limitado, durante as execuções das estruturas de contenções e/ou dos cortes dos taludes a serem implantados, são procedidas adequações e correções. Esses procedimentos serão demonstrados no Estudo de Caso dos Capítulos 5 e 6.

Do ponto de vista gerencial, a qualidade dos projetos e obras de contenção devem obedecer aos mesmos conceitos discorridos nos itens 2.1.1 e 2.1.2 anteriores, que considera a própria *qualidade*, em sua essência, uma forma de gerência, uma vez que a organização para a qualidade é a questão fundamental para o sucesso ou não da implantação de um sistema ou programa de qualidade.

Segundo Wolle e Hachich (1998) (apud Fundações: teoria e prática), os aspectos envolvidos na implantação de um programa de qualidade dizem respeito à documentação e formalização de procedimentos, qualificação de fornecedores, implantação e verificação de ações e, acima de tudo, do treinamento, capacitação, envolvimento e motivação dos recursos humanos.

2.1.4 A qualidade e os custos na construção civil

Picchi (1992), reportando-se ao sistema da qualidade de uma grande empresa, o modelo apresentado pela ISO 9004 pode ser adaptado à Construção Civil, abrangendo seis itens de exigência:

- 1 Projeto
- 2 Suprimento de Materiais
- 3 Execução
- 4 Uso e Manutenção
- 5 Recursos Humanos
- 6 Organização

Como exposto pelo mesmo autor, a preocupação com a qualidade a partir do projeto é grande e justificável, pois o mesmo “é indicado em todas as pesquisas como o grande vilão da qualidade na construção”.

Utilizando as palavras de Juran e Gryna (1991), *qualidade* “tem múltiplos significados”, ou seja, em seu uso corriqueiro pode ser interpretada de forma subjetiva, porém, na acepção mais pura deve estar associada ao julgamento de alguém, que exprime se determinada coisa atende a requisitos estabelecidos.

Segundo esses autores, são dois os significados principais que podem ser-lhe atribuídos:

- 1 “A qualidade consiste nas características do produto que vão ao encontro das necessidades dos clientes e dessa forma proporcionam a satisfação em relação ao produto.”
- 2 “A qualidade é a ausência de falhas.”

É importante destacar aqui a existência de *clientes*, isto é, não se define qualidade sem considerar a existência de um cliente para o produto analisado.

Nas empresas de projetos rodoviários e de construção, a motivação pela implantação de um sistema de qualidade deve estar vinculada à redução de custos finais dos produtos, já que hoje a consciência é de que se deve buscar maior competitividade e que as perdas no processo de produção, os custos de retrabalho e correções pós-entrega da obra são significativos, *embora nem sempre conhecidos*.

Dentro do espectro relativo ao *desperdício* e outros custos provenientes da chamada “não-qualidade”, Picchi (1993) estima que 30% do custo total da obra possa estar sendo “desperdiçado” no Brasil. O índice em si é evidentemente de difícil comprovação, mas é interessante analisar como esse está composto, segundo o autor (ver tabela 2.1).

Para Picchi, 6% do custo total da obra refere-se a “projetos não otimizados”. Mas, pode-se inferir que dentro de uma visão mais ampla vários outros itens apresentados como geradores de desperdício também estão ligados ao projeto - tais como a geração de entulho, a perda de produtividade e a efetuação de reparos, que muitas vezes são resultantes de especificações adotadas no projeto. Assim, a parcela do custo da obra que poderia ser reduzida a partir de um incremento significativo da qualidade do projeto deve ser maior que aqueles 6% apresentados, o que evidentemente só poderá ser precisado através de uma extensiva apropriação de dados em todo o processo.

Franchi et al. (1998) apresentam conclusões baseadas em um estudo sobre desperdício em empresas de pequeno porte, em que se comprovou que, considerando-se somente as perdas relativas ao emprego de aço, concreto pré-misturado, argamassa e tijolos ou blocos de alvenaria, o desperdício de materiais é da ordem de 5 a 11 % do custo dos empreendimentos.

Tabela 2.1 Desperdício estimado, expresso em percentagem do custo da obra (Picchi, 1993)

ORIGENS DO DESPERDÍCIO	DESPERDÍCIO ESTIMADO (% sobre o custo da obra)
Entulho gerado	5,0
Espessuras adicionais de argamassa	5,0
Dosagens de argamassa e concreto não otimizadas	2,0
Reparos e resserviços não computados no entulho	2,0
<i>Projetos não otimizados</i>	6,0
Perdas de produtividade devidas a problemas de qualidade	3,5
Custos devidos a atrasos	1,5
Reparos em obras entregues a clientes	5,0
TOTAL	30,0

Esses últimos autores observam que “existe uma grande parcela de perda que é causada por problemas relacionados ao projeto, tais como: modificações no transcorrer do processo construtivo, falta de consulta ou de cumprimento às especificações e de detalhamento insuficiente de projeto, bem como de coordenação entre os diferentes projetos”.

Num enfoque de caráter global, pode-se ensejar que a partir de uma mudança de base tecnológica, permitindo alcançar patamares mais elevados da qualidade de todo o processo - em que o *projeto pode ter importante participação* - os custos podem ser significativamente reduzidos em comparação aos verificados na tradicional

implantação de empreendimentos rodoviários.

Hammarlund & Josephson (1992) definem uma proporção relativa entre os custos de *prevenção e avaliação* e os custos de *falhas* envolvidos no processo de construção, em que os primeiros são entendidos como investimentos no combate às despesas com os outros. Conseqüentemente, em nenhum caso poder-se-ia almejar um índice nulo de desperdício com a implantação de sistemas da qualidade, nem seria o objetivo em um sistema industrial qualquer, ou de um sistema com menor nível de evolução como é o setor de construção de rodovias.

Porém, há que se determinar as principais origens de desperdícios para subsidiar a estratégia do programa da qualidade na empresa, equilibrando o *investimento* em qualidade e o *resultado* econômico em redução de custos, sendo o *projeto* um dos itens de maior potencial nesse sentido.

O Jornal do Confea (1993) apontou como razões do desperdício no setor da Construção Civil (Desperdício..., 1993):

- baixa qualidade e produtividade global do processo, envolvendo os vários agentes da cadeia produtiva e as várias etapas do processo de produção (licitação, contratação, planejamento, projeto, fabricação de materiais, distribuição e revenda, gerenciamento e execução de obras, operação e manutenção);
- desperdício de materiais, retrabalho e tempos ociosos de mão-de-obra e equipamentos, como decorrência da baixa produtividade global do processo e falta de articulação da cadeia produtiva;
- pouca participação das empresas no papel duplo de cliente e fornecedor e do consumidor na exigência de qualidade dos produtos.

Souza (1992) ilustra de modo simbólico uma nova situação na Construção Civil, estabelecendo uma comparação entre dois diferentes modos de composição entre

custos e preços, determinando o lucro da empresa dentro do mercado, conforme se vê na figura 2.1.

Algumas empresas construtoras assumem então como *desafio* mudar seu enfoque de mercado, para garantir uma perspectiva de atuação em um contexto cada vez mais exigente e competitivo, recorrendo à implantação de um programa da qualidade para ajudá-las a enfrentar a nova situação.



Figura 2.1 As mudanças de mercado levando a nova forma de comportar custos e preços (adaptado de Souza, 1992)

2.2 A Importância do Projeto na Busca da Qualidade

2.2.1 O projeto e a ocorrência de falhas do produto

Hammarlund & Josephson (1992) apresentam um estudo realizado na Suécia e definem uma distribuição relativa entre os fatores de custo responsáveis por *falhas internas* - segundo a ISO 9004, aqueles decorrentes de reprocessamento antes da entrega do produto - e uma outra distribuição para os fatores de custo de *falhas externas* - ocorridos após a entrega do produto. Pode-se observar que a parcela devida ao projeto representa 20% das falhas internas e 51% das falhas externas, representando na soma aproximadamente um terço do total dos custos de falhas da qualidade. Esses dados estão reproduzidos na tabela 2.2.

E, segundo dados apresentados por Helene (1988), provenientes de levantamentos realizados em vários países da Europa, a maior parte dos problemas patológicos na Construção Civil tem origem na etapa de projeto - variando de 36% a 49%, conforme o caso.

Outros autores (Motteu & Cnudde, 1989) também apontam a ligação entre erros de projeto e problemas patológicos, que pode ser visualizada no gráfico da figura 2.2. Segundo os autores, a fase de concepção e projeto é a principal origem de defeitos nas obras em geral, participando com 46% do total das falhas. Outra colocação feita pelos mesmos salienta o fato de que apenas 22% dos problemas ligam-se à fase de execução.

Em qualquer tipo de indústria, o papel do projeto deve ser adequadamente estabelecido para permitir a implantação de sistemas de qualidade.

Os vários dados discorridos indicam que as decisões tomadas no projeto são importantes para a qualidade do produto final, mas não identificam claramente a conjuntura em que são feitos os projetos. Falta, entretanto, entender como o projeto está inserido no processo de construção e tentar analisar as relações com outras

atividades – o que será feito seqüencialmente.

Tabela 2.2 Distribuição dos custos de falhas da qualidade na Suécia, internas e externas (Hammarlund & Josephson, 1992)

ORIGENS DA FALHA	INTERNAS (% relativa)	EXTERNAS (% relativa)
Cliente	3%	-
Projeto	20%	51%
Gerenciamento	34%	-
Execução	20%	26%
Materiais	20%	10%
Equipamentos	1%	-
Pós-ocupação	-	9%
Outros	2%	4%
TOTAL (face aos custos de produção)	6%	4%

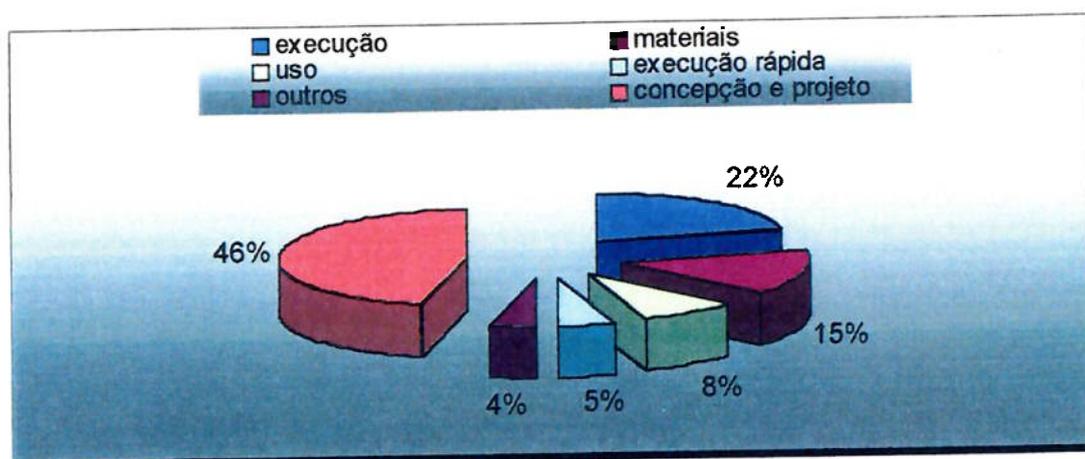


Figura 2.2 Origens de problemas patológicos das construções (Motteu e Cnudde, 1989)

2.2.2 O projeto e o ciclo da qualidade

Juran & Gryna (1991) definem o *ciclo da qualidade* como:

“um modelo conceitual da interação das atividades que influenciam a qualidade do produto ou serviço nos diversos estágios, cobrindo desde a identificação das necessidades até a avaliação sobre se essas atividades estão sendo satisfeitas”.

Confirma-se, dessa forma, que o propósito de fixar-se um ciclo não é o de estabelecer o sequenciamento das atividades, mas seu inter-relacionamento.

Ramos (1998) caracteriza um ciclo da qualidade de produtos claramente seqüencial, dentro de um visão centrada na empresa produtora, embora considerando várias das atividades também incluídas pela ISO 9004, reproduzido na figura 2.3.

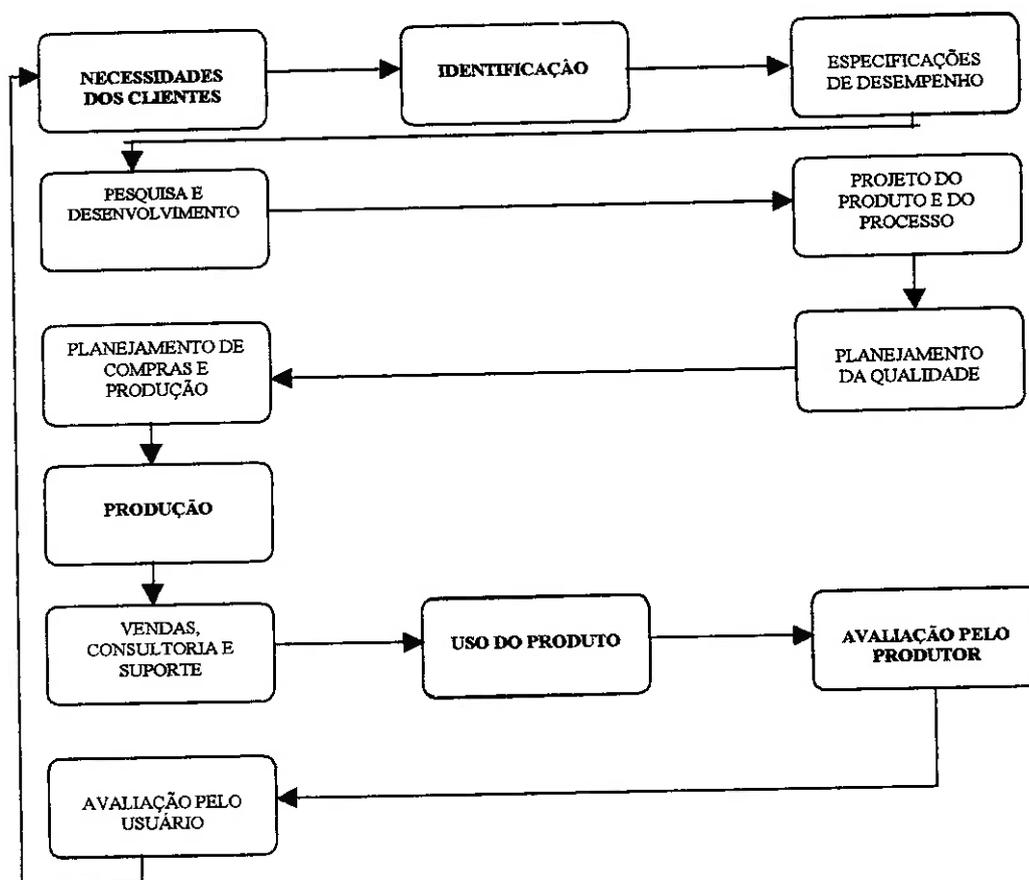


Figura 2.3 Ciclo da qualidade segundo Ramos (1992)

Esse último ciclo foi idealizado para os elementos de uma produção seriada e contínua, em que o efeito de escala é predominante; no entanto, pode-se discutir sua aplicabilidade a *elementos repetitivos* de uma produção descontínua e não seriada - caso da Construção Civil. Dentre as atividades apresentadas por Ramos, sobressaem-se algumas que merecem destaque positivo:

- a partir da *identificação das necessidades dos clientes*, são estabelecidas *especificações de desempenho*, e segue-se um trabalho de *pesquisa e desenvolvimento*;
- o *projeto* envolve além do *produto*, o respectivo *processo* de produção;
- há um *planejamento da qualidade*, claramente distinto do *planejamento de produção*;
- existem tanto a *avaliação pelo produtor* como a *avaliação pelo consumidor/cliente*, esta última fazendo a retro-alimentação para o ponto inicial do ciclo.

Souza et al. (1993), considerando as peculiaridades deste setor industrial, apresentam o ciclo da qualidade na *Construção Civil*, abrangendo um menor número de aspectos e com caráter particularizado, ao expor agentes participantes e inter-relacionados no setor (figura 2.4).

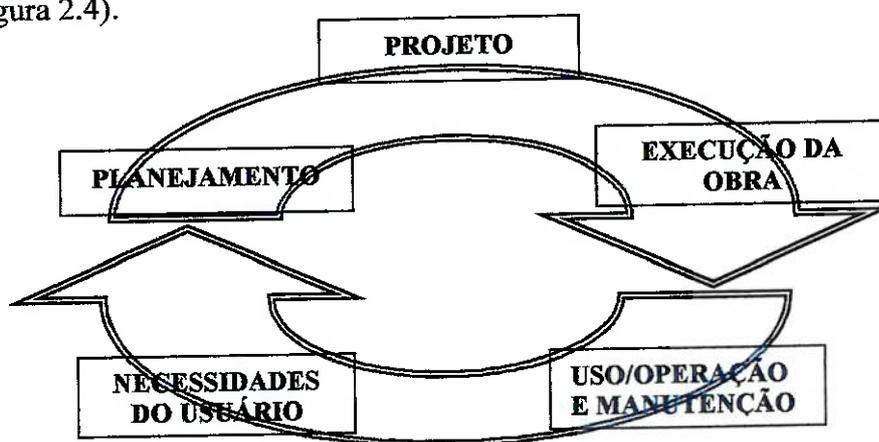


Figura 2.4 Ciclo da qualidade na Construção Civil (Souza et al., 1993)

A definição de um ciclo da qualidade leva ao estudo de um diagrama de relações entre os vários participantes dentro de um mercado; os ciclos apresentados aqui exibem inúmeras simplificações, servindo muito mais como referência para a discussão conceitual em torno da qualidade. Note-se que um ponto em comum é a inserção bastante clara da atividade de *projeto* no ciclo, sempre bastante anterior à *produção* propriamente dita.

O ciclo da figura 2.4 possui um número reduzido de atividades, o que torna implícitas diversas outras relações que efetivamente ocorrem nesta área de atividade, como por exemplo contratação, venda, assistência pós-conclusão, apenas para citar algumas. Também existe implicitamente nesta representação um tipo de relacionamento que é a do princípio *temporário*, já que o sistema de produção na Construção Civil é, no caso geral, um sistema de produção *aberto*. Portanto, um fornecedor de materiais e componentes de construção, por exemplo, fornece-os normalmente dentro de especificações genéricas e, dificilmente, tendo em vista especificações particulares de um dado produto, tal representação, em consequência, é bastante falha e pouco real, por não explicitar esses aspectos.

A seguir, é focado o estabelecimento de relações entre os participantes do ciclo da qualidade, com destaque para o projeto.

2.2.3 Garantia da qualidade e o projeto

Atualmente, um dos desafios para as empresas construtoras e do setor rodoviário mais especificamente, é o de criar um sistema capaz de aplicar aos seus empreendimentos os princípios de garantia da qualidade, inclusive à etapa de projeto; para tanto, deve-se buscar estabelecer parâmetros e exigências a serem atendidos nas relações entre os participantes.

Pode-se atentar para as dificuldades em especificar e controlar atividades de projeto, no atual estágio da construção de rodovias, em que as empresas não possuem uma estrutura organizacional eficiente, para contratação e coordenação da elaboração de

projetos. Muitas vezes, apesar de existirem programas de qualidade implantados, a orientação resume-se a poucas instruções verbais, ficando o resto “por conta da experiência do projetista”.

Quanto ao arquivo e documentação, além daquilo que fica incorporado aos próprios documentos de projeto, muitas vezes não se faz o adequado registro das idéias e conclusões geradas a partir de discussões ao longo das etapas de projeto, com a posterior análise dos resultados em obra, o que seria fundamental, como já foi dito, para a evolução do setor.

Os problemas apontados, porém, inserem-se no conjunto das relações entre projetistas e clientes, portanto resultado das características do processo de produção e não intrínsecas ao projeto, por esse motivo, a garantia de qualidade do projeto dependerá claramente das características do sistema. Mais adiante é tratado o tema, ao analisar-se as relações entre empreendedores, projetistas, construtores e usuários (item 3.2 do capítulo 3).

Para completar o quadro delineado neste item, cabe ressaltar que os fatores humanos e de relacionamento devem ser considerados na mudança estrutural do setor em busca da qualidade. Souza (1992) destaca que “a padronização e o controle da qualidade de produtos e processos produtivos são condições necessárias mas não suficientes para obter a qualidade”.

Assim sendo, as ações de organização e gestão são primordiais, em que se incluem:

- adotar métodos gerenciais mais participativos e descentralizados;
- implantar a garantia da qualidade por todos e não apenas através de um departamento ou grupo responsável pela qualidade;
- valorizar a capacidade criativa e de autocontrole dos funcionários;
- treinar uma postura ativa frente aos clientes internos e externos.

Esse conceito amplo de qualidade é conhecido por *qualidade total*, por significar um comprometimento de todos os setores e funcionários da empresa com os objetivos do plano da qualidade em implantação ou implantado.

No caso de um empreendimento de construção, a aplicabilidade do enfoque da qualidade total é reduzida, por envolver várias empresas e profissionais, que se alteram freqüentemente com a própria mudança do produto ou etapa da obra, mas valem os princípios mencionados.

O relacionamento entre projeto e os demais integrantes do ciclo da qualidade é deficiente nas atuais condições de atuação do setor, ou seja, para atingir patamares mais elevados de qualidade, a construção de rodovias precisa implantar sistemas da qualidade, com subsistemas desenvolvidos em cada um dos itens do ciclo e adequadamente compatibilizados em seu relacionamento, partindo do setor público, que geralmente é o cliente. A relação entre projeto e os demais participantes é ilustrada na figura 2.5.

A relação entre projeto e planejamento do empreendimento apresenta ainda hoje muitas falhas, bem como entre projeto e fabricantes e distribuidores de materiais, ou execução de obras. Os reflexos de uma participação inadequada do projeto fazem-se sentir, ainda, nas relações com o usuário e na fase de operação e conservação - esses pontos serão retomados no item 3.1.

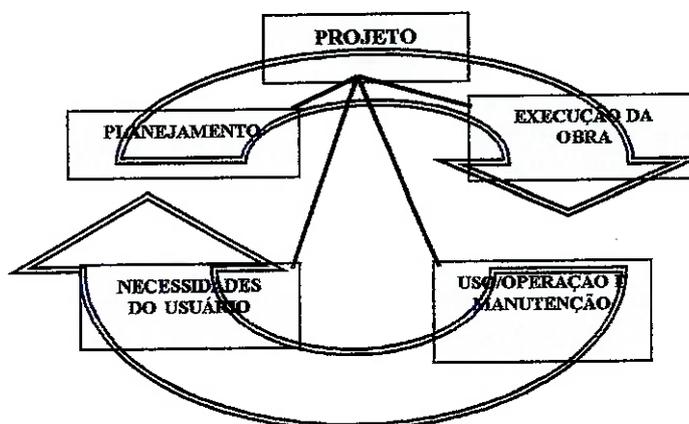


Figura 2.5 O ciclo da qualidade na Construção Civil e as relações entre projeto e os demais participantes do ciclo (Melhado, 1993)

Voltando ao enfoque dado por Souza (1992) ao *processo do projeto*, é fundamental refletir acerca da seguinte questão: *seria o projeto um produto* – cabendo aí a aplicação de princípios de controle e garantia da qualidade convencionais – ou seria muito mais *um serviço*, parte integrante das atividades que compõem o processo do empreendimento?

Tal discussão será o tema do próximo item deste capítulo.

2.2.4 Projeto: um produto ou um serviço?

A definição de Ramos (1998) para **serviço** surge como “uma combinação de recursos humanos e materiais com o objetivo de aumentar o valor de ‘estado’² de alguma pessoa ou objeto, de forma a melhorar sua utilidade”.

Como características de um *serviço*, Ramos lista cinco principais, que são citadas a seguir:

- 1 *Intangibilidade*: o usuário normalmente não tem possibilidade de avaliar a qualidade do serviço antes da utilização, pois não tem a sensibilidade de “enxergar” a obra antes do término;
- 2 *Perecibilidade*: serviços não podem ser estocados;
- 3 *Heterogeneidade*: há uma apreciável variabilidade dos resultados (“saídas”) de um serviço;
- 4 *Simultaneidade*: a produção e o consumo do serviço dão-se ao mesmo tempo;
- 5 *Relação cliente-fornecedor*: o contato costuma ser pessoal e direto, com grande

² Observação: o valor de ‘estado’ a que se refere Ramos deve ser entendido, salvo melhor definição, como o valor intrínseco de um item em uma determinada fase de um processo.

volume de transações e circulação de papéis.

Os aspectos parecidos entre as características de um *projeto de rodovias*, e a definição e características atribuídas a um *serviço*, é significativa, já que existem na maior parte dos projetos: falta de especificações pelo cliente ou especificações extremamente desatualizadas; variabilidade de resultados; produção e consumo bastante encadeados, ainda que não exatamente simultâneos, contato pessoal e direto com o cliente. Quanto à perecibilidade de um projeto, se considerado que um projeto arquivado torna-se obsoleto face às imposições transitórias do mercado, pode-se entender que um projeto deva ser “consumido” sempre no *menor prazo possível*, porém isso nem sempre acontece nos órgãos públicos – clientes em potencial para implantação de rodovias.

Ramos distingue a avaliação da qualidade de produtos, daquela que se faz com relação a serviços, destacando que esta última tende a ser “mais subjetiva”, e que a maior variabilidade torna “seu controle mais complicado”. De fato, uma das características de qualquer projeto, que o distingue de um simples produto, é o fato de cada projeto ser “único” e de difícil avaliação objetiva, em condições normais.

Pelo exposto, será enfatizada neste trabalho a visão de *projeto como serviço*, dando destaque à sua inserção no contexto do processo de que o projeto participa, procurando estabelecer diretrizes que permitam um incremento da qualidade *do processo*.

Tal enfoque não elimina a necessidade de também estabelecer padrões do *projeto como produto*, definindo seu conteúdo mínimo e a própria forma de apresentação das informações, padrões esses que devem ser verificados e eventualmente corrigidos - embora tais padrões, por si só não sejam suficientes para garantir sua qualidade em caso de falhas conceituais, por exemplo.

Dentro de um contexto de mudanças em busca da qualidade no setor, se não houver uma mudança e aplicação efetiva nos métodos de elaboração e controle do projeto, os

resultados em termos de produto final ainda estarão aquém do pretendido - pois torna-se fundamental dar ao projeto, entre outras atribuições, a de servir como um “canal” para a transmissão da evolução tecnológica.

Os aspectos acima serão melhores explicitados no quarto capítulo, em que são tratados conceitos que envolvem o desenvolvimento de tecnologia para o setor construção de rodovias, sendo ainda descritas experiências de aplicação desse ponto de vista em trabalhos realizados nas obras de duplicação da Rodovia Fernão Dias - BR 381, no quinto e sexto capítulo deste trabalho.

2.3 Considerações Finais Sobre os Temas do Capítulo 2

O conceito de qualidade evoluiu, historicamente, desde os tempos em que predominavam as corporações de ofício - com premissas da qualidade baseadas na confiança depositada no próprio trabalhador - e passou por fases de inspeção e controles da qualidade formais, até chegar à atual concepção de qualidade total, voltada à satisfação do cliente e envolvendo ações organizacionais e os relacionamentos com todos os participantes do processo sejam esses relacionamentos intra ou inter-empresas.

Atualmente, a disseminação dessas idéias ampliou-se cada vez mais e chegou a todos os setores da atividade industrial, atingindo inclusive a Construção Civil. No entanto, a Construção Civil, em especial a construção de rodovias e o desenvolvimento de estudos geotécnicos nestas obras, apresenta um conjunto particular de características, de natureza do processo produtivo e do próprio mercado, em que a aplicação dos conceitos e procedimentos trazidos pelas modernas teorias da qualidade encontra uma série de dificuldades e deve sofrer adaptações, para permitir sua implantação.

Na definição do ciclo da qualidade para a Construção Civil aparecem situações diversas das que são encontradas em outras indústrias sem que isto signifique a invalidação de princípios gerais; atividades de avaliação combinadas a procedimentos de controle da qualidade, somadas a uma atenção especial às relações formais que se estabelecem entre os integrantes de um processo, são partes importantes do conjunto de ações necessárias a garantia da qualidade. Em qualquer processo industrial como também na Construção Civil, os métodos de elaboração e controle do projeto participam dos esforços pela ascensão a padrões elevados da qualidade, servindo como importante elo na cadeia produtiva.

Para se analisar adequadamente, é preciso ainda considerar os aspectos específicos vinculados à estrutura de relações dentro do setor de construção de rodovias, em que as ações voltadas à qualidade realizadas por uma empresa dependem da participação de outros agentes dentro do mercado e da criação de um contexto geral do setor, o

qual apresenta relações complexas, dificultando mudanças de antigos paradigmas; isto afeta também a atividade de projeto.

Dentro de um programa de medidas voltadas à implantação de sistemas da qualidade, centrado na evolução tecnológica e objetivando a revisão das relações entre os vários integrantes do ciclo, cabe propor medidas que permitam objetivar mais tanto a avaliação como o próprio controle do projeto - e isto será focado no sétimo capítulo, analisando-se a questão metodológica do projeto inserida no contexto do empreendimento e da empresa construtora do setor rodoviário.

3 O PROJETO E O EMPREENDIMENTO DE CONSTRUÇÃO DE RODOVIAS

Neste terceiro capítulo pretende-se analisar o *papel do projeto* face às características peculiares do empreendimento de construção rodoviária. Para tanto, inicia-se por uma avaliação atual do mercado de construção de rodovias e as deficiências de relacionamento entre os participantes dos empreendimentos, com suas implicações para a qualidade do projeto.

Em adição a esta análise, discute-se as atribuições dadas à palavra *projeto*, analisando sua inserção no contexto de um empreendimento de construção de rodovias.

3.1 O Setor de Construção de Rodovias no Setor Público e o Projeto

3.1.1 A situação atual

Em pesquisa realizada junto a empresários, diretores, gerentes técnicos e administrativos e engenheiros de empresas de São Paulo associadas ao SINDUSCON, Souza & Mekbekian (1992) promoveram uma auto-avaliação em relação a requisitos da qualidade nas empresas envolvidas em projeto, supervisão e construção de obras rodoviárias.

Nos resultados desta pesquisa observa-se que as empresas admitem que seus produtos, serviços e organização apresentam problemas em relação à qualidade, sendo que o item pior avaliado foi “projeto”, em que a *apresentação formal* foi considerada geralmente superior ao *conteúdo*. Dentro desse item, os pontos mais criticados foram “detalhamento das especificações técnicas” e “controle da qualidade do projeto”. Segundo os autores, ficou revelado que na opinião dos consultados os problemas maiores não se concentram nas atividades de produção propriamente ditas, mas no âmbito da direção e gerenciamento das empresas e na concepção dos empreendimentos.

Vargas (1993), ao analisar as atitudes empresariais no setor, critica as relações

distorcidas entre projetistas e construtores: “historicamente arquitetos, projetistas de instalações e calculistas estão voltados para suas funções particulares (...) sem qualquer ligação com quem vai construir” e, por outro lado, com frequência “as construtoras iniciam a obra sem ter o projeto definitivo”.

No Encontro Franco-Brasileiro sobre Qualidade na Construção, Etienne (1999) demonstra que o seguro-construção, implantado na França desde 1978, foi uma iniciativa para melhorar o equilíbrio nas relações entre empreendedores, projetistas, construtores e os usuários, reduzindo a incidência de problemas patológicos e estimulando a evolução na busca da qualidade. Esse seguro está fundamentado em um regime de responsabilidades, bastante bem definidas, no qual *inclusive os projetistas* assumem responsabilidade frente ao usuário (garantia decenal de bom desempenho).

Cambiaghi (1992) afirma que “as exigências dos empreendedores em terem suas obras concluídas o mais rápido possível para ‘aproveitar’ os momentos econômicos (‘boom’) têm levado a *uma diminuição cada vez maior do tempo para projetos*, para planejar, pensar, refletir, aferir e optar por melhores alternativas.” Tal colocação mostra-se bastante legítima na atualidade, se vista como uma expressão do tipo de relacionamento que, muito freqüentemente, se estabelece entre empreendedores e projetistas, na área rodoviária. É possível até que a “pressão psicológica” exercida pelo empreendedor, motivada por fatores de instabilidade do mercado e pelas necessidades comerciais envolvidas, seja maior para o projetista do que realmente tais fatores exigiriam. Nesses casos, isso caracterizaria uma atitude do próprio empreendedor no sentido de reduzir e prejudicar a qualidade.

Assim, Cambiaghi reforça a idéia de que a atitude do empreendedor apresenta-se geralmente dentro de um enfoque equivocado, afirmando que “o tempo ‘gasto’ com projeto e planejamento ‘aborrece’ a todos (...). Poucos são os que valorizam e reconhecem a importância daqueles que produzem idéias representadas no papel.”

Ramos (1988), referindo-se à modernização dos empreendimentos necessária para atender às situações decorrentes das especificações existentes, aponta um quadro de dificuldades: “A ‘indústria’ de construção de rodovias envolve diferentes participantes com interesses conflitantes. Cada empreendimento é uma combinação única de pessoas, que estabelecem relações temporárias para a execução da tarefa. Os sistemas e métodos que elas utilizam são determinados pelo seu papel no empreendimento e práticas estabelecidas.

Maffei (1989) compara a organização convencional da equipe de projetistas em que o engenheiro lidera o processo em contato direto com o cliente com aquela que seria a ideal, ou seja, uma *equipe multidisciplinar* envolvida de modo *conjunto* desde a concepção inicial a partir do contato com o cliente (empreendedor). Esse autor avisa que, no caso de projetos complexos, mas também possivelmente em todos os casos, os resultados obtidos com a forma convencional são “pobres”.

Dentro do enfoque aqui desenvolvido, fica claro que a evolução do setor de implantação de rodovias deve introduzir novas situações, para as quais a forma convencional de projetar uma estrada não está apta a oferecer respostas adequadas; faz-se necessária uma maior integração entre os especialistas que participam do projeto. A tendência de subdivisão cada vez maior do projeto em partes distintas desenvolvidas por profissionais diferentes, dentro de um nível de especialização crescente, traz como decorrência a necessidade de uma *coordenação eficiente* do processo (principalmente em épocas de terceirização de serviços) - tanto no que diz respeito à informação utilizada (dados de entrada) quanto à decisão (dados de saída).

3.1.2 A função do projeto

É fundamental, para a obtenção da qualidade, que o empreendedor valorize a fase de projeto. Na defesa desse ponto de vista, pode-se citar as considerações feitas por Barros

et al. (1993) acerca da importância das fases iniciais do empreendimento: nestas primeiras fases, as decisões tomadas são as que têm maior capacidade de influenciar o custo final. Tal influência é ilustrada pela figura 3.1.

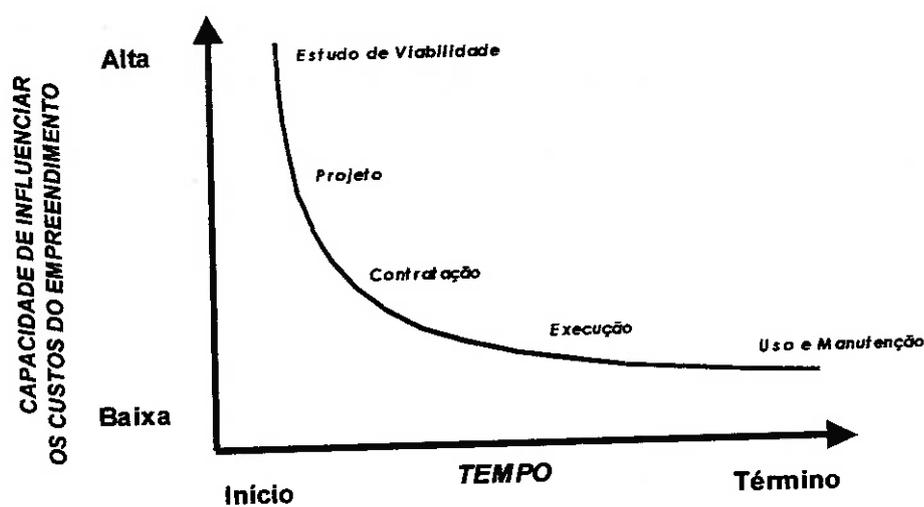


Figura 3.1 Capacidade de influenciar o custo final de um empreendimento ao longo de suas fases (adaptado de Barros e Melhado, 1993)

Na observação da figura 3.2, segundo Hammarlund e Josephson (1992), é destacada a importância que os autores atribuem às fases iniciais do empreendimento – desde o estudo de viabilidade à conclusão do projeto – em que, apesar do baixo dispêndio de recursos, concentra-se boa parte das chances de redução da incidência de falhas e dos respectivos custos.

O que notamos, na prática, é que muitas vezes o projeto é taxado como um ônus que o empreendedor deve ter antes do início da obra entendido, portanto, como uma despesa a ser minimizada o quanto for possível, já que nem sempre se tem inicialmente os recursos financeiros necessários e suficientes para executar o empreendimento, antes de se aprovar o projeto junto aos órgãos competentes (Barros e Melhado, 1993).

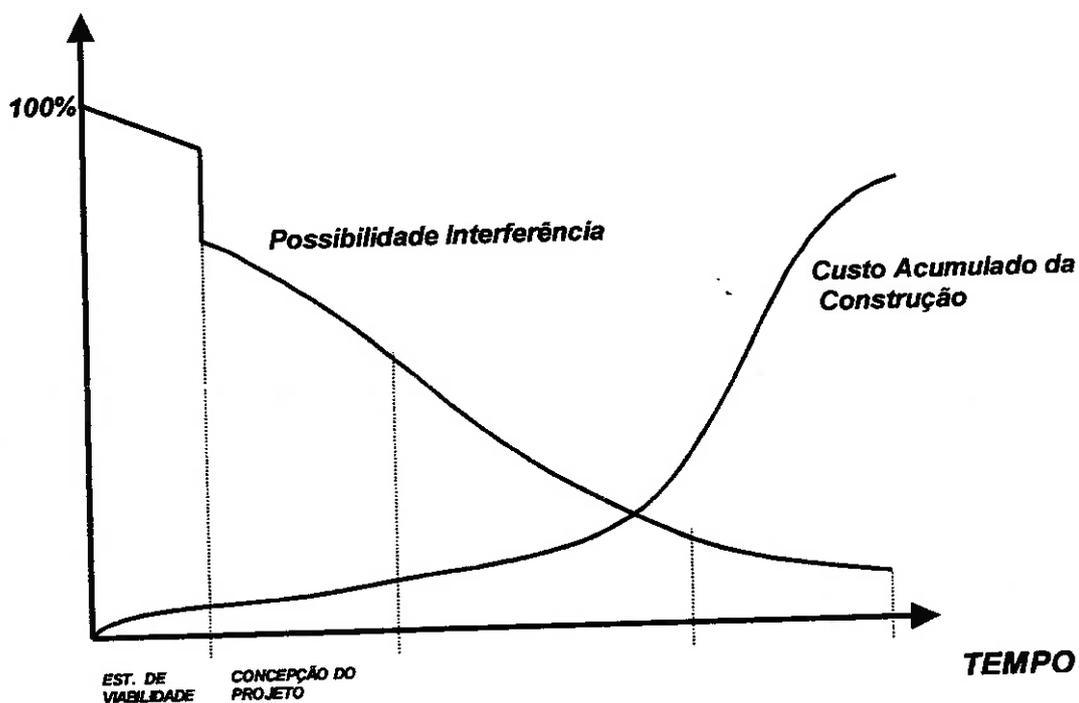


Figura 3.2 Avanço do empreendimento em relação à chance de reduzir o custo (Hammarlund e Josephson, 1993)

Para ilustrar a real concepção temporal e financeira de projeto junto ao setor público, apresentamos a figura 3.3 abaixo (adaptado de Barros e Melhado, 1993), que relaciona o prazo de desenvolvimento de um empreendimento e o custo mensal das fases envolvidas praticadas.

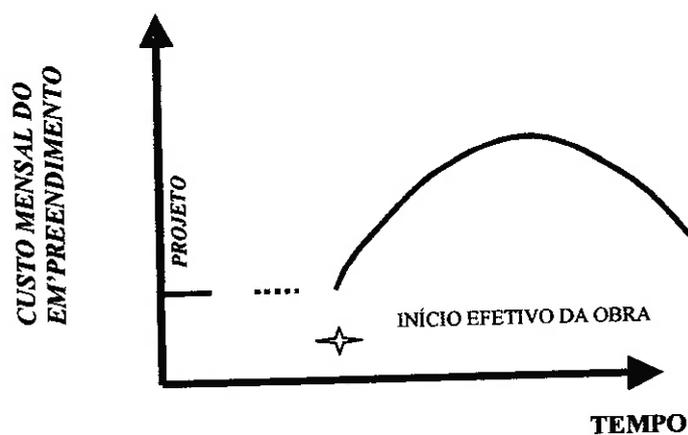


Figura 3.3 Gráfico que relaciona o tempo de desenvolvimento de um empreendimento e o custo mensal das atividades (Barros e Melhado, 1993)

A análise da figura traduz efetivamente o comportamento do processo de implantação das obras de duplicação da BR-381 – Rodovia Fernão Dias e do Rodoanel Mário Covas. Na figura, bem como nos empreendimentos citados, a atividade de projeto, que ocorre na primeira etapa da seqüência construtiva, apresenta custo reduzido com a finalidade de não “onerar” o custo inicial e total do empreendimento, além de ter um prazo também reduzido. Um outro aspecto extremamente prejudicial àquilo que seria o ideal, é que nota-se um hiato temporal muito grande entre o término da fase de projeto propriamente dita e o início efetivo da obra. Isto, dependendo do empreendimento, pode levar a desatualização total do projeto quando este vier a ser executado. Foi exatamente o observado nas obras de implantação da rodovia Fernão Dias e do Rodoanel Mário Covas.

Entenda-se por desatualização do projeto os aspectos tecnológicos e econômicos tais como a seguir se destaca:

- 1) Aspectos Tecnológicos: o volume de tráfego previsto quando da elaboração do projeto pode não ser compatível com o existente na época de implantação efetiva do projeto, provocando uma reestruturação das camadas constituintes do pavimento; as jazidas indicadas no projeto original podem não estar disponíveis quando da execução da obra, por motivos de venda da área a outro proprietário; o desenvolvimento de núcleos habitacionais não existentes na época do projeto, provocam a implantação de passarelas para pedestres ou mesmo viadutos para retorno e/ou acessos de veículos; áreas para deposição de materiais excedentes previstas em projeto podem não estar mais disponíveis.
- 2) Aspectos Econômicos: a reestruturação do pavimento implica na aplicação de camadas mais espessas, mais nobres, porém mais caras; a busca de novas jazidas e/ou empréstimos, bem como áreas de deposição de materiais excedentes, a distâncias maiores, acarretam custos de momentos de transporte elevadíssimos; o surgimento de núcleos habitacionais ao longo do traçado ocasiona maiores desembolsos com

desapropriações e com a implantação de obras de arte não existentes na concepção original do projeto.

Em um contexto análogo, mas dirigido à indústria automobilística, Ferreira (1993) resume da seguinte forma a participação da etapa de projeto na obtenção do sucesso de um produto: “investir mais no projeto pode reduzir em até 60% os custos de produção e em 40% o tempo total até o lançamento”. O autor enfatiza ainda a grande contribuição dada pelo projeto para os resultados do produto a longo prazo, econômicos e de penetração no mercado.

Segundo Melhado e Violani (1992a): “Para obter-se sucesso em um empreendimento, o projeto não pode ser resumido à caracterização geométrica no papel da obra a ser construída. O projeto deve conceber, além do produto, o seu processo de produção; (...) deve assumir o encargo fundamental de agregar eficiência e qualidade ao produto”.

Nessa ótica, a figura 3.4 abaixo ilustra que o “investimento” em *prazo e custo do projeto*

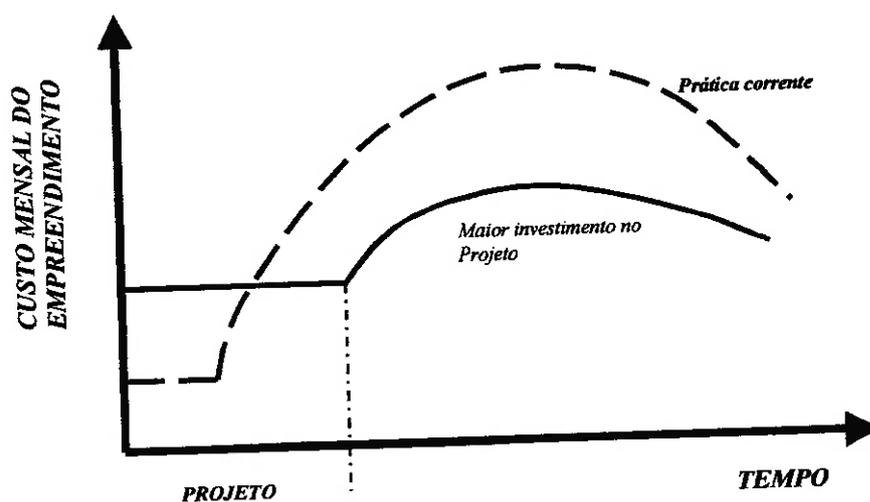


Figura 3.4 Gráfico que relaciona o tempo de desenvolvimento de um empreendimento e o custo mensal das atividades, com maior investimento na fase de projeto (Barros e Melhado, 1993)

deveria assumir um papel diferenciado do atual - ou seja, seria necessário um maior investimento inicial, para permitir um maior desenvolvimento do projeto, ainda que nesta fase houvesse um deslocamento para cima do custo inicial do empreendimento e, eventualmente, um tempo maior dedicado à sua elaboração.

Do exposto até o presente, pode-se indagar qual seria o custo e o tempo ideal para a elaboração do projeto de um dado empreendimento, porém a resposta nunca será exata. Nos países desenvolvidos, a prática é se dedicar, muitas vezes, o mesmo tempo para o projeto quanto para a construção do empreendimento em si. A isto se associa o fato de evitar as deficiências e os desperdícios comuns na fase de execução, bem como obter um melhor desempenho do produto final. A cultura brasileira porém, é bastante divergente deste ponto de vista; o projeto é quase sempre visto como um mal necessário em função das exigências legais. Esse é um dos motivos que levam os projetos a serem simplesmente indicativos, fazendo com que parte das decisões, que caberiam ao projeto, sejam efetivamente tomadas durante as obras.

3.2 Conceituação de Projeto

3.2.1 O que significa 'projeto' ?

A maioria dos conceitos e definições de “projeto”, obtidos a partir da bibliografia relacionada com o tema, estão ligados ao *procedimento ou prática* de projetar e, nesse sentido, pode-se entender o projeto como sendo:

“...um processo para a realização de idéias que deverá passar pelas etapas de idealização, simulação (análise) e implantação (protótipo e escala de produção)” (Rodriguez, 1992);

“...um modelo de solução para resolver um determinado problema” (Marques, 1992);

“...uma atividade criativa, intelectual, baseada em conhecimentos (...) mas também em

experiência (.. .) um processo de otimização” (Stemmer, 1988).

Essas definições dão o enfoque ao projeto como *criação*. Por outro lado, é possível encontrar também na bibliografia uma série de definições de *projeto* de um ponto de vista mais voltado aos *resultados* do mesmo, delineando o seu *propósito individual, social, político ou cultural*:

“...é uma idéia que se forma de executar ou realizar algo, no futuro” (Ferreira, 1986);

“...a atividade de criar propostas que transformem alguma coisa existente em algo melhor” (McGinty, 1984);

“...o projeto é parte e reflexo de uma atitude global de seu autor e, através dele, do tempo em que vive” (Ferro, 1979);

“...a ação de intervir ordenadamente, mediante atos antecipatórios, no meio ambiente. A ação pode manifestar-se em produtos, edifícios, sinais, avisos publicitários, sistemas, organizações, tanto em estruturas físicas como em estruturas não físicas” (Bonsiepe, 1983).

Outros conceitos poderiam ser incorporados a esses; no entanto, quando se fala em *projeto de rodovias*, acredita-se que se deva extrapolar a visão do produto ou da sua função. Nesse caso, fica claro que o projeto deva ser encarado, também, sob a ótica do processo (no caso, a *atividade de construir*).

E, também nesse contexto, o projeto deve ser encarado como *informação*, a qual pode ser de natureza *tecnológica* (como no caso de indicações de detalhes construtivos ou locação de equipamentos) ou de cunho puramente *gerencial* - sendo útil ao planejamento e programação das atividades de execução, ou que a ela dão suporte (como no caso de suprimentos e contratações de serviços), sendo assim de importância crucial.

Entretanto, tem-se verificado em geral o oposto, sobretudo no processo tradicional de construção, no qual Melhado e Violani (1992a) apontam “uma freqüente dissociação entre a atividade de projeto e a de construção, sendo que o projeto geralmente é entendido como instrumento, comprimindo-se o seu prazo e o seu custo, merecendo um mínimo de aprofundamento e assumindo um conteúdo quase meramente legal, a ponto de torná-lo simplesmente indicativo e postergando-se grande parte das decisões para a etapa de obra”.

Portanto, a pergunta que surge é a seguinte: como fazer, na construção de estradas, para harmonizar no projeto, a visão do produto com a visão das condicionantes de produção, integrando as etapas do empreendimento? Como fazer valer os conceitos de que “projetar é construir no papel” ou ainda que “projetar é antecipar as possibilidades, prever, predeterminar” (o processo de produção, a obra), constantes da definição filosófica da palavra, expressa por Abagnano (1981)? A resposta para estas questões está na contextualização do projeto de rodovias, o que é feito a seguir.

3.2.2 O significado do projeto no contexto do empreendimento

No sentido de permitir o melhor entendimento do contexto no qual tornou-se distorcido esse papel que seria intrínseco ao projeto, Melhado e Violani (1992b) discutem a composição de participantes envolvidos em um empreendimento na área de construção, de uma maneira geral.

Na maior parte das vezes, pode-se dizer que o processo do empreendimento, em suas diversas fases, envolve quatro categorias de participantes principais.

- o *empreendedor*, responsável pela geração do produto;
- o *projetista*, atuando na formalização do produto;

- o *construtor*, que viabiliza a fabricação do produto;
- o *usuário*, que assume a utilização do produto.

A participação das categorias acima apresenta interesses próprios e capacidade diferente de intervir no processo, como é natural, além de *interesses* em comum; dentre esses últimos, inclui-se o sucesso do empreendimento. A figura 3.5 apresenta, de forma esquemática, os participantes envolvidos no empreendimento e seu relacionamento.



Figura 3.5 Os quatro principais participantes que atuam em um empreendimento rodoviário (adaptado de Barros e Violani, 1992a)

Dentro da visão dos conceitos de qualidade, o *empreendedor*, o *construtor* e o *usuário* podem ser considerados *clientes* (como explicitado no item 2.2.3 deste trabalho). Partindo-se deste princípio, o projeto deveria ponderar as necessidades do empreendedor, do construtor e do usuário, para assim satisfazê-las. Com essa premissa, pode-se atribuir a cada um desses clientes um conjunto de aspectos que denotam o ponto de vista pelo qual a qualidade de um dado projeto seria avaliada:

- *o empreendedor avaliaria a qualidade do projeto* a partir do alcance de seus objetivos, que envolvem seu sucesso quanto à avaliação da qualidade da obra no setor rodoviário e a redução dos custos, a formação de uma imagem junto aos administradores e políticos, bem como - ou até principalmente - pelo retorno que o projeto ajudasse a proporcionar a seus investimentos, ou pelo menos, pela manutenção dos custos previstos para o empreendimento;
- *o construtor avaliaria a qualidade do projeto* com base na clareza da apresentação, importante para facilitar o trabalho de planejamento da execução, em que o conteúdo, a precisão e a abrangência das informações podem reduzir a margem de dúvida ou necessidade de correções durante a execução, além de analisar a potencial economia de materiais e de mão-de-obra, capazes de proporcionar redução de desperdícios;
- *o usuário avaliaria a qualidade do projeto* na medida da satisfação de suas intenções de “consumo, envolvendo conforto, bem-estar, segurança e funcionalidade, somando-se a estas baixos custos de operação e de manutenção; ressalte-se que este é o cliente externo.

No entanto, o peso da satisfação de cada cliente no conjunto destas relações pode vir a ser diferenciado, principalmente se o empreendedor tiver a função de *contratante* do projetista, por exemplo. E dependendo do caso, construtor e projetista constituirão partes da mesma empresa – os clientes internos, em cada caso, podem ter importâncias diferentes.

Bobroff (1993) também coloca a identificação desses vários clientes como uma das dificuldades no posicionamento do projeto, implicando em piores condições para o desenvolvimento do produto na Construção Civil, em comparação com outras indústrias. A proposta que se está trazendo com este trabalho visa exatamente a valorização dos *interesses em comum*, a favor da evolução tecnológica e da qualidade dos produtos neste

setor.

Em condições ideais, dentro do âmbito dos interesses comuns, o *projeto* pode assumir o encargo fundamental de agregar eficiência e qualidade ao produto e ao processo construtivo, salvaguardando assim o *interesse de todos*, uma vez que à qualidade interessa:

- ao empreendedor estatal, que através de “produtos” de fácil aceitação e necessidade de se implantar, obtém bons resultados econômicos e políticos;
- ao projetista, que pode, através do sucesso da rodovia implantada e entregue, obter realização profissional e pessoal, ampliar seu currículo e obter atestados para concorrências futuras;
- ao construtor, que visa cumprir do modo mais eficiente suas tarefas de execução, minimizando o retrabalho nas fases finais ou após a entrega da obra;
- ao usuário, pelo desempenho satisfatório da rodovia em sua utilização, e durabilidade adequada ao retorno do capital investido na obra em si.

Em função da importância do projeto para todos, apresenta-se e discute-se, na seqüência, a forma de participação do *projeto* no *ciclo do empreendimento*, em função de algumas características específicas que este possa apresentar. Ao se definir o ciclo do empreendimento como o relacionamento entre os participantes anteriormente mencionados, constituídos por grupos com atuação definida ao longo das fases que compõem esse ciclo, deve-se observar que a atuação daqueles quatro participantes é variável em função dessas características específicas do empreendimento, particularmente quanto à importância dada ao *projeto* (Barros e Melhado, 1993).

E, ao se estudar o empreendimento sob a ótica da qualidade, mostra-se importante

retomar a análise do *ciclo da qualidade*, objetivando explicitar a importância da implantação de sistemas de qualidade em empresas construtoras, visando a garantia da qualidade do produto final. Salientamos que, mesmo com todas as exigências relativas à ISO impostas hoje em dia, é difícil fazer com que os engenheiros “tocadores” de obras assimilem e apliquem os conceitos pertinentes à qualidade total.

Na realidade, o ciclo do empreendimento não exibe a continuidade e a definição que aparentava haver quando foi analisado o assunto no capítulo 2. Mais ainda, dependendo das características particulares do empreendimento, torna-se necessário apresentar as várias relações existentes de modo a expor *as dificuldades que atingem a busca pela qualidade*, como analisado por Picchi (1993) para o caso de empresas de incorporação e construção de edifícios e exibido na figura 3.6, a seguir.



Figura 3.6 O ciclo da qualidade em empresas de incorporação e construção (Picchi, 1993)

A partir da observação dessa figura, pode-se notar as interferências que ocorrem na realidade, na produção de um edifício e, por extensão, na implantação de um empreendimento rodoviário. Observe-se na figura que existe uma representação diferenciada de determinadas relações que acontecem paralelamente às principais, as quais determinam etapas importantes; por esse motivo, o autor coloca a participação de fabricantes e distribuidores de materiais e componentes em uma “alça” ligada à área de suprimentos da empresa considerada – o que é bastante mais representativo da realidade, comparando ao que foi visto no capítulo 2.

Do exposto ciclo do empreendimento, é possível caracterizar um conjunto de *dificuldades* que conduzem a distorções do projeto, quanto à sua função dentro do ciclo, seus objetivos de elaboração e seu próprio conteúdo (Barros & Melhado, 1993).

No tocante às empresas de construção enquadradas na situação exposta na figura 3.6, pode-se apontar as seguintes dificuldades na obtenção da *qualidade do projeto*:

- a elaboração do projeto de arquitetura sofre grande pressão de prazo, pelo interesse na aprovação do projeto junto aos órgãos competentes (prefeitura municipal, por exemplo), ou na obtenção de fontes de financiamento;
- de modo geral, sobressai a preocupação com os aspectos comerciais, predominando os interesses de “marketing” em relação aos da qualidade;
- o detalhamento do projeto tende a ser exageradamente postergado, tendo em vista, muitas vezes, a espera pela viabilização de fontes de recursos para o empreendimento ou, simplesmente, por não se considerar necessário tal detalhamento, exceto quando da execução;
- em determinados casos, o acabamento das unidades pode ser personalizado segundo o interesse do comprador, limitando as possibilidades de intervenção do projeto, que

pode ser detalhado apenas até a chamada “obra bruta”;

- a contratação de profissionais ou empresas projetistas é conduzida, muitas vezes, com base em concorrência de preços, constituindo-se no foco principal das preocupações com a redução dos custos das fases iniciais do empreendimento;
- nesse contexto, o projeto, em resumo, serve para *obter aprovação, para mostrar aos compradores, para conseguir recursos de financiamento, para fazer orçamento, permitir a contratação por concorrência e, apenas por último, para ser instrumento útil à execução da obra.*

Analogamente, pode-se traçar um quadro semelhante para ilustrar as dificuldades que surgem para o aumento da qualidade de projetos de obras públicas, conforme afirma Rotstein (1993): “a tendência ao desperdício, ao superdimensionamento, à ostentação, é uma constante nos empreendimentos conduzidos pela burocracia estatal”.

3.3 Considerações Finais Sobre os Temas do Capítulo 3

Para a implantação de *sistemas da qualidade* em um setor da Construção Civil, é importante considerar as peculiaridades que apresentam os seus produtos. E, dentro desse enfoque, a *conceituação da atividade de projeto*, distorcido o seu papel pelas mudanças ocorridas ao longo dos tempos, apresenta-se hoje incoerente e inadequada, com reflexos negativos sobre a qualidade.

O projeto pode ter vários significados, segundo o enfoque dado à sua definição, alguns desses merecendo destaque. Pode-se ter a atividade de projeto como *criação*, seja esta baseada em arte ou técnica, ou o projeto visando uma dada finalidade, propósito, dando destaque ao seu *resultado como intervenção*. Como contraponto, tem-se o projeto como *parte da atividade de construir*, indissociável desta última; e, também associado à atividade de construir, o projeto como *produto informação*.

Ao analisar a *participação do projeto* no contexto do *empreendimento*, em contraste com a discussão de seu significado, fica constatado o seu esvaziamento como parte da atividade de construir. Esta importância do projeto muitas vezes é desprezada em função da orientação do processo que gera o produto.

Pelas dificuldades apontadas ao longo deste capítulo, demonstra-se claramente a necessidade de rever a filosofia que conduz o empreendimento tendo como consequência a *formulação de diretrizes* diferentes para a elaboração de projetos. A atuação e responsabilidades dos quatro participantes do empreendimento devem ser alteradas, em favor da *qualidade* e da implementação de uma filosofia baseada em princípios de *evolução tecnológica, racionalização e construtibilidade*, dando assim um novo conteúdo ao projeto. Complementando esta visão, esses últimos pontos serão tratados a seguir, no quarto capítulo deste trabalho.

4 RACIONALIZAÇÃO, CONSTRUTIBILIDADE E O PROJETO GEOTÉCNICO NA IMPLANTAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS RODOVIÁRIOS

4.1 A Racionalização Construtiva através do Projeto

4.1.1 O que é a “racionalização construtiva”

Em relato bastante remoto do conceito de racionalização na indústria, Nogueira de Paula (1932) menciona uma definição de origem alemã e publicada em 1925: “racionalização é um sistema de organização que deve provocar o acréscimo do rendimento econômico e, paralelamente, o acréscimo da produção, o abaixamento dos preços e o melhoramento da qualidade dos produtos”.

De acordo com Rosso (1980), racionalização, em seu sentido genérico, é “a aplicação mais eficiente de recursos para a obtenção de um produto dotado da maior efetividade possível”.

Em adição à conceituação acima mencionada, o “Novo Dicionário Aurélio” define “racionalizar”, em uma de suas acepções, como “tornar mais eficiente um processo pelo emprego de métodos científicos” (Ferreira, 1986).

Na definição de Sabbatini (1989), *racionalização construtiva* é “um processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso de recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção, em todas as suas etapas”.

A associação entre racionalização e ‘industrialização’ da construção também é estabelecida por Sabbatini, que considera a racionalização como um “instrumento” capaz de auxiliar na evolução dos processos construtivos.

Franco (1992), em sua tese de doutoramento, coloca a racionalização construtiva como uma alternativa à ruptura da base produtiva representada pela introdução de processos ‘industrializados’, salientando que a aplicação dos princípios de racionalização implica em uma ‘mudança de postura’ na solução de problemas e destaca o seu caráter amplo, necessário para que os seus resultados sejam efetivos em um dado empreendimento.

Rosso (1980) considera que a aplicação de princípios de racionalização construtiva significa “agir contra os desperdícios de materiais e mão-de-obra e utilizar mais eficientemente o capital”. Esta indagação será evidenciada no capítulo 6, onde será discutido e mostrado o barateamento das soluções propostas pelo autor no estudo de caso desenvolvido.

Desta forma, fica clara a amplitude do alcance da racionalização, uma vez que a aplicação das suas diretrizes pode ser estendida às técnicas e métodos em quaisquer circunstâncias tecnológicas e, assim, a racionalização construtiva mostra-se como uma importante “ferramenta” em programas de melhoria da qualidade, com aplicação direta e resultados significativos mesmo a curto prazo.

4.1.2 A utilização de ações de racionalização construtiva e o projeto

Franco & Agopyan (1993) fazem referência à importância da implementação da racionalização construtiva desde as primeiras etapas do empreendimento, ressaltando que a etapa de projeto é “a mais propícia para a introdução da maioria das medidas que visam a racionalização”.

A racionalização é um princípio que pode ser aplicado a qualquer método, processo ou sistema construtivo e, no caso do processo construtivo tradicional, significa a implantação de medidas de padronização de componentes, simplificação de operações e aumento de produtividade que podem trazer grandes reduções de custo. No entanto, a

maior parte destas medidas tem de ser adotadas ainda na etapa de projeto, pelas suas implicações quanto a dimensões, especificações e detalhes que são incorporados ao mesmo.

Nesse sentido, é necessária a utilização de componentes padronizados e coordenados dimensionalmente, através da qual atingem-se maiores níveis de produtividade e tem-se redução de desperdícios, pela eliminação de cortes e ajustes de componentes. Esta medida é um exemplo das que só podem ser adotadas no projeto, nesse caso particular, em seus primeiros desenhos, já que incide sobre as dimensões e forma dos principais elementos de uma rodovia.

Tal filosofia aproxima-se, em vários pontos, da *engenharia e análise de valor*, bastante difundida no meio industrial, que se baseia na consideração de relações entre funções e custos desempenhadas por um item ou componente de um projeto, na busca de alternativas mais simples, econômicas e eficazes.

Como resultado da racionalização construtiva, pode-se ter maior emprego de componentes pré-moldados, substituindo aqueles normalmente moldados “in loco”, como por exemplo, no caso de vigas de obras de arte especiais (pontes, viadutos e passarelas). Esses componentes pré-moldados, dependendo da quantidade e repetitividade, podem merecer dimensionamento bastante apurado e ter sua forma final bastante otimizada quanto a peso, acabamento, custo e outras características, o que também só é possível na *etapa de projeto*.

No próximo e no sexto capítulo deste trabalho, ao relatar algumas experiências realizadas, serão apresentadas situações e exemplos em que a aplicação dos princípios de racionalização construtiva têm tido importante participação na evolução da metodologia adotada no desenvolvimento de projetos.

A partir do que foi apresentado até aqui, cabe analisar um dos pontos de vista

fundamentais neste trabalho: a *contribuição* que a organização do processo de projeto pode dar, dentro de um programa estabelecido em uma empresa, para o alcance dos objetivos de *evolução tecnológica e racionalização construtiva*.

Na figura 4.1 abaixo tem-se a ilustração desse ponto de vista, pressupondo: um conjunto de obras e projetos em andamento; um ambiente envolvendo os setores de *produção* e de *projeto*, e a existência de um programa de evolução tecnológica, onde a utilização da racionalização construtiva deve incluir ações *simultâneas*, porém interligadas, voltadas à organização do processo de projeto e à otimização de técnicas e métodos construtivos.

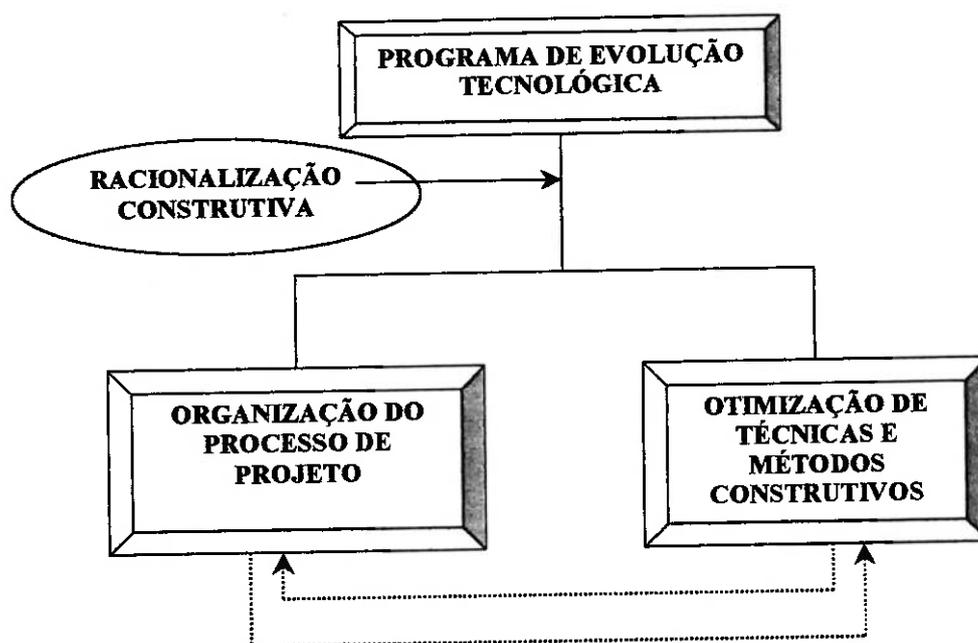


Figura 4.1 A utilização da racionalização construtiva em um programa de evolução tecnológica envolvendo a organização do processo de projeto (adaptado de Rosso, 1980)

Com um programa envolvendo ações nas duas áreas, os resultados obtidos devem evoluir continuamente, atingindo seu máximo a partir do momento em que os primeiros projetos submetidos à racionalização estiverem em execução, fechando o ciclo.

Assim sendo, ao buscar a racionalização, o projeto deve ser entendido como o cérebro do construtor. Esse enfoque aproxima-se também do adotado pelos teóricos da *construtibilidade*, que será assunto discorrido no item a seguir.

4.2 Construtibilidade como Filosofia de Projeto

4.2.1 Conceito: o que é “construtibilidade”

Durante a década de 80, quase ao mesmo tempo, dois diferentes grupos de pesquisadores publicaram, com grande intensidade, trabalhos divulgando conceitos relacionados com a orientação e integração das atividades realizadas ao longo de um empreendimento de construção com *foco na etapa de execução*; nos EUA, tal tipo de filosofia gerencial surgiu com a denominação “constructability” e, no Reino Unido, como buildability’.

Da primeira origem citada, tem-se que *construtibilidade* pode ser definida como “o uso ótimo do conhecimento e da experiência em construção, no planejamento, projeto, contratação e trabalho em canteiro, para atingir os objetivos globais do empreendimento” (CII, 1987).

Violani et al. (1991) esclarecem o conceito: “a idéia fundamental da construtibilidade é a *integração do conhecimento de construção* a todas as etapas de um empreendimento, em que, reconhecida a impossibilidade de reunir todo o conhecimento necessário em um único profissional, há a participação do construtor ou de algum profissional que possua amplos conhecimentos executivos, nas etapas anteriores à de execução, superando as deficiências dos profissionais de planejamento e de projeto”.

É importante citar as considerações feitas pelo grupo do *Construction Industry Institute - CII*, sediado na Universidade do Texas (EUA) acerca das vantagens de adotar-se a construtibilidade como diretriz: “os resultados mais positivos são obtidos quando profissionais com experiência e conhecimento de construção são envolvidos desde

realmente o início do empreendimento”.

A participação de profissionais ligados diretamente à execução de construções nas várias etapas do empreendimento é, portanto, considerada *indispensável* dentro da filosofia da construtibilidade - com grande reflexo sobre a etapa de projeto.

Sabbatini (1989) discute o significado morfológico dos termos respectivamente adotados em cada país, concluindo assim sua análise: “apesar das diferenças de enfoque, ambos deixam explícito que o conceito de construtibilidade fundamenta-se no seguinte fato: para que seja otimizado todo o processo de construção, há a necessidade de considerar-se na etapa de projeto os fatores relacionados com as operações construtivas”. Esse autor afirma, com base no significado semântico da palavra, que a construtibilidade é uma propriedade *inerente ao projeto*.

Em processos construtivos ditos “inovadores” a filosofia de construtibilidade integra-se às próprias premissas de seu desenvolvimento.

Em processos construtivos tradicionais, o aumento de construtibilidade pode ser conseguido a partir de uma reorganização dos procedimentos de projeto e de execução e implica em gerenciamento eficiente de todas as etapas do empreendimento.

E, para a implantação de programas de construtibilidade em empresas ou empreendimentos, o *Construction Industry Institute* lista alguns princípios úteis tais como:

- encorajar a trabalho em equipe, a criatividade e os enfoques inovadores;
- enfatizar a integração total no empreendimento, não a otimização de uma das partes;
- fazer uma avaliação dos resultados.

A seguir, discute-se mais profundamente os reflexos da aplicação da construtibilidade aos empreendimentos, com ênfase nas ações sobre a etapa de projeto.

4.2.2 A filosofia da construtibilidade e a etapa de projeto

Tatum (1987) lista algumas ações que devem ser adotadas na etapa de projeto que pressupõem a integração de objetivos entre projeto e execução, argumentando o autor que esta integração traz benefícios importantes e auxilia a atingir os objetivos gerais do empreendimento, não devendo, portanto, o projeto ser entendido como uma atividade que tem a finalidade em si mesma. Dentre essas ações, destacam-se:

- os cronogramas de projeto devem visar as reais necessidades da etapa de execução;
- desde os estudos iniciais de projeto devem ser considerados os principais métodos construtivos possíveis de serem utilizados, selecionando dentre as alternativas as que possam favorecer a eficiência na execução;
- os elementos de projeto devem ser normalizados (padronização das informações);
- componentes pré-moldados, modulares ou pré-montados devem ser especificados no projeto sempre que possível, para reduzir custos e prazos de execução;
- a acessibilidade de pessoal, materiais e equipamentos deve ser considerada na elaboração do projeto;
- o projeto deve favorecer a execução mesmo em condições climáticas adversas;
- não devem ser aceitas especificações do projeto que envolvam materiais, métodos construtivos ou controles de execução complexos e desnecessários, que possam reduzir a eficiência da execução.

Dentro de um ponto de vista muito semelhante também estão situadas as considerações de autores britânicos, em trabalhos acerca de construtibilidade (*buildability*). Griffith (1987), quanto à consideração desse conceito na etapa de projeto, afirma que “muitos projetos são possíveis de executar, mas alguns são claramente mais fáceis de construir do que outros”, destacando que a aplicação da construtibilidade pode fazer com que os projetos tornem mais fácil, rápida e barata a execução das obras.

Griffith explicita alguns resultados positivos que podem ser obtidos com a aplicação efetiva da construtibilidade:

- simplificação do projeto levando à execução mais fácil em campo;
- comunicação mais precisa e eficaz das intenções contidas no projeto;
- gerenciamento da execução em campo mais eficaz;
- uso melhor dos recursos disponíveis para projetar e construir.

Griffith também lista alguns princípios envolvidos na formulação do projeto e que possuem considerável influência sobre o resultado quanto à construtibilidade, podendo estes proporcionar não apenas racionalização e simplificação através do projeto, mas também a facilitação das operações de construção no campo. Tais princípios são:

- adequação do nível de complexidade técnica do detalhamento do projeto (detalhes simples e inteligentes);
- consideração do nível de interdependência entre os elementos construtivos (execução mais fácil com menos interfaces entre serviços);
- menor complexidade da seqüência operacional (redução dos itens para controle);

- aumento do grau de precisão das operações iniciais de construção (significando início mais rápido e menor risco de correções futuras).

O autor acima adverte que algumas melhorias, como a redução de tempos de espera em seqüências complexas de execução, dependem de avaliar cuidadosamente *como realmente se executa* no campo, em lugar da visão que o projetista tem daquilo que é executado.

Eldin (1988) apresenta um estudo de caso, relativo a obra de linhas de abastecimento de água, em que houve uma redução direta dos custos orçados do empreendimento, a partir da implantação de um programa de construtibilidade - que permitiu a simplificação das especificações de materiais e métodos construtivos originais do projeto - além de uma redução final muito expressiva do custo real da obra, pela eliminação de fontes de desperdício de materiais e mão-de-obra (não quantificada).

O CII (1987) cita, dentre outros vários exemplos de obra de construção pesada, um exemplo de aplicação envolvendo um empreendimento de construção de um *conjunto residencial* para aposentados compreendendo 152 casas, um edifício de 13 andares totalizando 265 apartamentos, um edifício para tratamento de saúde com sessenta leitos e um centro de apoio com 4300 m² de área, em San Antonio - Texas. Nesse empreendimento, foram realizadas intervenções ligadas à implementação de diretrizes de construtibilidade, implicando em redução de custos da ordem de 10% do total. Estas intervenções implicaram basicamente em:

- redução dos custos de fundações, instalações elétricas e mecânicas fachadas e de coberturas, ao unir todos os apartamentos em um único bloco, ao invés de dois, como proposto inicialmente;
- viabilização do emprego de formas racionalizadas do tipo *mesas voadoras* ("flying forms") por meio de realinhamento dos pilares da estrutura reduzindo custos e

prazos;

- mudança do edifício de tratamento de saúde, inicialmente de dois andares para térreo, reduzindo custos de fundações, estruturas e elevadores;
- uso de lajes de concreto armado protendidas, pós-tensionadas, no edifício de apartamentos;
- substituição do material utilizado nas formas, importado, por material de menor custo;
- uso de escadas pré-moldadas em substituição às moldadas no local.

Do exposto, torna-se claro que a filosofia dada pela aplicação dos conceitos de construtibilidade induz à formulação do empreendimento dentro de uma *mentalidade industrial*, levando a um equilíbrio de objetivos que procura harmonizar as necessidades de concepção do *produto* e do processo com reflexos diretos sobre a orientação da etapa de projeto.

Conclui-se que *construtibilidade*, em termos gerais, pode ser definida como uma qualidade de algo *fácil de ser construído*. De acordo com O'Connor e Tucker (1986), significa a "orientação do projeto à execução". Esta característica pode ser obtida com emprego de soluções simples e eficazes buscando maior definição e controle sobre as operações de execução, com base nas condições reais de campo. Assim "o detalhamento construtivo deve buscar soluções nessa direção, especificando as de maior construtibilidade entre as alternativas e deixando absolutamente claras suas características no projeto, para que se possa tirar máximo proveito de materiais, mão-de-obra e equipamentos e evitar situações obscuras nas etapas de execução e controle, deixando a cargo da obra apenas a implementação de tais soluções no campo" (Barros e Melhado, 1993).

Nas palavras de Franco (1992): “uma deficiência comumente encontrada nos projetos é a pouca importância que ainda é dada aos aspectos de construtibilidade”.

Em complemento a essa idéia, o autor complementa: “muitos projetistas, especialistas dos produtos (a rodovia e suas partes), pouco aproveitam da experiência na execução de seus projetos. Em muitos casos, também não existe uma retroalimentação de informações entre os executores e projetistas propriamente ditos, levando muitas vezes à repetição continuada em vários empreendimentos de uma falha detectada durante a construção”.

E, segundo O’Connor e Tucker (1986), fazem parte do conceito de construtibilidade a *comunicação eficiente* das informações à obra e o *retorno do construtor* ao projetista (o conjunto de ações pode ser visto na figura 4.2).

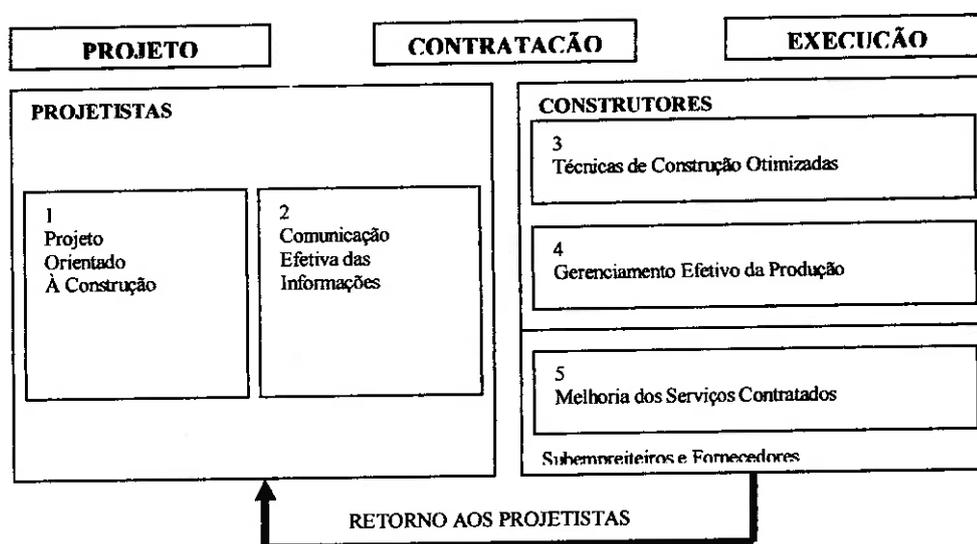


Figura 4.2 Ações de implementação da construtibilidade (O’ Connor e Tucker, 1986)

A figura 4.2 deixa claro que é fundamental a integração e compatibilização entre as

etapas de um empreendimento, de modo que a experiência realizada na etapa de execução - na qual deverá ocorrer a otimização das técnicas construtivas, um gerenciamento efetivo da produção e a constante melhoria das atividades subcontratadas - contribua para que se alcance através do projeto os objetivos de orientação à etapa de execução e de eficácia na comunicação de informações.

Dessa forma, o sucesso e a continuidade das ações voltadas à construtibilidade dependem do estabelecimento de um adequado fluxo de informações e decisões na condução das etapas do empreendimento, ou de sucessivos empreendimentos de uma determinada empresa ou órgão contratante. Esta conclusão será importante na orientação das propostas que serão explanadas no sétimo capítulo deste trabalho.

4.3 Considerações Finais Sobre os Temas do Capítulo 4

O conceito de *racionalização construtiva* apresenta-se como um instrumento de redução de custos e aumento de produtividade, bastante poderoso para permitir a transição do estágio atual para uma nova configuração mais eficiente da atividade de construir, dentro de ambientes empresariais modernos e competitivos; sendo uma de suas características importantes o estudo e a adoção de soluções racionalizadas ainda na etapa de projeto.

A inserção de uma mentalidade *industrial* na orientação filosófica e organizacional nos órgãos responsáveis pela construção de rodovias traz, como condição indissociável, a necessidade de maior integração entre as etapas do processo de geração dos empreendimentos.

Por esse motivo, também o conceito de *construtibilidade* vem ao encontro das premissas que envolvem a passagem da indústria da construção para uma configuração moderna e plenamente compatível com a implantação de *sistemas da qualidade*.

Além disso, a adoção da construtibilidade pode, em moldes atuais, resgatar a antiga

coincidência de pontos de vista entre empreendedores, projetistas e construtores, perdida ao longo da História em decorrência das mudanças na atividade de construir verificadas com o passar do tempo. Tal consideração significa, dentre outras coisas, reconhecer-se as características da atividade de construção como uma das principais fontes de orientação na elaboração de um projeto

A tabela 4.1 relaciona e sintetiza os principais elementos conceituais percorridos neste capítulo, de modo a permitir seu entendimento como um todo.

Os conceitos de racionalização e construtibilidade aproximam-se bastante em alguns pontos, nada impedindo que sejam adotados em conjunto para o estabelecimento de diretrizes de elaboração do projeto, considerando-se como cenário a atuação de empresas empenhadas na busca da evolução tecnológica. Não obstante, deve-se observar que sua adoção implica em pontos de vista distintos, tendo a racionalização um enfoque de disseminação de ações que visam otimizar cada uma das partes do sistema, em si próprias e como parte de um todo; enquanto que a construtibilidade coloca como questão básica a orientação de todo o sistema para a etapa de obra, privilegiando o processo de produção.

A aplicação desses conceitos será salientada nas experiências descritas a seguir, nos capítulos 5 e 6, sendo ainda adotada como parte importante das propostas, como pode ser visto no capítulo 7.

	PRINCIPAIS ELEMENTOS CONCEITUAIS	RELACIONAMENTO COM A ETAPA DE PROJETO
RACIONALIZAÇÃO CONSTRUTIVA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO	<ul style="list-style-type: none"> - pesquisa - inovação tecnológica - otimização do emprego de recursos - organização dos setores da empresa - organização da produção - redução de custos e desperdícios 	Introdução de mudanças na metodologia de projeto para viabilização de inovações e adoção de medidas de racionalização desde as primeiras etapas do projeto
CONSTRUTIBILIDADE	<ul style="list-style-type: none"> - uso do conhecimento de construção em todas as etapas do empreendimento - simplificação e otimização das atividades de execução 	Orientação do projeto à execução

Tabela 4.1 Resumo comparado dos elementos conceituais envolvidos na adoção de diretrizes de racionalização construtiva com implantação de novas tecnologias e na filosofia da construtibilidade

5 ESTUDO DE CASO – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA NOS PROJETOS DE ESTABILIZAÇÃO DOS TALUDES DAS OBRAS DE DUPLICAÇÃO DA BR-381 – RODOVIA FERNÃO DIAS

Neste quinto capítulo são relatadas algumas experiências vividas pelo autor durante as obras de duplicação da Rodovia Fernão Dias, no desenvolvimento e implantação de sistemáticas e metodologias de estabilização dos taludes rompidos ou em vias de ruptura. São introduzidos alguns conceitos básicos para o desenvolvimento de estudos geotécnicos na estabilização de maciços, bem como discutidos e comparados os vários métodos utilizados para a determinação do fator de segurança de um talude ou de uma estrutura de contenção.

O resultado desse trabalho originou os gráficos apresentados no capítulo 6, com comparativos de custos entre as soluções iniciais de estabilização e a *economia* resultante do desenvolvimento e implantação das soluções aqui apresentadas.

O desenvolvimento e a análise dos resultados desses trabalhos tem, nesta dissertação, o objetivo de embasar as propostas formuladas no sétimo capítulo; são ainda registros importantes de experiências realizadas de modo coerente com os princípios que nortearam a elaboração desta dissertação e, tendo-se constituído um fator primordial para a proposição da mesma.

5.1 Histórico de Obras de Estabilização de Taludes

Segundo Kinder e Hingelmann (1964), os registros mais antigos de obras de contenção apontam para muros de alvenaria de argila contendo aterros na região sul da Mesopotâmia (Iraque) construídos por sumerianos entre 3.200 e 2.800 a.C.. Obras construídas seguindo preceitos de engenharia moderna começaram a surgir apenas no início do século 18, frutos de trabalhos de engenheiros franceses. A engenharia moderna de obras de contenção iniciou-se com o trabalho de Coulomb publicado em 1776, sobre regras de máximos e mínimos aplicadas a estrutura de arrimo, o que causou enorme impacto na concepção dessas estruturas. O desenvolvimento desta

ciência, naquela época, fora motivado pela expansão colonizadora européia, iniciada no século 16, que requereu a construção de diversas estruturas de defesa e fortificações militares, em locais e terrenos os mais variados possíveis, em quase todos os continentes da Terra. Foram esses tipos de estrutura as primeiras obras de contenção a serem introduzidas no Brasil no século 18 (fortes costeiros) e que tiveram seu uso expandido para obras portuárias e de contenções urbanas no século 19, na Bahia e no Rio de Janeiro, com a vinda da Corte portuguesa. A difusão deste tipo de estrutura no Brasil só iria ocorrer no século 19, com a expansão das obras ferroviárias particulares (Imperial Estrada de Ferro de Petrópolis, 1854) e estatais (Companhia Estrada de Ferro Dom Pedro II, 1864).

5.2 Histórico e Antecedentes das Obras da Fernão Dias

Como a grande maioria dos empreendimentos públicos implantados no país, a duplicação da BR-381 também sofreu com a falta de planejamento e a carência de estudos e investigações adequadas. Este fato obrigou o projetista a dimensionar os taludes a serem cortados com a duplicação com poucas informações quanto às características dos materiais constituintes. A consequência imediata foi a ocorrência de inúmeros escorregamentos ocorridos com a obra em execução.

As inclinações dos taludes projetados para o lado de duplicação da via não eram compatíveis com seus parâmetros de resistência ao cisalhamento, daí o surgimento dos inúmeros problemas de estabilidade e até de colapso, em alguns casos. Os taludes de corte foram projetados com inclinação de 1H:1,5V (HORIZONTAL E VERTICAL), ângulos de mergulho com aproximadamente 56°.

Como solução primeira, surgiu, como sempre, o simples abatimento da inclinação das faces dos taludes para o tradicional 1H:1V (HORIZONTAL E VERTICAL), conferindo-os um ângulo de 45°. Esta solução, porém, deparou como uma série de problemas que a inviabilizou por completo. Para se reduzir as inclinações da face dos taludes, as sobre-escavações eram consideravelmente volumosas; as regiões estavam compreendidas em áreas de proteção ambiental permanente (Serra da Cantareira e

Serra de Mairiporã/Juquehy), restringindo a disposição dos materiais escavados em bota-foras, escassos na região, além de estarem localizados, em média, a cinco quilômetros dos taludes em pauta, encarecendo substancialmente em termos de momentos de transporte. Paralisações/desvios da via para que as detonações pudessem ser executadas eram atividades que também ocasionavam atrasos nos cronogramas, sem contar o aumento da possibilidade de acidentes decorrentes dessas intervenções.

Como se não bastassem esses contratempos, havia ainda o fator desapropriação. O abatimento implicava em novas faixas desapropriatórias contíguas às cristas dos taludes, não contempladas inicialmente e de difícil negociação com os proprietários. O tempo para efetivação destas negociações era demasiadamente prolongado, prejudicando por completo o cronograma do empreendimento (*ausência de projeto do processo*).

Desta forma, foi proposta a caracterização dos maciços instáveis e envolvidos no processo e, desta forma elaborar o estudo das soluções de estabilização.

Observa-se que o 'trato' de tais problemas como foi realizado, é típico nas grandes obras, principalmente no trato de problemas relacionados aos cortes em solo e rocha, ou à engenharia geotécnica, em muitos casos, e leva a resultados que, se não catastróficos, implicam em acréscimos de custos e extensão de prazo de execução do empreendimento, muito além do que seria desejável.

As características peculiares da área estudada, após o início das obras, quanto à quantidade de afloramentos, excelente condição de acesso, características geológico-geotécnicas e problemas de cunho desapropriatórios, tornaram-na um sítio propício ao entendimento e verificação dos mecanismos de escorregamentos dos maciços interceptados pela obra que por sua vez embasaram o trabalho de *dimensionamento e quantificação dos dispositivos de contenção dos pontos instáveis (correção) e possibilitou avaliar criticamente quais as dificuldades de se projetar e implantar um grande empreendimento público no Brasil*. Pôde-se também, verificar o

comportamento estrutural de alguns núcleos expostos do embasamento, diversos maciços granitóides intrusivos e importantes parcelas dos metassedimentos da faixa São Roque e conseqüentemente dimensionar, para cada tipo litológico, as estruturas de contenção mais adequadas.

5.3 Análises e Métodos de Estabilização de Taludes

Hachich (1998) afirma que, “após a fase de concepção, a primeira providência para projetar uma estrutura econômica e, ao mesmo tempo, garantir sua segurança é a previsão do seu comportamento sob as ações a que ela estará sujeita na sua vida útil” – fase do projeto denominada análise (ou “cálculo”), na qual é quantificado o comportamento das estruturas.

O mesmo autor faz referência aos vários critérios de projeto e enfatiza que cada um é caracterizado *pela sistemática de introdução da segurança e pela escolha do indicador de segurança*. Hachich coloca que cada método procura sistematizar a verificação da segurança e criar índices (ou coeficientes) que a tornem mensurável.

Análises de estabilidade de taludes, na prática da engenharia geotécnica, são processadas, na maioria das vezes, utilizando métodos de *equilíbrio limite*.

Hungr (1997) comenta que as análises de estabilidade de taludes através do *equilíbrio limite* foram desenvolvidas entre o início e praticamente a metade do século XX como uma extensão prática da teoria da plasticidade.

Uma das hipóteses comuns a esses métodos, é a de que o fator de segurança é *constante* ao longo da superfície potencial de ruptura. Conforme mencionado por Duncan (1972). Essa hipótese constitui uma limitação importante de qualquer método de equilíbrio limite.

Duncan e Wrigth (1980) afirmam que todos os métodos de análise através do *equilíbrio limite* têm quatro características em comum:

- Todos utilizam a seguinte definição do fator de segurança:

$$F = s / \tau = \text{resistência ao cisalhamento do solo} / \text{tensão de cisalhamento requerida para o equilíbrio}$$

Aplicar um fator de resistência ao cisalhamento é apropriado pois, avaliar esse parâmetro envolve normalmente grande incerteza quando se refere às aplicações práticas de análises de estabilidade de talude;

- Todos assumem que os parâmetros de resistência são independentes do comportamento da tensão – deformação;
- Todos usam algumas ou todas as equações de equilíbrio para calcular valores médios de τ e σ_n em cada fatia, onde σ_n é a tensão normal na base da fatia. σ_n é solicitada para determinar a resistência à ruptura por cisalhamento usando a seguinte equação:

$$s = c + \sigma_n \tan \phi$$

onde c e ϕ são parâmetros de resistência Mohr-Coulomb;

- Já que as forças envolvidas em métodos de equilíbrio são estaticamente indeterminadas, todos os métodos empregam suposições para fazer o balanço entre equações de equilíbrio e o número de incertezas no problema.

Os métodos mais comumente usados para análise de estabilidade de talude devida a massa acima de uma suposta superfície de deslizamento em fatias verticais. Este procedimento é utilizado para acomodar a condição onde as propriedades do solo e a pressão neutra variam através do talude. As forças que atuam numa fatia típica são mostradas na Figura 5.1.

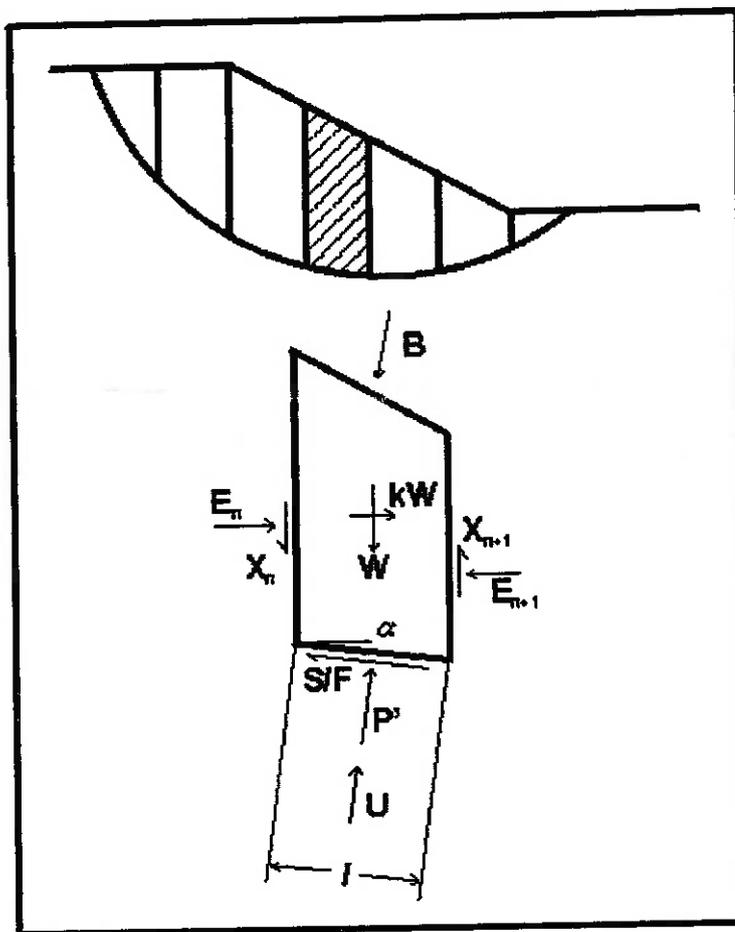


Figura 5.1 Forças atuando em uma fatia típica (Duncan e Wright, 1980)

W = peso da fatia

KW = força sísmica aplicada no centro da fatia

S/F = cisalhamento mobilizado na base da fatia

P' = forças normais efetivas na base

U = pressão da água na base

B = resultante das forças limites

X = força vertical

E = força horizontal

Como relatado anteriormente, métodos de equilíbrio empregam suposições para determinar o problema estaticamente. A mais crítica destas suposições aplica-se às

forças X e E. A figura 5.2 mostra que a suposição envolve forças paralelas para vários dos métodos mais comuns.

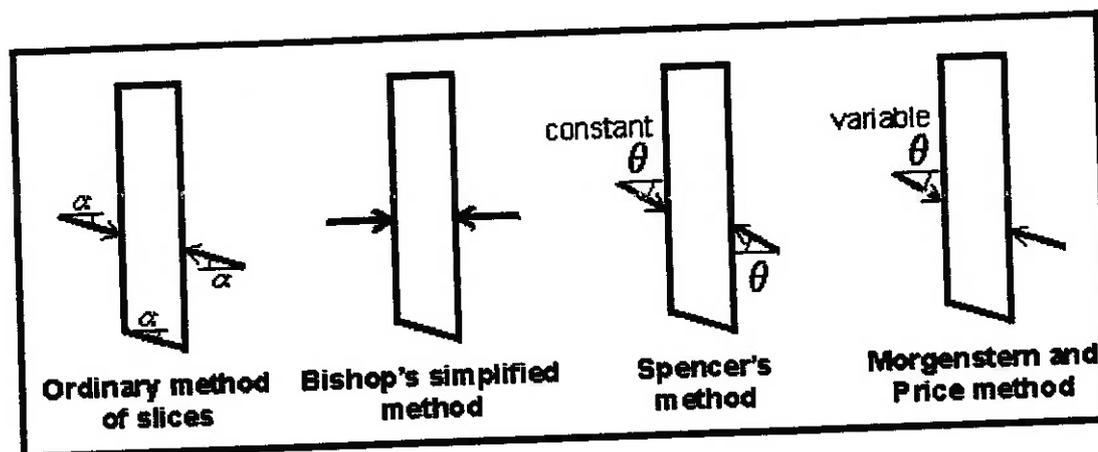


Figura 5.2 Diferenças entre as suposições no que diz respeito às forças paralelas nos métodos mais comuns de análise de estabilidade de taludes (Duncan e Wright, 1980)

Guidicini e Nieble (1976) agrupam os métodos de análise da seguinte forma:

MÉTODOS DE ANÁLISE	TIPOS DE ANÁLISE
Estudos em modelos físicos	Fenomenológica e de projeto
Modelos matemáticos	Elementos finitos e relaxação dinâmica
Equilíbrio limite	Gráfica e analítica

Esses autores reconhecem que os especialistas aceitam o fator de segurança como um índice relativo, utilizando para analisar a sensibilidade do projeto a mudanças em parâmetros significativos. Dessa forma, deve-se utilizar dois critérios de análise:

- Para a condição de equilíbrio limite (Fator de Segurança $FS = 1$) – calcular o valor de um parâmetro importante necessário para satisfazer a essa condição, sendo a análise executada para variações dos outros parâmetros;

- Aquilatar a sensibilidade do fator de segurança a variações no valor de um parâmetro, mantendo os outros constantes.

Segundo Vargas (1974), os taludes de terra e rochas alteradas deslizam ao longo de superfícies de rupturas, cuja geometria está diretamente relacionada aos parâmetros de resistência dos solos (coesão e ângulo de atrito) e seu ângulo de face.

O autor cita três métodos para cálculo de estabilidade e admite que as superfícies potenciais de ruptura tenham traços simples.

- O primeiro método – *Método de Rendulic* – admite que o traço da superfície seja uma espiral logarítmica, pois nela o ângulo do raio vetor da espiral com a normal à curva é uma constante. Quando se toma esse ângulo igual ao ângulo de atrito interno do solo, tem-se assegurado o fato de que a resistência de atrito do solo ao longo da superfície de ruptura fará com essa um ângulo constantemente igual ao ângulo de atrito satisfazendo, dessa forma, a teoria do atrito.
- O segundo método considerado por Vargas é o *Método Ordinário das Fatias (Fellenius, 1927)*. Neste, admite-se como superfície de ruptura um círculo que, no caso de taludes com grandes inclinações, passa sempre pelo “pé do talude” e, no caso de pequenas inclinações é tangente ao substrato firme. O conceito básico para utilização desse método consiste em dividir o círculo de escorregamento em várias lamelas, levando-se em conta suas características geométricas e as componentes tangencial e normal da força peso (da lamela). Essas forças devem ser equilibradas pela resistência de atrito e coesão ao longo da superfície circular de ruptura. Para que não haja escorregamento, é necessário que os momentos resistentes em relação ao centro da superfície sejam “n” vezes maiores que as forças atuantes. Encontra-se, no Anexo I, a planilha eletrônica para cálculo do fator de segurança segundo esse método.

Hungr (1997) coloca que o *Método de Fellenius* foi desenvolvido para projetos de

taludes de corte em argila ao longo de ferrovias suecas. Como complemento do que descrito por Vargas (1974), Hungr coloca que nesse método, as forças verticais entre as lamelas devem ser ignoradas e que a resultante lateral das forças que atuam numa lamela é paralela à base da lamela, conforme mostrado na figura 5.2. Afirma ainda que pode ser utilizado para taludes não homogêneos e é adequado para cálculos manuais, porém com resultados conservadores. No Anexo I do presente trabalho são apresentadas as planilhas eletrônicas de cálculo de estabilidade por esse método.

- O terceiro e último método considerado por Vargas (1974) é o *Método do Círculo de Atrito*. Segundo o autor, trata-se de um método inteiramente gráfico que preconiza um corpo apoiado sobre um plano, onde sobre ele atua uma força vertical N e uma tangencial T . Sendo μ o coeficiente de atrito, o corpo somente entrará em movimento se $T > \mu N$ (μN é chamada reação de atrito).

Hungr (1997), além do Método Ordinário das Fatias (Fellenius) descrito anteriormente, considera os seguintes métodos de cálculos de estabilidade de taludes:

- *Método de Bishop Simplificado*: foi desenvolvido para superfícies de escorregamento circulares. Utiliza equilíbrio das forças verticais e as condições de equilíbrio dos momentos, mas não considera o equilíbrio das forças horizontais, assumindo que a resultante da força entre as lamelas seja horizontal. Esse método exige uma solução iterativa implícita de equações de equilíbrio que convergem, normalmente, para não mais que cinco interações. Embora mais trabalhoso que o método ordinário é, notavelmente estável e eficiente, fornecendo resultados acurados quando comparados com métodos mais rigorosos. É ainda, hoje em dia, rotineiramente utilizado. A planilha eletrônica para cálculo do fator de segurança de taludes segundo esse método, encontra-se no Anexo I.

Fan *et. al* (1986) aplicaram o Método de Bishop Simplificado para superfícies não

circulares. Nessa modificação, o momento de cada força normal é adicionado à equação de equilíbrio de momento global. O Fator de Segurança torna-se, então, dependente da posição vertical do centro de momentos considerado. O centro pode ser escolhido como sendo de um círculo que intercepta os pontos finais e o ponto médio da superfície de ruptura. O método fornece resultados comparáveis a outros métodos considerados a seguir.

As forças atuantes numa lamela típica são mostradas na figura 5.3 e consiste de:

- o peso da fatia, W ;
- a pseudo-estática força sísmica, kW , aonde k é o coeficiente sísmico;
- força da pressão neutra, $U (= u \times l)$;
- a força normal efetiva na base, P' ;
- a força de cisalhamento mobilizada, $S/F [= (c' + P' \tan \Phi') / F]$;
- a resultante das forças de contorno paralelas e perpendiculares ao topo da lamela, N e M ;
- as forças de escorregamento horizontais, E_n e E_{n+1} ;

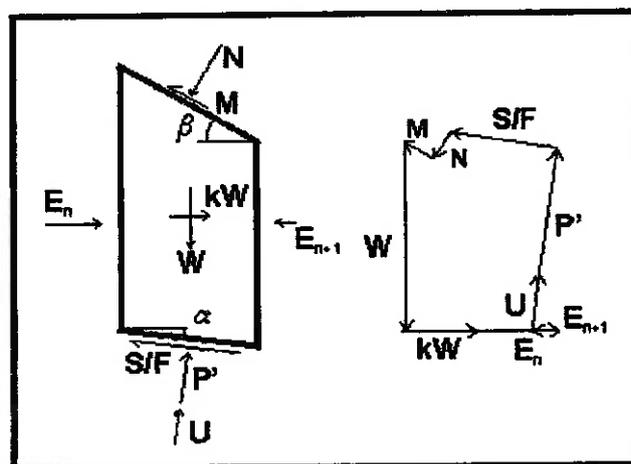


Figura 5.3 Polígono de forças para o Método de Bishop Simplificado (Bishop, 1954)

- **Método de Morgenstern-Price** (Morgenstern e Price, 1965): método proposto em 1965 por Morgenstern e Price. É rotineiramente utilizado como um método

“marco” para superfícies de escorregamento não circulares. Requer que o usuário especifique uma função descrevendo a variação do ângulo θ (figura 5.2) das forças resultantes entre as fatias ao longo de todo o comprimento do escorregamento. Hugn coloca que o objetivo dessa proposição é aumentar a mobilização do atrito nas superfícies verticais, que é exigida cinematicamente por uma grande curvatura da superfície de escorregamento. Na prática, funções simétricas ou triangulares são freqüentemente utilizadas (Fun *et. al.*, 1986), dando a entender que as tensões de cisalhamento vertical são mobilizadas numa grande extensão próxima ao meio do escorregamento.

Trata-se de um método que considera, nos seus cálculos, somente as equações dos momentos de cada lamela. É atualmente considerado como uma extensão do Método de Spencer (Spencer, 1967) que será descrito mais adiante. O polígono de forças para o Método de Morgenstern – Price é caracterizado na figura 5.4 a seguir:

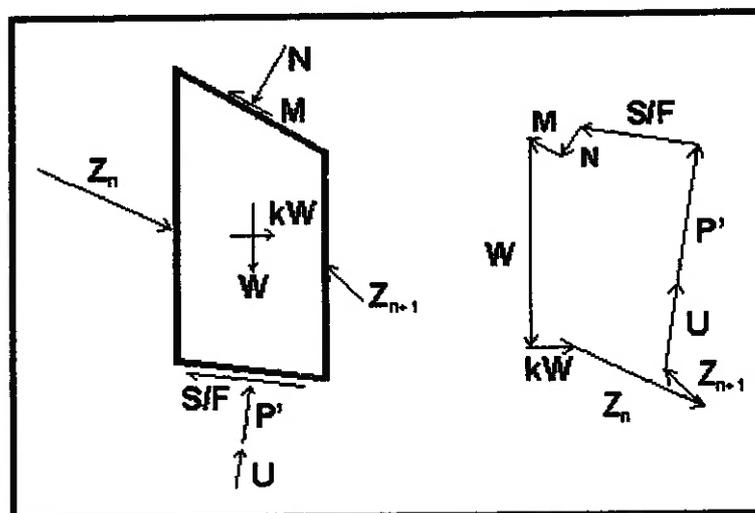


Figura 5.4 Polígono de forças para o Método de Morgenstern – Price (Morgenstern and Price, 1965)

- **Método de Spencer** (Spencer, 1967): trata-se de um caso especial do Método de

Morgenstern-Price, implicando numa inclinação constante θ das forças entre as fatias (figura 5.2). Em outras palavras, esse método assume uma mobilização constante do atrito em todas as partes do corpo escorregado.

A lamela típica e o correspondente polígono de forças estão na figura 5.5 a seguir:

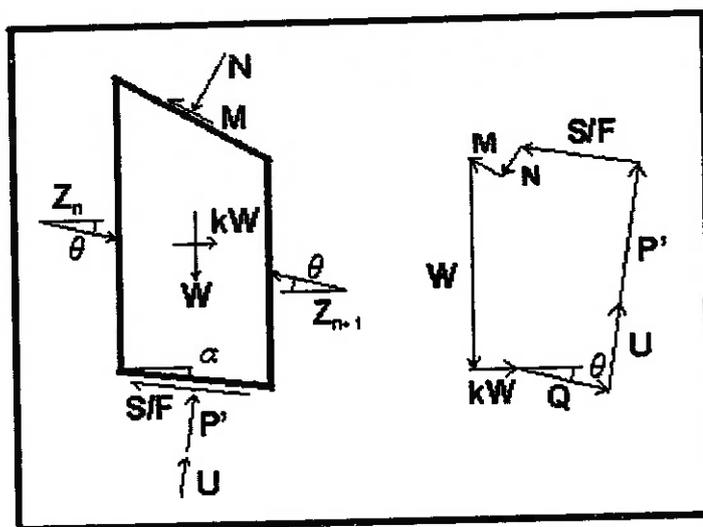


Figura 5.5 Polígono de forças para o Método de Spencer (Spencer, 1967)

Tanto Morgenstern-Price quanto Spencer, segundo Hugn, são métodos rigorosíssimos, onde as condições de equilíbrio devem ser satisfeitas. Os dois requerem aproximadamente de 5 a 10 vezes mais iterações que o Método de Bishop Simplificado.

- **Método de Janbu Simplificado:** método desenvolvido para superfícies de ruptura não circulares e pode ser considerado tão eficiente quanto o Método de Bishop Simplificado. Considera a existência de forças horizontais entre as lamelas. Esse método não leva em consideração o equilíbrio dos momentos e tende a subestimar o Fator de Segurança para superfícies de rupturas profundas. A planilha eletrônica para o cálculo do fator de segurança de taludes segundo esse método encontra-se no Anexo I.

- **Método de Sarma** (Sarma, 1973): método que analisa situações de rupturas não circulares, onde as forças entre as lamelas são totalmente determinadas pelo projetista, que especifica sua inclinação com relação limite das 'fatias'. Em outras palavras, Hugn salienta que o projetista pré-determina o grau de mobilização da resistência interna. As lamelas podem ter a forma de blocos trapezoidais com seus limites inclinados. Os pontos de aplicação das forças entre os blocos são obtidos das condições de equilíbrio dos momentos.

O grau considerado de mobilização da resistência interna influencia o valor do Fator de Segurança. Como exemplo disso, Hugn coloca que se forem consideradas lamelas verticais com uma resistência interna muito baixa, o resultado pode se aproximar daquele obtido com o Método de Bishop Simplificado. Caso contrário, se se considerar uma grande mobilização das resistências internas, o Fator de Segurança pode ser igual ou maior do que o obtido com o Método de Morgenstern-Price.

Conseqüentemente, a seleção da mobilização da resistência ao cisalhamento interna no Método de Sarma pode ser feita criteriosamente, considerando a cinemática e a inexistência relativa dos vários componentes do mecanismo de ruptura.

- **Método do Equilíbrio Limite Geral (ELG)**: o Método do equilíbrio Limite Geral utiliza as seguintes equações da estática para obtenção do Fator de Segurança:
 - A somatória das forças na direção vertical para cada lamela. A equação é calculada para a força normal à base da lamela, N ;
 - A somatória das forças na direção horizontal para cada lamela é utilizada para computar a força normal interlamelas, E . Essa equação é aplicada numa integração de modo que atravesse a massa escorregada (da esquerda para a direita, por exemplo);
 - A somatória dos momentos sobre um ponto em comum a todas as lamelas. A

equação pode ser rearranjada e calculada para o Fator de Segurança do equilíbrio de momentos, F_m :

- A somatória das forças na direção horizontal para todas as fatias, obtendo-se o Fator de Segurança do equilíbrio de forças, F_f .

Os fatores de segurança são calculados com base no equilíbrio de momentos (F_m) e no equilíbrio de forças (F_f). Dessa forma, o Fator de Segurança no Método de Equilíbrio Limite Geral satisfaz tanto o equilíbrio de forças como de momentos que convergem para o Fator de Segurança Final do ELG.

- **Método de Lowe-Karafiath:** esse método satisfaz apenas as condições de equilíbrio de força para a inclinação total. O sentido da força resultante entre as lamelas é considerado igual à inclinação média da superfície do talude e da superfície de escorregamento (superfície da base das lamelas). A figura 5.6 mostra a função que seria gerada para uma superfície composta de escorregamento.

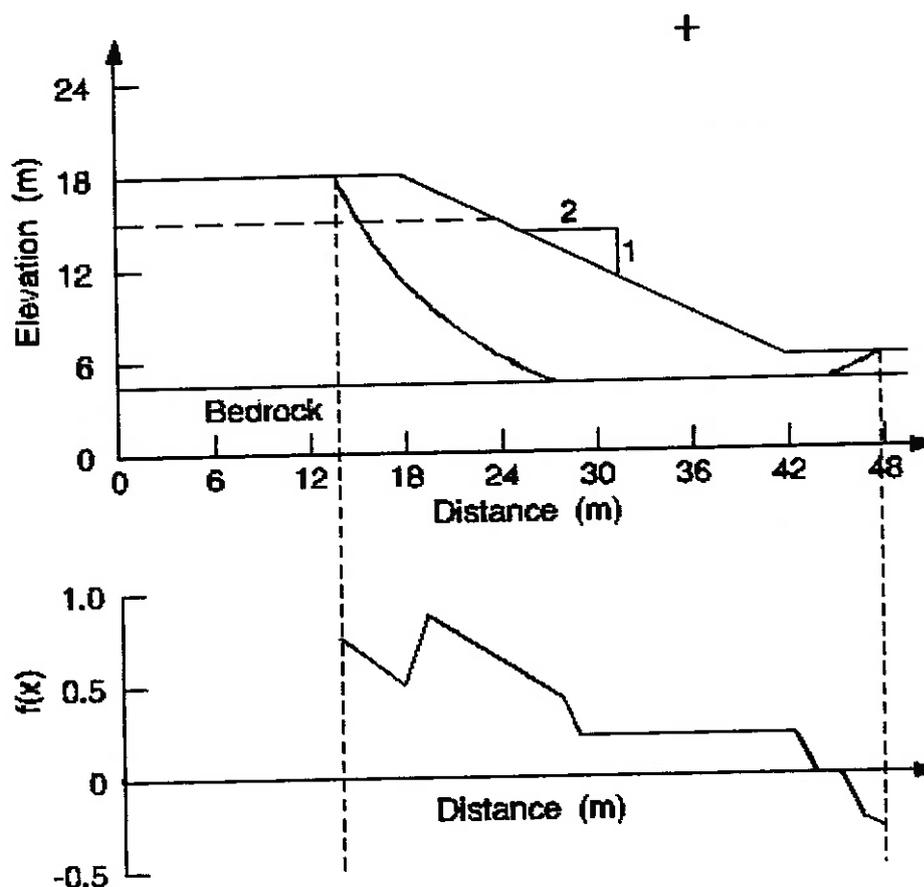


Figura 5.6 Suposição do sentido da força resultante entre as lamelas no Método de Lowe-Karafiath (superfície composta de escorregamento) (Lowe, 1967)

- **Método do Corpo de Engenheiros:** esse método, assim como o de Lowe-Karafiath, satisfaz ao equilíbrio de forças para a inclinação total. O sentido da força entre as lamelas é considerado somente igual à inclinação média da superfície do talude. Isso é interpretado como a igualdade entre a inclinação média da superfície compreendida entre os pontos de entrada e saída (extremidades) da superfície de escorregamento (suposição nº 1 – ‘assumption’ nº 1) ou com a resultante das forças entre as lamelas com a inclinação variável em função da superfície do talude acabada (suposição nº 2 – ‘assumption’ nº 2) – figura 5.7. Ou seja, para a suposição nº 2, a inclinação das forças entre as lamelas muda com a mudança da geometria da face do talude.

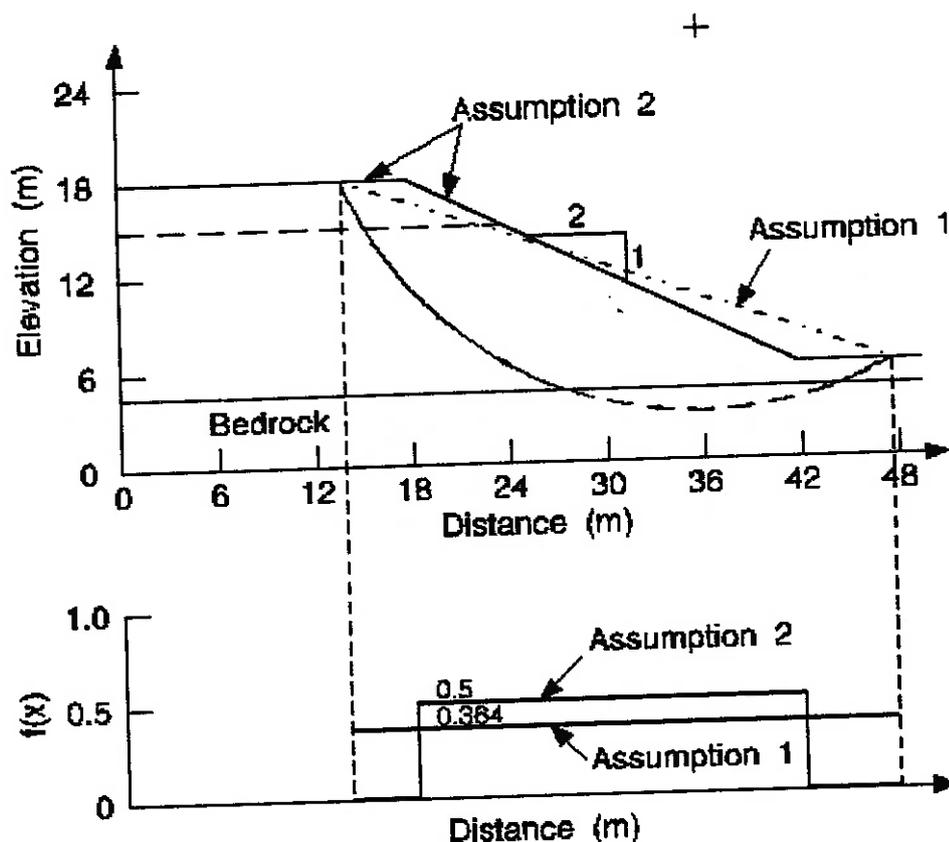


Figura 5.7 Suposição do sentido da força resultante entre as lamelas no Método do Corpo de Engenheiros

Guidicini e Nieble (1976) complementam, para rupturas circulares, além dos três métodos de cálculo de estabilidade citados por Vargas (1974) (Rendulic ou Espiral Logarítmica, Sueco ou das Fatias e Círculo de Atrito) com as seguintes metodologias:

- **Ábacos de Taylor:** Taylor, em 1937, com o objetivo de facilitar a análise de estabilidade de taludes pelo processo do círculo de atrito, desenvolveu os ábacos apresentados na figura 5.8.

- **Gráficos de Bishop e Morgenstern:** Cruz (1973) in Nieble e Guidicini (1976) relaciona os ábacos de Bishop e Morgenstern para cálculo expedito do coeficiente de segurança. Porém, menciona que algumas condições devem ser satisfeitas:
 - a resistência ao cisalhamento do talude pode ser representada em termos de tensões efetivas por: $s = c + \sigma_n \tan \phi$;
 - o parâmetro B, que expressa a relação entre a pressão neutra U e a pressão vertical do peso de terra (γh) deve ser aproximadamente constante ao longo da superfície de ruptura;
 - os taludes devem ser simples, ou seja, não devem apresentar bermas no seu 'pé' nem sobrecargas no seu topo;
 - quando o talude não se apoiar sobre material mais resistente, a equação da resistência e o parâmetro B devem ser aproximadamente os mesmos para o talude e fundação.

Segundo os autores, o fator de segurança pode ser dado por:

$$FS = m - Bn;$$

sendo m e n coeficientes de estabilidade.

Apresenta-se, nas figuras 5.9 (a-f) os ábacos propostos por Bishop e Morgenstern.

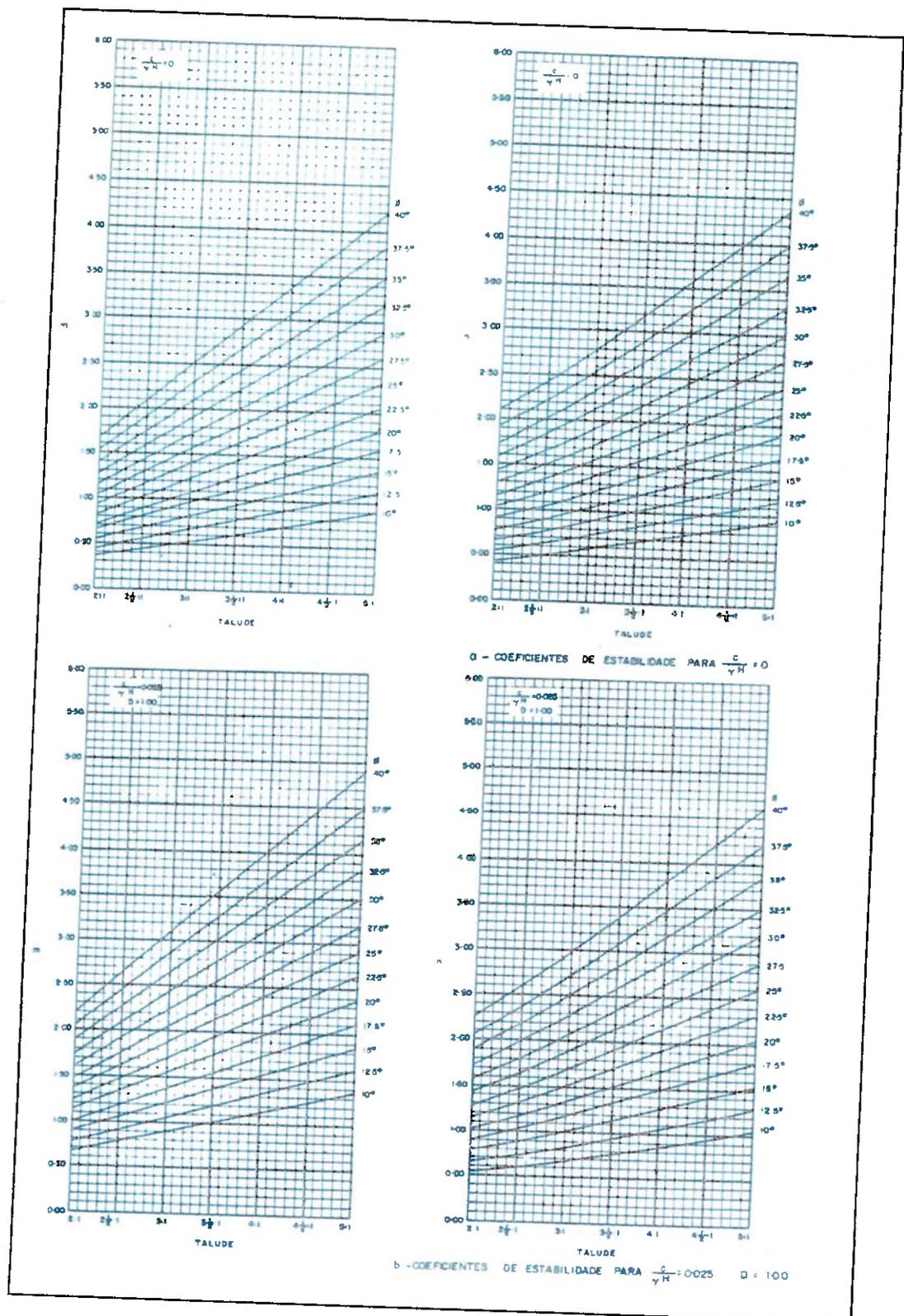


Figura 5.9 (a-b) Ábacos para cálculo de estabilidade de taludes de terra pelo Método Gráfico (Bishop e Morgenstern, apud Guidicini e Nieble, 1976)

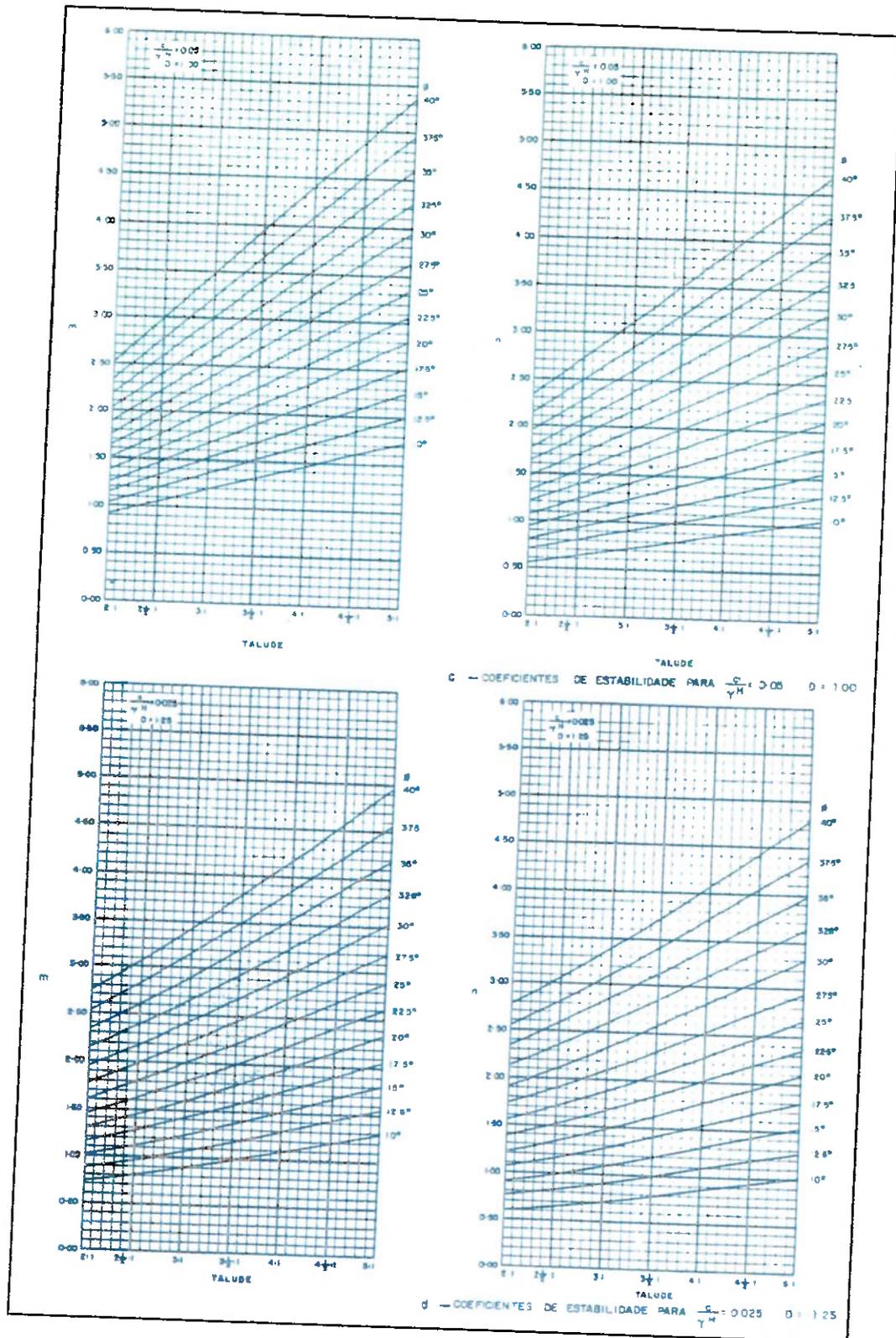


Figura 5.9 (c-d) Ábacos para cálculo de estabilidade de taludes de terra pelo Método Gráfico (Bishop e Morgenstern, apud Guidicini e Nieble, 1976)

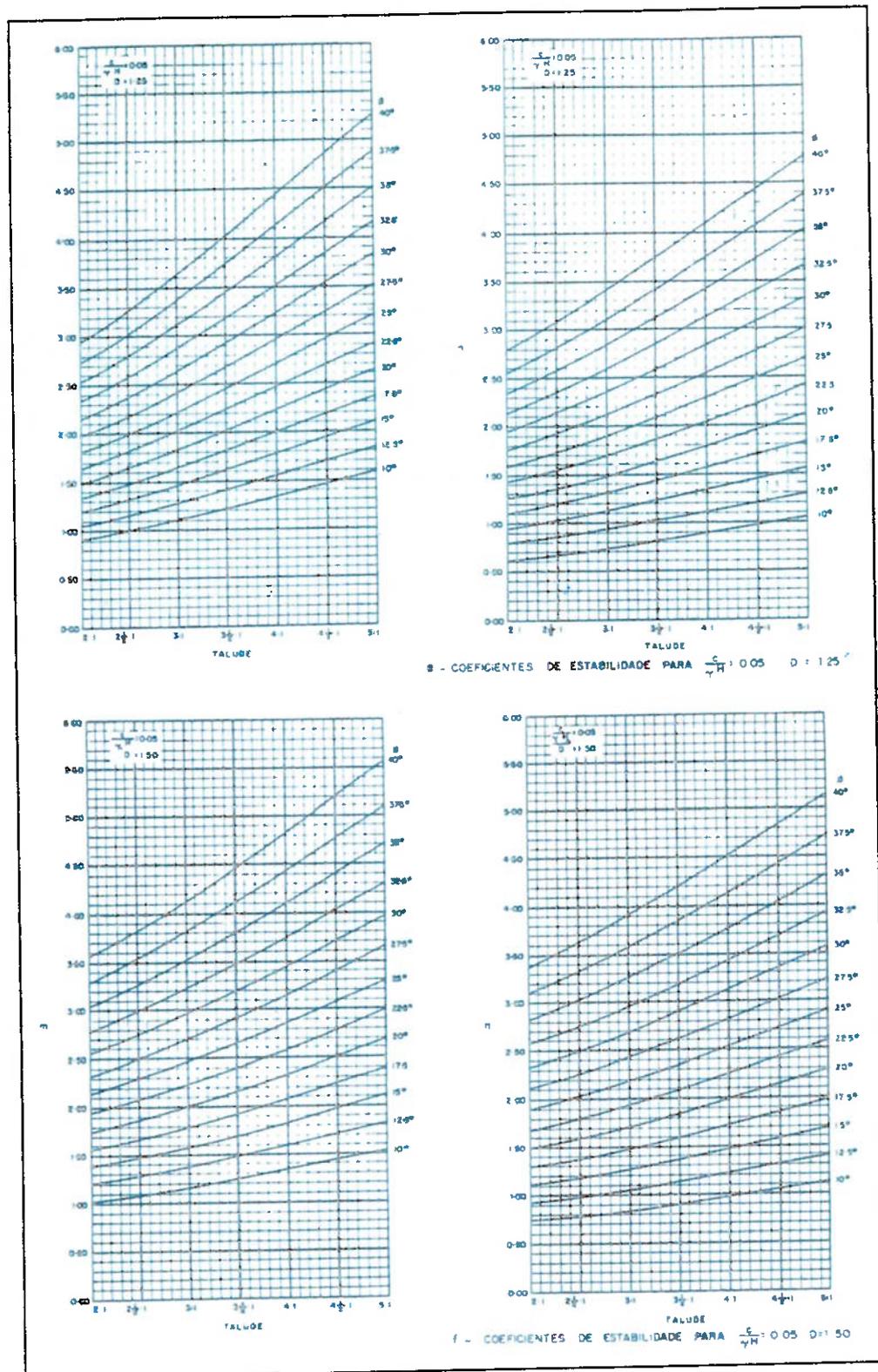


Figura 5.9 (e-f) Ábacos para cálculo de estabilidade de taludes de terra pelo Método Gráfico (Bishop e Morgenstern, apud Guidicini e Nieble, 1976)

- **Ábacos de Hoek e Bray:** Hoek (1970) (apud Nieble e Guidicini, 1976), baseado em análise dimensional do problema, adotou o procedimento de estabelecer ábacos expeditos para análise de estabilidade de taludes. Apesar desses ábacos não abrangerem todas as condições que podem ser colocadas em métodos de análise mais sofisticados, eles fornecem um fator de segurança que é adequado para a maioria das finalidades práticas. Formularam as seguintes hipóteses:
 - o material que constitui o talude, supõe-se, é homogêneo, isto é, suas propriedades mecânicas não variam com a direção de carregamento;
 - a resistência ao cisalhamento do material é dada pela equação $s = c + \sigma_n \tan \phi$;
 - a ruptura ocorre numa superfície circular que passa pelo 'pé' do talude;
 - uma fenda de tração vertical ocorre no topo ou na face do talude;
 - o posicionamento da fenda de tração e da superfície de ruptura é tal que o fator de segurança é mínimo para a geometria do talude e para as condições de água subterrânea consideradas;
 - é considerada, na análise, uma variação nas condições de água subterrânea desde um talude seco a um talude totalmente saturado sob carga pesada.

Ao ábacos para cálculo de estabilidade, considerando-se as superfícies de ruptura circular, são apresentados nas figuras 5.10 e 5.11 (a-e).

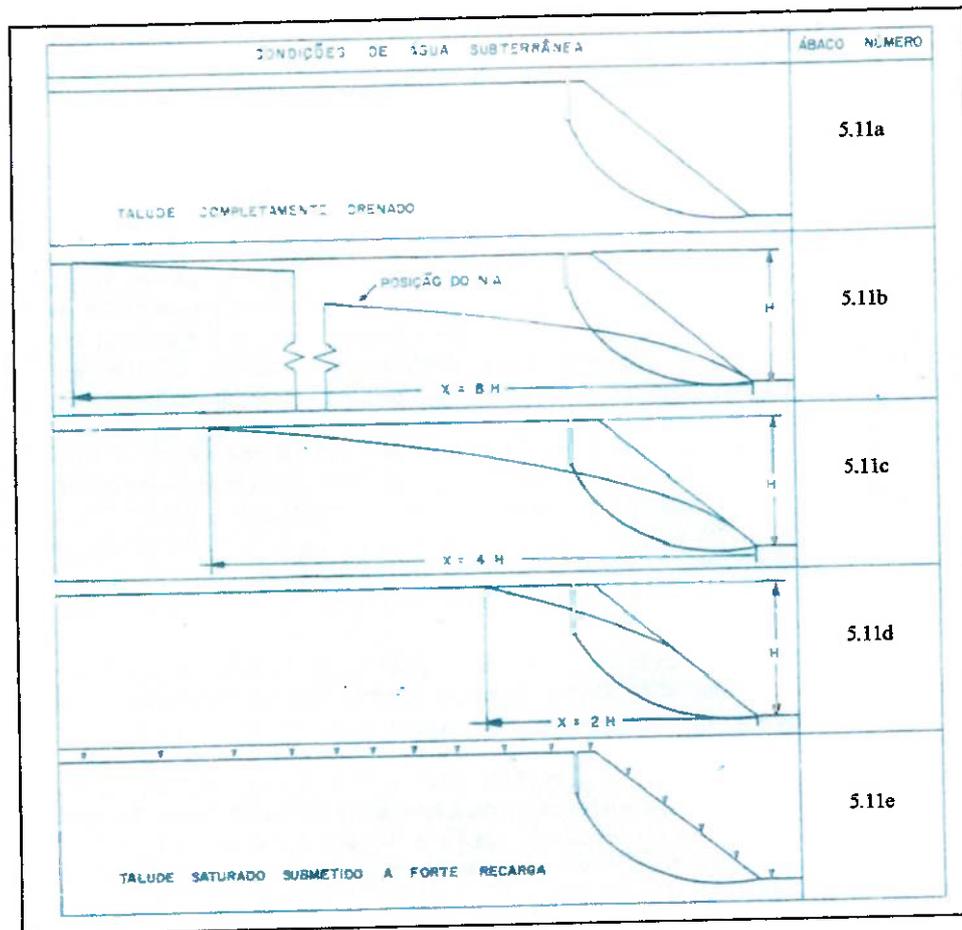


Figura 5.10 Representação das condições de água subterrânea admitidas na análise de ruptura circular para utilização dos ábacos da figura 5.11 (Hoek e Bray, apud Guidicini e Nieble, 1976)

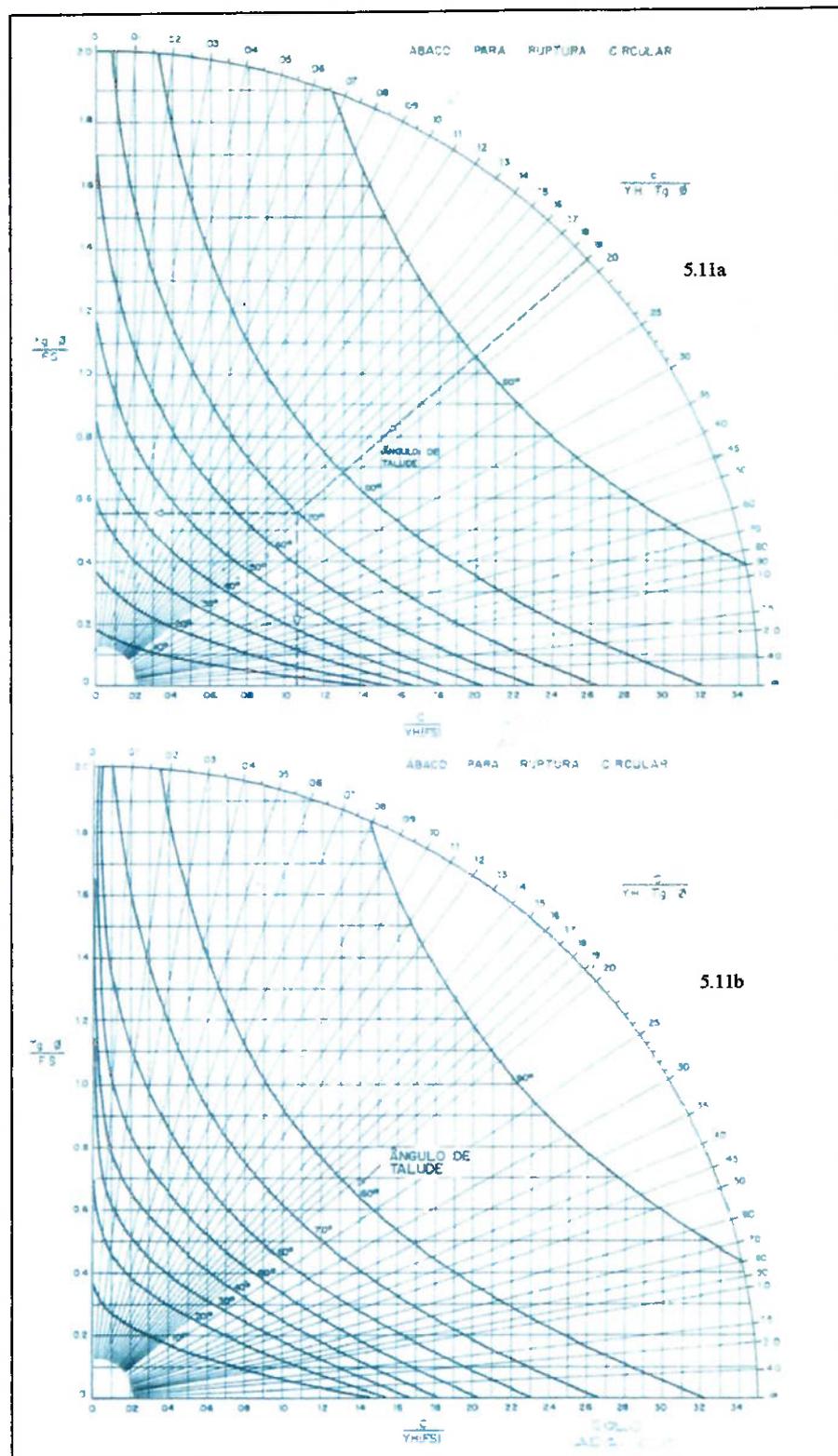


Figura 5.11 (a-b) Ábacos para cálculo de estabilidade no caso de ruptura circular (Hoek e Bray, apud Guidicini e Nieble, 1976)

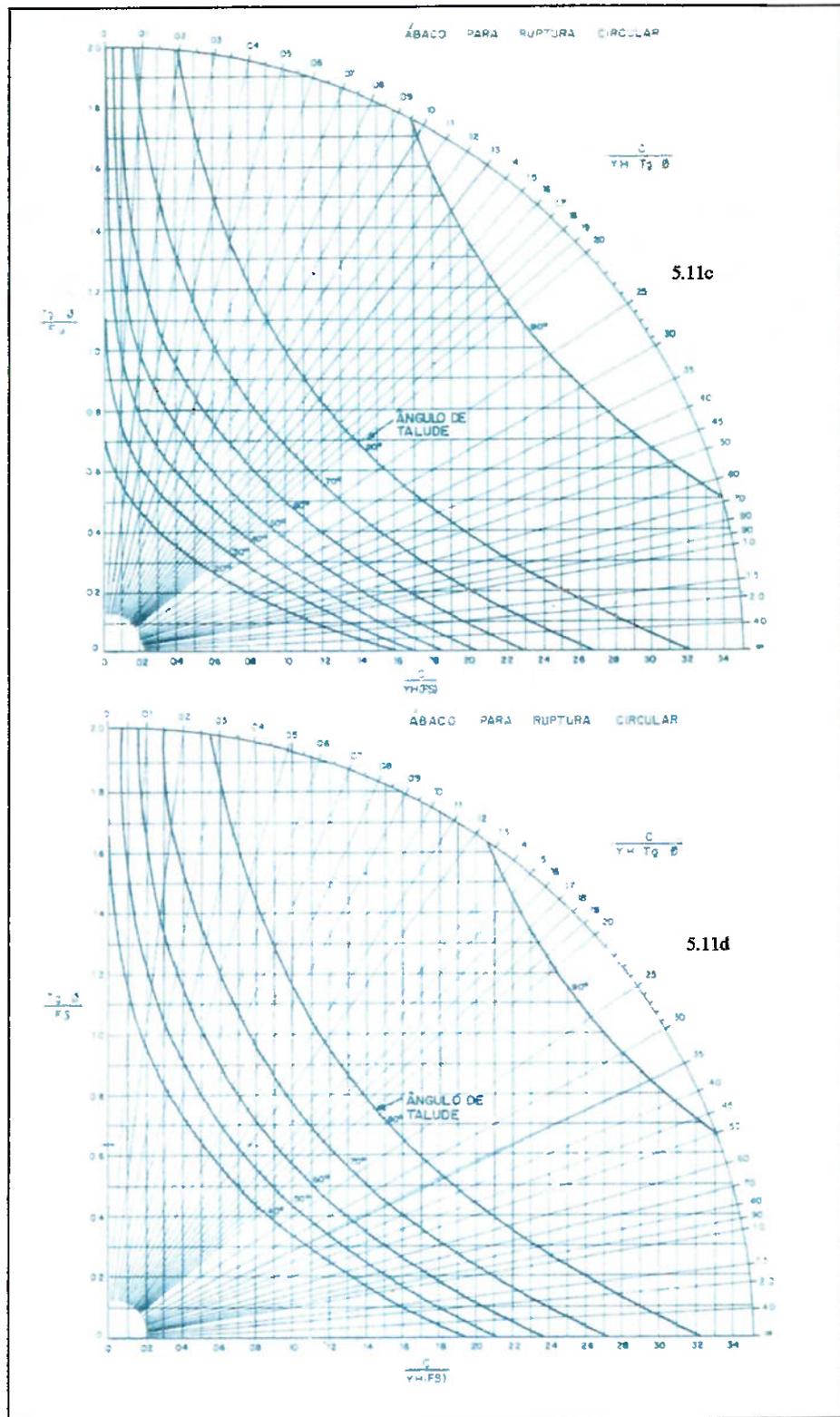


Figura 5.11 (c-d) Ábacos para cálculo de estabilidade no caso de ruptura circular (Hoek e Bray, apud Guidicini e Nieble, 1976)

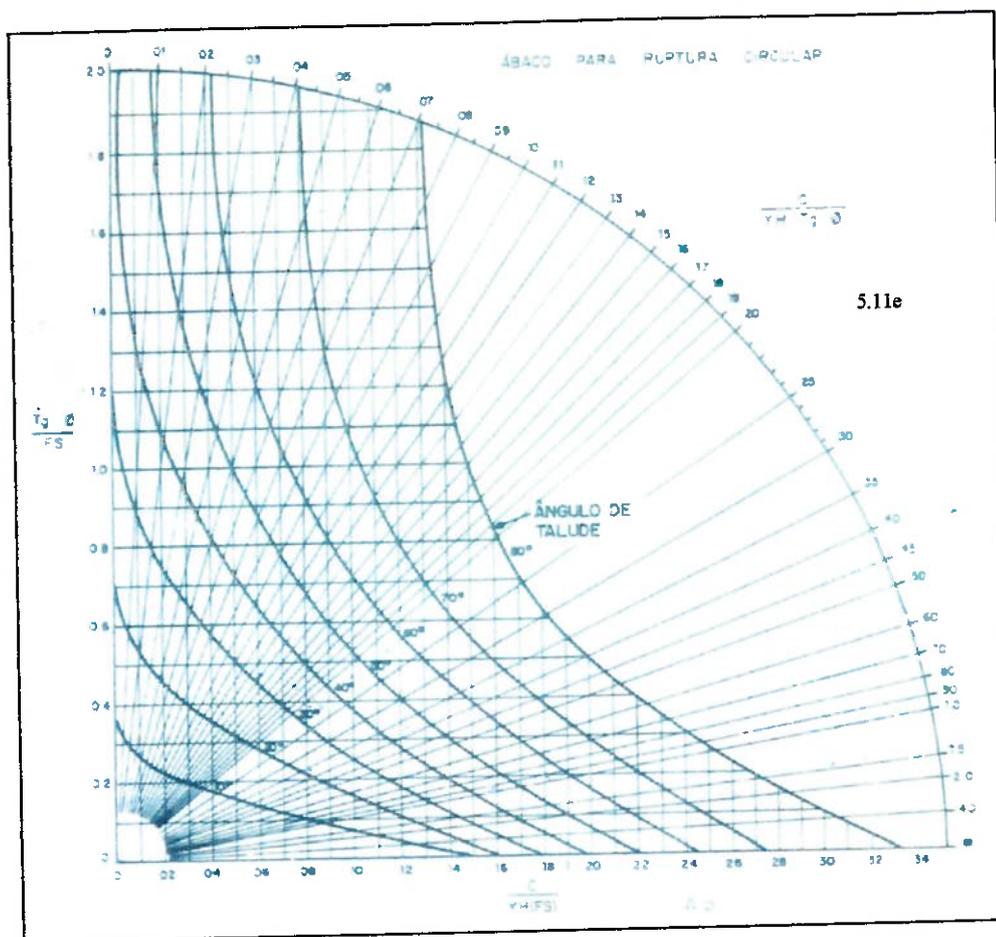


Figura 5.11 (e) Ábacos para cálculo de estabilidade no caso de ruptura circular (Hoek e Bray, apud Guidicini e Nieble, 1976)

Para superfícies de rupturas planares, Hoek e Bray (1981) colocam as seguintes condições geométricas necessárias para o escorregamento ocorrer num único plano:

- o plano deve ter direção paralela ou subparalela à face do talude;
- o mergulho do plano deve ser inferior ao mergulho da face do talude;
- o mergulho do plano de ruptura deve ser maior que o ângulo de atrito no plano;
- superfícies de alívio devem prover resistências laterais desprezíveis ao escorregamento, ou ainda, não existirem.

A análise de estabilidade planar, segundo Guidicini e Nieble (1976), pode ser realizada graficamente ou por meio de ábacos também.

Nos casos específicos (Trecho 6 – entre as estacas 5152 e 5169 – km 72,640 e km 72,980) desse trabalho, a solução gráfica foi utilizada com sucesso.

5.3.1 Correlações entre os vários métodos

As formulações e as soluções gerais das metodologias de cálculo de estabilidade de taludes através do equilíbrio limite podem ser utilizadas para simular a maioria dos métodos das fatias ou lamelas. Do ponto de vista teórico, os vários métodos das lamelas podem ser caracterizados nos termos de satisfação das condições de equilíbrio estático e da suposição com respeito às forças entre as lamelas.

A tabela 5.1 sintetiza as condições de satisfação do equilíbrio estático por vários dos métodos das lamelas. A tabela 5.2 agrupa as suposições em cada um dos métodos para atender a análise determinada.

Método	Equilíbrio Da Força		Equilíbrio dos Momentos
	1. sentido (vertical)*	2. sentido (horizontal)*	
Ordinário ou Fellenius	Sim	Não	Sim
Bishop Simplificado	Sim	Não	Sim
Janbu Simplificado	Sim	Sim	Não
Janbu Generalizado	Sim	Sim	**
Spencer	Sim	Sim	Sim
Morgenstem-Price	Sim	Sim	Sim
ELG	Sim	Sim	Sim
Corpo de Engenheiros	Sim	Sim	Não
Lowe-Karafiath	Sim	Sim	Não

* Alguns dos dois sentidos ortogonais podem ser selecionados para o cálculo da soma das forças.

** equilíbrio dos momentos é utilizado para calcular as forças de cisalhamento entre as lamelas

Tabela 5.1 Condições de satisfação do equilíbrio limite estático por vários dos métodos das lamelas (Mitchel e Villet, 1987)

Método	Suposição
Ordinário ou Fellenius	As forças entre as lamelas são negligenciadas.
Bishop Simplificado	As forças resultantes entre as lamelas são horizontais (isto é, não há nenhuma força de cisalhamento entre as lamelas).
Janbu Simplificado	As forças resultantes entre as lamelas são horizontais. Um fator empírico da correção, f , é usado corrigir forças de cisalhamento entre as lamelas.
Janbu Generalizado	A posição da força normal entre as lamelas é definida por uma suposta linha da pressão.
Spencer	As forças resultantes entre as lamelas são de inclinação constante ao longo de toda a massa deslizante.
Morgenstern-Price	O sentido das forças resultantes entre as lamelas é determinado usando uma função arbitrária. A porcentagem da função θ , requerida para satisfazer ao equilíbrio do momento e da força é computada com um processamento rápido.
ELG	O sentido das forças resultantes entre as lamelas é definido usando uma função arbitrária. A porcentagem de variação da função λ , requerida para satisfazer ao equilíbrio do momento e da força é computada fazendo-se o encontro do ponto de cruzamento de um fator da segurança contra a linha do λ .
Corpo de Engenheiros	O sentido da força resultante entre as lamelas é: i) igual à inclinação média do começo à extremidade da superfície do deslizamento ou ii) paralela à superfície do talude.
Lowe-Karafiath	O sentido da força resultante entre as lamelas é igual à inclinação média da face do talude.

Tabela 5.2 Suposições em cada um dos métodos para atender as análises determinadas (Mitchel e Villet, 1987)

A figura 5.12 mostra, graficamente, a comparação dos fatores de segurança obtidos por vários métodos de análise.

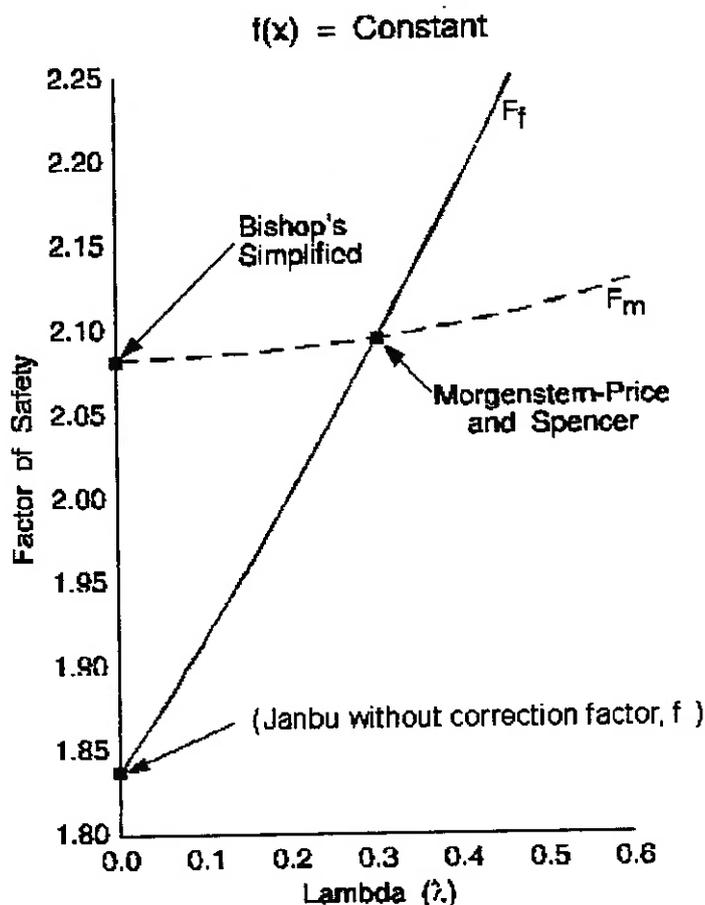


Figura 5.12 Comparações entre os fatores de segurança obtidos através de alguns métodos de cálculo (Mitchel e Villet, 1987)

5.3.2 Análise Probabilística de Estabilidade de Taludes

As análises determinísticas para estabilidade de taludes descritas anteriormente computam o fator de segurança com base em um 'jogo' fixo das circunstâncias

envolvidas e dos parâmetros dos materiais. Se o resultado obtido para o fator de segurança for maior que a unidade, a inclinação do talude é considerada estável. Caso contrário, se o fator de segurança for menor que a unidade, a inclinação é considerada instável ou susceptível de ruptura. As análises determinísticas sofrem limitações tais como a não consideração dos parâmetros de entrada e perguntas como “quão estável é a inclinação?”.

A análise probabilística de estabilidade de taludes permite a consideração da variabilidade dos parâmetros de entrada e quantifica a probabilidade de ruptura de um talude com uma dada inclinação. A grande maioria dos “softwares” utilizados para cálculo de estabilidade através de análises probabilísticas utiliza o Método de Monte Carlo.

Em uma análise probabilística, os parâmetros de entrada são considerados como um valor médio dos parâmetros e a sua variabilidade são considerados através da incorporação de ‘derivações-padrão’ desses parâmetros. Usualmente, é possível proceder a variação dos seguintes parâmetros:

- as propriedades dos materiais como seu peso específico, coesão e ângulos de atrito;
 - linhas das cargas atuantes;
 - linhas piezométricas;
 - coeficientes e parâmetros das barras;
 - coeficientes sísmicos.
-
- **Método de Monte Carlo:** o Método de Monte Carlo oferece soluções aproximadas a uma variedade de problemas matemáticos, trabalhando com experiências estatísticas de amostragem em um computador. Esse método pode ser aplicado a problemas com nenhum índice probabilístico, bem como àqueles com estrutura probabilística inerente. Entre todos os métodos numéricos que fazem avaliações dos ‘n’ pontos no espaço ‘m’ dimensional para produzir uma solução aproximada, o Método de Monte Carlo tem destaque especial segundo Yang *et. al.* (1993)

5.4 Sistematização dos processos de estabilização de taludes

Várias são as ponderações que devem ser procedidas antes de se propor qualquer sistema de estabilização para um talude qualquer.

Hoek e Bray (1981) propõem uma sistemática de planejamento de estabilização de taludes para minas a céu aberto e que pode ser extrapolada para taludes rodoviários com toda tranqüilidade. Esse programa está caracterizado na figura 5.13 e foi utilizado para detalhamento dos processos de estabilização e para definição dos processos de racionalização construtiva aos taludes mapeados e estabilizados, apresentados nesse trabalho.

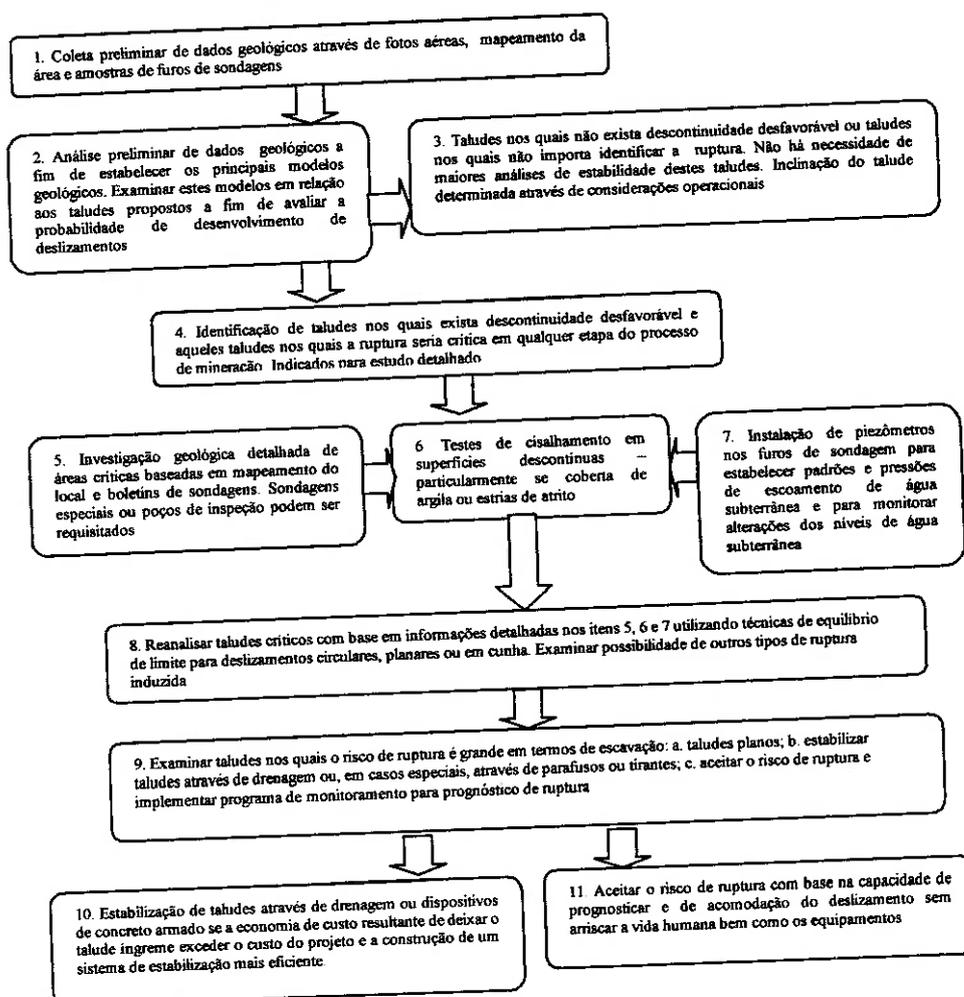


Figura 5.13 Planejamento de um programa de estabilização de taludes (Hoek e Bray, 1981)

Guidicini e Nieble (1976) discorrem que os processos preventivos ou corretivos de estabilização de taludes estão intimamente ligados às causas e aos agentes dos fenômenos de instabilização. Os autores apresentam a tabela 5.3 (modificada de Freire, 1965) que contém a “indicação de providências saneadoras dos escorregamentos, expostas ordenadamente segundo as causas preparatórias e imediatas principais e os modos de ação segundo os quais atuam”. Nessa tabela, tais providências foram agrupadas em sete categorias, segundo o fim pretendido, isso é:

- eliminação da água;
- atenuação do dessecação;
- atenuação da pressão da água;
- atenuação dos efeitos da gravidade;
- atenuação e controle da erosão;
- combate à ação do gelo e;
- diversos.

Como os processos de estabilização de taludes em materiais rochosos e terrosos são, em linhas gerais, basicamente os mesmos, a tabela 5.3 apresenta uma lista de processos corretivos, subordinada à classificação por objetivo, indiscriminando se os taludes são em rocha ou em solos.

Kanji (1997) relata que antes da proposição de qualquer medida de estabilização para um determinado talude, é de extrema importância a definição das situações envolvidas, isto é, se se trata de um talude *em projeto* ou *por construir* (caso em que diferentes alternativas de estabilização podem ser analisadas); se se trata de um *talude existente* com indícios de instabilização ou se se trata de um *talude já rompido*, a ser reconstituído.

Os casos estudados na presente dissertação e que serão mostrados mais adiantes, enquadram-se nos dois últimos casos citados por Kanji.

Nos três casos considerados pelo autor, a configuração da geometria do talude pode ser adotada com liberdade ou pode-se haver restrições, como nos casos projetados nesse trabalho, onde a geometria teve que ser estudada de forma a reduzir ao máximo os processos desapropriatórios das propriedades existentes nas regiões superiores dos taludes e os volumes de escavações, por inexistência de locais para depósitos desses materiais nas proximidades.

Na tabela 5.4, Kanji expõe as principais metodologias de estabilização de taludes.

PRINCIPAIS MÉTODOS DE ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES (Kanji, 1997)

PRINCÍPIO BÁSICO	MÉTODO DE ESTABILIZAÇÃO
Redução das Pressões Hidrostáticas	Drenagem Superficial (canaletas, revestimento vegetal, impermeabilização) Drenagem Interna (DHP's, galerias, drenos radiais, drenos de areia, geotêxteis filtrantes)
Redução das Tensões Cisalhantes	Suavização do Talude (suavização geral, corte no topo, berma no pé)
Introdução de Forças Resistentes	Estabilização sem pré-escavação (cortinas atirantadas, estacas, chumbadores/tirantes isolados) Estabilização exigindo pré-escavação e reaterro (muros de arrimo, solo reforçado com elementos a tração, grampeamento, geotêxteis ou geogrelhas, micro-ancoragem, terra-armada, pneu-solo)
Melhoria das Propriedades do Solo	Solo-cimento Inclusão de elementos de malha Injeções Químicas Sistemas Radiculares
Apoios Estruturais	Vigas verticais de concreto
Barreiras de Proteção	Muros de Impacto Cercas de Retenção Telas Metálicas

Tabela 5.4 Principais Métodos de Estabilização de Taludes (Kanji, 1997)

5.5 Comparativo de Custos de Obras

Com base no Manual Técnico de Encostas/GeoRio (2000), será apresentado neste item algumas comparações entre custos das principais soluções de obras de contenção, com o objetivo de fornecer uma orientação preliminar para a escolha da implantação da melhor solução em várias situações.

5.5.1 Hipóteses Preconizadas

Os tipos de obras que tiveram os seus custos comparados foram: muro de concreto armado em "L"; muro de concreto ciclópico; cortina ancorada e solução em solo grampeado. O esquema de cada uma dessas soluções encontra-se representado na figura 5.14.

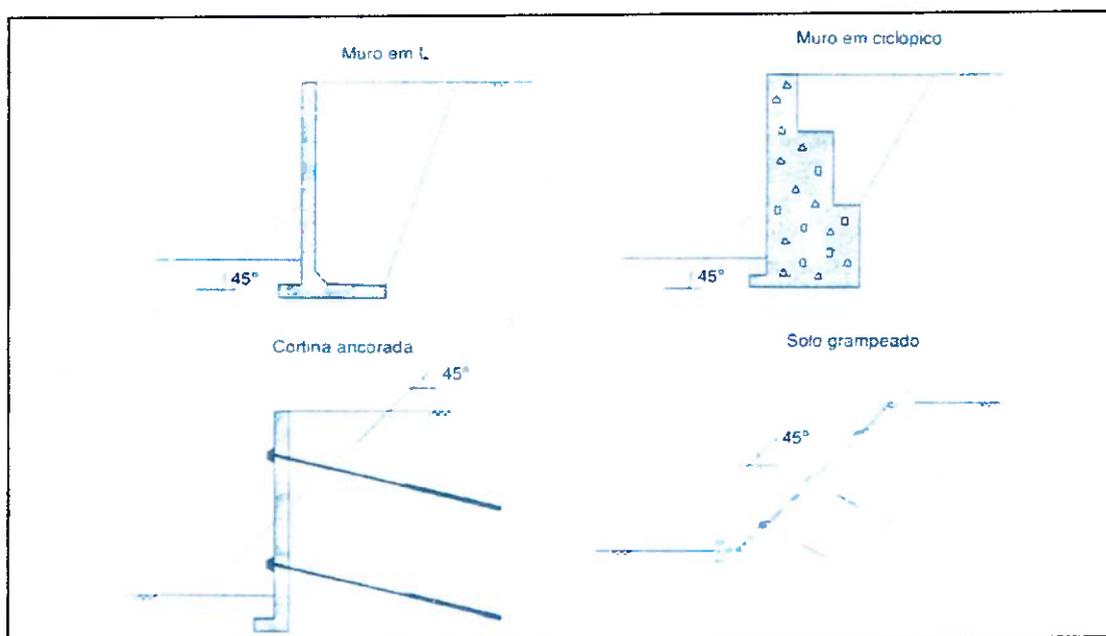


Figura 5.14 Seções típicas analisadas (Manual Técnico de Encostas/GeoRio, 2000)

No Manual, todas as alternativas de solução analisadas consideram a estabilização de um talude com inclinação de 45°, sendo as obras implantadas em seção mista com

corde e aterro, exceto para o caso de solo grampeado, como ilustrado na figura 5.14.

Os custos foram calculados para uma obra de comprimento de 10 metros, com valores diversos para a altura da estrutura de contenção e distância de transporte a partir do pé da encosta. Admitiu-se o transporte de materiais ao longo da encosta, executado totalmente de forma manual.

Foram computados nos custos de cada solução, as parcelas referentes à administração, mobilização e desmobilização. Os orçamentos foram elaborados com base no Catálogo de Referência de Preços da FGV/SCO – Sistema de Custos e Orçamentos do Município do Rio de Janeiro, referência junho/1999 (apud Manual Técnico de Encostas/GeoRio (2000)). Os resultados foram convertidos em dólares americanos segundo a taxa de R\$ 1,8493 reais por dólar (cotação de 08/08/1999 – dólar comercial).

5.5.2 Resultados Obtidos

A figura 5.15 apresenta os custos/metro quadrado para os muros de concreto armado

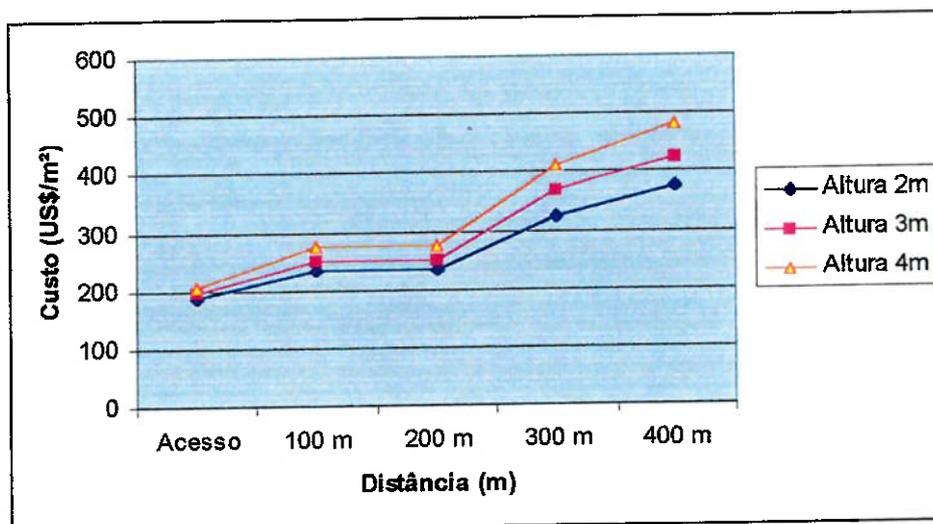


Figura 5.15 Muro em L – Influência da altura na variação dos custos (Manual Técnico de Encostas/GeoRio, 2000)
em L em função da altura e distância de transporte (expressos em US\$/m²).

A figura 5.16 ilustra o mesmo para muros de concreto ciclópico. As figuras 5.15 e 5.16 mostram que, para ambas as soluções, quanto maior a altura do muro, maior é a variação dos custos/m² quando se varia a posição ao longo da encosta.

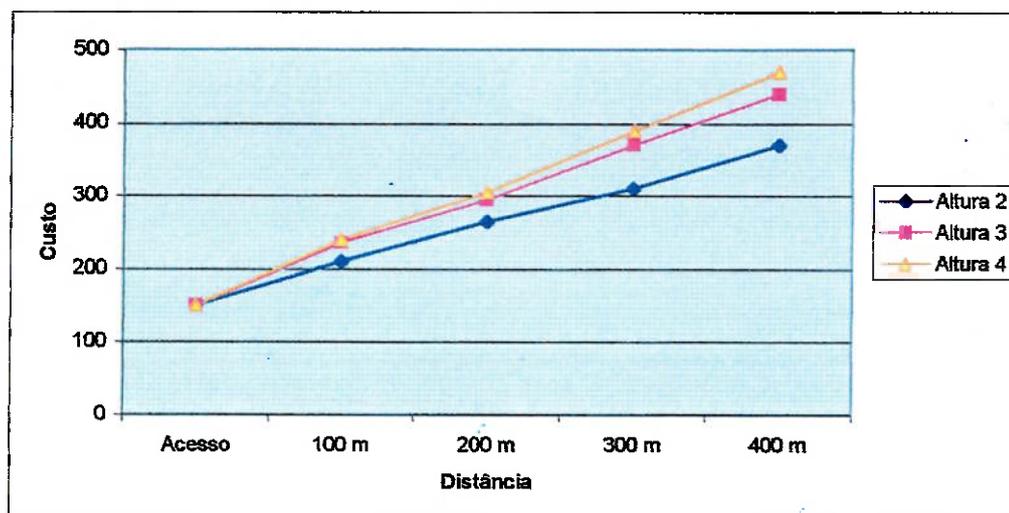


Figura 5.16 Muro em Concreto Ciclópico – Influência da altura na variação dos custos (Manual Técnico de Encostas/GeoRio, 2000)

As figuras 5.17 e 5.18 comparam as soluções de concreto armado e ciclópico para 2m e 4m de altura. Pode-se verificar que sempre para a mesma altura de muro, o concreto ciclópico é ligeiramente mais econômico. Porém, com o aumento da distância de transporte, os custos das duas soluções praticamente se igualam, com tendência da solução em concreto tornar-se ligeiramente mais econômica.

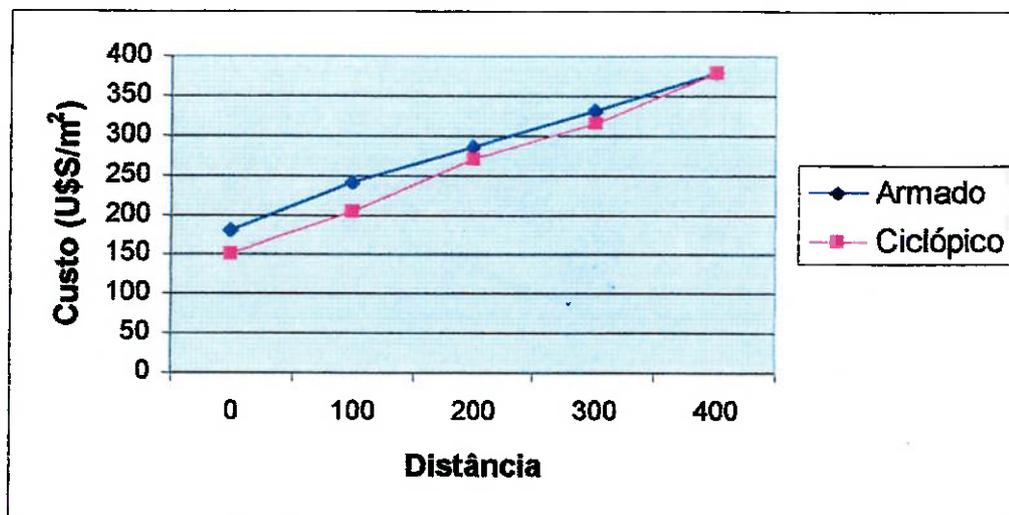


Figura 5.17 Comparação de custo entre muros de concreto armado e concreto ciclópico ($H = 2m$) *versus* distância de transporte (Manual Técnico de Encostas/GeoRio, 2000)

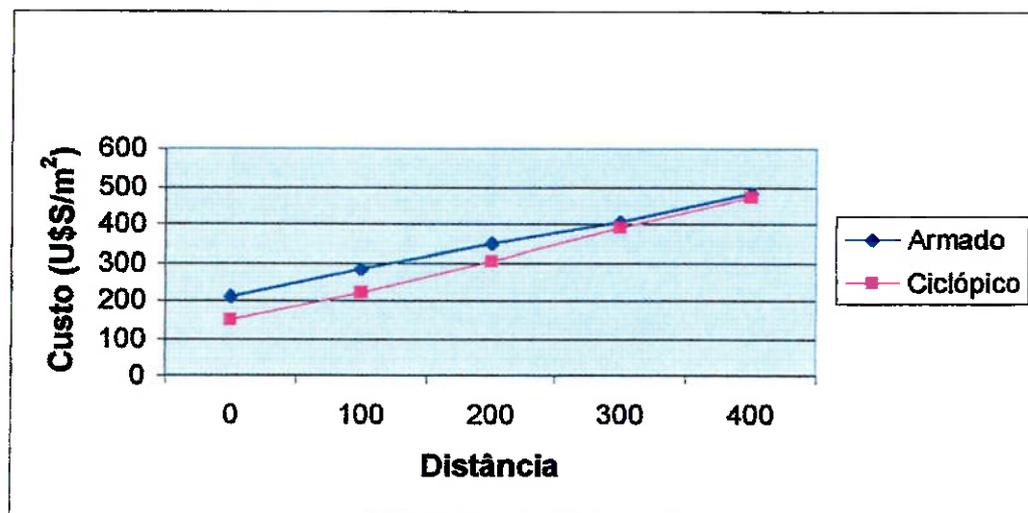


Figura 5.18 Comparação de custo entre muros de concreto armado e concreto ciclópico ($H = 4m$) *versus* distância de transporte (Manual Técnico de Encostas/GeoRio, 2000)

As figuras 5.19 e 5.20 comparam custos entre a solução de cortina ancorada e a de solo grampeado para 4m e 6m. O solo grampeado é sempre mais econômico, independentemente da distância ao longo da encosta. Além disso, a vantagem da solução de solo grampeado se acentua com o aumento da distância de transporte.

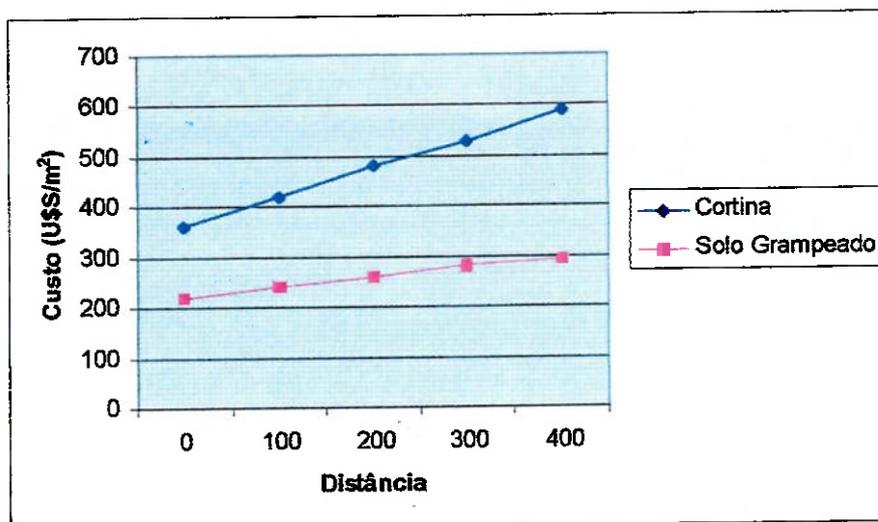


Figura 5.19 Comparação de custo entre cortina ancorada e solo grampeado ($H = 4\text{m}$) versus distância de transporte (Manual Técnico de Encostas/GeoRio, 2000)

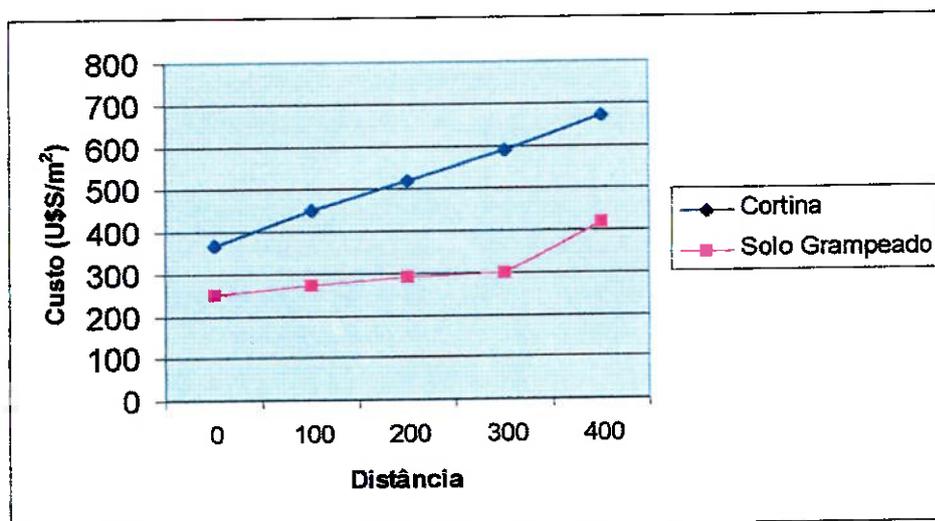


Figura 5.20 Comparação de custo entre cortina ancorada e solo grampeado ($H = 6\text{m}$) versus distância de transporte (Manual Técnico de Encostas/GeoRio, 2000)

A figura 5.21 compara todas as alternativas de solução para um talude de 4m de altura e em função da distância de transporte. Pode-se verificar que as alternativas de solução com muros de peso (muros em “L” e muros em concreto ciclópico) se tornam *menos* vantajosas à medida que a posição ao longo da encosta aumenta. Isso reflete a influência do transporte de material “encosta acima” das alternativas de solução que envolvem maior volume de material.

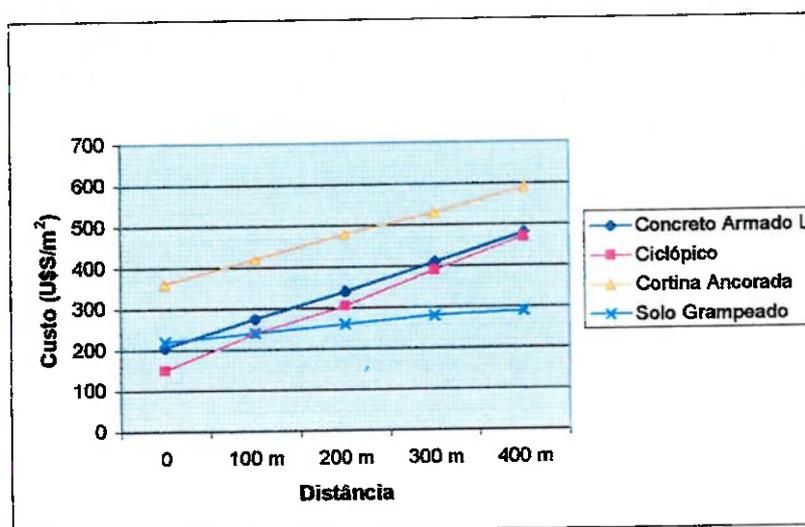


Figura 5.21 Comparação entre as soluções de contenção em função da distância de transporte (Manual Técnico de Encostas/GeoRio, 2000)

Do exposto, vê claramente que a decisão sobre a solução a ser adotada deve sempre ser pautada em estudos econômicos de várias alternativas e analisada cada situação específica como indicado por Kanji (1997). Uma solução que, a princípio se apresenta desfavorável economicamente em certa posição da encosta, pode se tornar mais atraente devido à alteração de distância de transporte. Vale aqui a ressalva de que os resultados apresentados podem sofrer significativas alterações devido às variações dos custos individuais de cada componente dos orçamentos.

5.6 Considerações Finais Sobre os Temas do Capítulo 5

A implantação de novas metodologias de projeto apresenta uma série de perspectivas animadoras para a qualidade, como também uma série de dificuldades e barreiras, pois impõe um incremento nos valores investidos nas fases iniciais de análise de viabilidade e de projeto para a implantação de um dado empreendimento como demonstrado no Capítulo 3 dessa dissertação.

Nesse capítulo foi abordado desde o histórico de obras geotécnicas de estabilização de taludes até o demonstrativo de comparativos de custos baseado na análise econômica elaborada a partir dos estudos realizados pela Fundação GeoRio.

Descreveu-se o histórico dos problemas encontrados quando da implantação da Rodovia Fernão Dias; os métodos de estabilização existentes com várias simulações comparativas entre eles e que devem ser ponderadas quando da elaboração dos projetos; a sistemática que deve ser efetuada para que a qualidade do projeto de estabilização seja obtida.

A partir da sistematização dos processos, são considerados estudos comparativos de várias soluções de obras de estabilização desenvolvidos pela GeoRio (2000) e apresentados os resultados de custos obtidos com esse trabalho.

6 ESTUDO DE CASO - SOLUÇÕES PROJETADAS, CRITÉRIOS E PARÂMETROS DE CÁLCULO

Os estudos de casos desenvolvidos para essa dissertação foram executados dentro da premissa básica do trabalho que foi *projetar para realmente construir*, obedecendo a uma nova metodologia de elaboração de projetos com base na *filosofia da qualidade* e em alguns tópicos tratados nesse trabalho como a *racionalização* e a *construtibilidade*. Trabalhando dessa forma, e com o desenvolvimento de uma *tecnologia construtiva*, que buscou integrar as atividades de construir e de projetar, conseguiu-se agregar com sucesso a *filosofia de projetar para produzir*.

O presente capítulo pretende discorrer sobre como cada solução foi estudada, projetada e executada, sem entrar, portanto, no mérito da explanação teórica de cada metodologia de cálculo existente, o que fugiria do escopo do presente trabalho.

Ao final, são apresentados dois gráficos com custos comparativos entre as soluções adotadas inicialmente para estabilização dos taludes e as desenvolvidas e implantadas após esse trabalho, explicitando a economia que se obteve a partir de estudos sistemáticos e criteriosos que culminaram em projetos elaborados com qualidade e eficiência.

6.1 Solo Grampeado

De acordo com Montezuma (1998), a principal função do reforço em taludes, sejam eles de cortes ou de aterros, é estabelecer o equilíbrio entre as forças atuantes. O autor complementa que, através do atrito entre o solo e o reforço, pode-se desenvolver a resistência ao arrancamento de maneira que toda a resistência à tração do reforço possa ser mobilizada para estabilizar o talude.

Nos casos estudados nesse trabalho, foi uma solução bastante implantada face às tipologias dos mecanismos de escorregamentos encontrados.

A análise da estabilidade de taludes reforçados pode ser feita usando-se os mesmos métodos utilizados para os taludes sem reforço. Nas planilhas de cálculo contidas no Anexo I, pode-se encontrar duas rotinas para determinação do Fator de Segurança pelo Método de Fellenius que consideram o talude com reforço e o talude sem reforço (Montezuma, 1998).

Segundo Montezuma (1998), o mecanismo básico de funcionamento de uma estrutura de solo grampeado é a transferência de carga (forças de tração) gerada nas inclusões para o interior do maciço, resultando um material composto coerente.

O autor cita que existem, para cálculo de muros com solos grampeados, duas escolas. Na escola européia, utilizam-se com mais frequências o *Método Francês* (Clouterre, 1991 apud Montezuma, 1998) e o *Método Alemão* (Socker, 1979 apud Montezuma, 1998). Na escola americana, o método mais utilizado é o *Método de Davis* (Shen et al, 1981) – *método utilizado nos cálculos dos estudos de caso dessa dissertação*. Trata-se de metodologias que consideram a estabilidade global da estrutura e do solo reforçado.

Apesar de não existir no Brasil uma “metodologia padrão” para solos grampeados, Montezuma (1998) discorre sobre o *Método de Palmeira* (1992) e o *Método de Alonso* (1995). Cita ainda o método de projeto pela Análise Limite Cinemática (Juran, 1990 apud Montezuma, 1998) que é capaz de fornecer uma estimativa da máxima tração e forças de cisalhamento mobilizados nos grampos e permite localizar a posição da superfície potencial interna de ruptura.

A tabela 6.1 apresenta um resumo dos diferentes métodos e suas características.

CARACTERÍSTICAS	MÉTODOS DE ANÁLISE				
	ALEÃO	DAMS	MULTIÔRTEO	ONEMÁTICO	ESCOAMENTO
Referência	Stocker et al, 1979	Shen et al, 1981	Schlösser, 1983	Juran et al, 1988	Arthoin, 1990
Análise	Equilíbrio Limite 2 curvas	Equilíbrio Limite 2 blocos e fatias	Equilíbrio Limite Fatias	Tensões	Teoria do Escoramento Bloco rígido
Fator de Segurança	Global	Global e Local	Global e Local	Local	Global
Superfície de Ruptura	B-Linear	Circular e Linear	Circular ou Poligonal	Espiral Logarítmica	Espiral Logarítmica
Grupos resistentes					
Tração somente	x	x	x	x	x
Flexão composta			x	x	
Geometria da Parede	Vertical ou Inclinada	Qualquer	Qualquer	Vertical ou Inclinada	Vertical ou Inclinada

Tabela 6.1 Considerações básicas de diferentes Métodos de Cálculo (apud Juran, 1990)

No Anexo I encontra-se o roteiro de cálculo, bem como as planilhas eletrônicas para os métodos de Palmeira, Clouterre e Alonso (Montezuma, 1998).

A metodologia de cálculo utilizada nos estudos desenvolvidos foi a de Davis, elaborada por Shen et al (1981 in Mitchell, 1987). Trata-se de um método de equilíbrio de força que considera uma superfície de ruptura circular e linear passando total ou parcialmente no interior da massa de solo grampeado. O método considera as barras apenas como elementos de contenção e não de melhoramento do solo, parecido com um sistema de atirantamento.

Acrescenta-se a isto, o fato de, em condições anteriores e análogas, já se ter presenciado experiências extremamente satisfatórias com a utilização da metodologia eleita. O método de cálculo considera os elementos de reforço unicamente a tração. O atrito unitário máximo na interface solo-grampo é admitido como tendo um valor constante igual a F_{\max} e o valor da tração aplicada em cada grampo, na superfície de ruptura (ponto de máxima solicitação), é então calculado. A massa de solo, definida pela superfície de ruptura, é tratada como um corpo rígido, conforme a figura 5.22 que se segue.

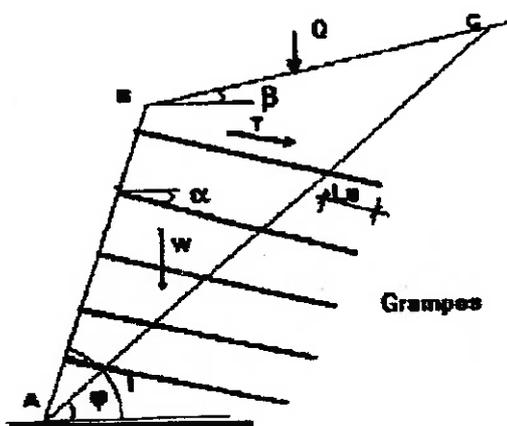


Figura 6.1 Esquema da massa de solo com superfície de ruptura (Mitchel e Villet, 1987)

O Fator de Segurança para a situação indicada é dado por:

$$F_s = \frac{(W+Q) \cos \varphi \operatorname{tg} \Phi + \sum T_i \operatorname{sen}(\varphi + \alpha) \operatorname{tg} \Phi + c AC}{(W+Q) \operatorname{sen} \varphi - \sum T_i \operatorname{cos}(\varphi + \alpha)}$$

Equação A

Com,

$$\sum T_i = \frac{\sum (F_{\text{máx}} \times L_u)}{F_s}$$

Equação B

$$T_i = \frac{\sum T_i}{Sh}$$

Equação C

Onde:

- ϕ – ângulo de atrito interno do material;
- Sh – Espaçamento horizontal entre grampos;
- Lu – Comprimento útil dos grampos;
- φ – Ângulo do plano potencial de ruptura com a horizontal;
- i – Ângulo da face do talude com a horizontal;
- α – Ângulo dos grampos com a horizontal;
- $F_{m\acute{a}x}$ – Força de atrito entre o solo e o grampo, por unidade de comprimento;
- Q – Sobrecarga no topo da cunha, onde $Q = q \times CB$;
- CB - Segmento do contorno superior de ruptura;
- W - Peso da cunha definida pela superfície potencial de ruptura, onde $W = \{[(\gamma \times H^2)/2] \times [(1/\text{tg } \varphi) - (1/\text{tgi})]\}$;
- C - Força coesiva no plano potencial de ruptura, onde $C = c \times AC$;
- AC - Traço do plano potencial de ruptura, onde $AC = H/\text{sen } \varphi$.

O número de grampos necessário para estabilizar o talude é determinado iterativamente adotando-se, inicialmente, $F_s = 1,5$ na **Equação B**. A iteração é feita até que o Fator de Segurança dado na **Equação A** seja o mesmo considerado em **B**.

A escolha dos parâmetros geotécnicos baseou-se em estudos e experimentos realizados na cidade do Rio de Janeiro. Foram realizados, experimentalmente, vários ensaios de arrancamento em furos com 75mm de diâmetro, armados com barras de aço CA-50, com 32mm de diâmetro (Manual Técnico de encostas/GeoRio, 2000). O solo onde foram implantados os grampos foi submetido a ensaios do tipo

drenado, de cisalhamento direto, encontrando-se valores de coesão efetiva e ângulo de atrito entre 2 e 10 kPa, 35° e 43°, respectivamente. Nos ensaios de arrancamento determinou-se valores de atrito unitário da interface solo-grampo correspondentes a 65 kN/m.

Foram realizados ensaios de arrancamento nas obras da Linha Amarela, também no Rio de Janeiro, em grampos constituídos de barras de aço de 25mm em furos de 75mm de diâmetro. Os resultados observados foram coerentes com os descritos acima e equivalentes a uma força de atrito entre o solo e o grampo de 59 kN/m nos resultados apresentados por Ortigão (1992) para solo residual de gnaiss (coesão de 33 kPa e ângulo de atrito 30°) e de 60 kN/m a 66kN/m para alteração de rocha granítica.

Face à similaridade dos tipos genéticos de rochas e solos ocorrentes na região em epígrafe e aqueles das encostas da cidade do Rio de Janeiro, pôde-se referenciar, com segurança, nos testes supramencionados. Atuando de maneira conservadora porém, a favor dos conceitos de segurança com relação aos parâmetros geotécnicos nos locais estudados no presente trabalho, adotou-se valores de F_{max} variando de 30 kN/m a 40 kN/m, para grampos de 25mm, limitando-se o esforço em cada barra à resistência do aço.

No Anexo I encontra-se a planilha eletrônica para dimensionamento de grampos e cálculo do fator de segurança segundo Shen et al., 1981.

6.2 Cortina Atirantada em Concreto Projetado

As ancoragens são dispositivos de aplicação de esforços artificiais, com pontos de aplicação, esforços e direções pré-determinadas. A reação do esforço aplicado por

cada ancoragem é obtida no interior do próprio terreno, em região profunda e naturalmente estável.

De acordo com a definição da NBR-5629, antiga NB-565, ancoragem injetada é “aquela que se realiza uma perfuração no terreno e, através de injeção de calda ou argamassa de cimento, se solidariza ao terreno um elemento de aço, o tirante, em um trecho do seu comprimento total que é chamado de bulbo de ancoragem. O tirante liga o bulbo de ancoragem à parte da estrutura a ser ancorada na qual se fixa pela cabeça de ancoragem”.

6.2.1 Concepção das Soluções com Ancoragens e Concreto Projetado

Pelo fato de poderem ser aplicadas em qualquer ponto, em qualquer estágio da obra e com a carga que melhor convier, as ancoragens fornecem grande liberdade ao projetista para definição da concepção, do plano de ataque à obra e para a montagem do modelo de cálculo. A combinação com concreto projetado ao invés de moldado “in loco”, permite a execução da estrutura sem necessidade de novas escavações para regularização do talude, minimizando-se escavações, transporte e espalhamento em botas-fora destes materiais.

Desta forma, adotou-se a solução de execução dos painéis da cortina em concreto projetado, acompanhando a inclinação do talude na situação como se encontrava. A espessura projetada foi de 15cm utilizando-se malha de aço como armadura. Nas imediações da cabeça dos tirantes foram colocadas placas, de 80x80x15cm, também em concreto projetado. Os tirantes foram de barra, aço GEWI, $\Phi = 32\text{mm}$. Este tipo de intervenção tende a proteger o talude contra a erosão e promove uma estabilização do terreno, minimizando a probabilidade de rupturas superficiais e profundas. Foi adotado nos casos onde houve uma maior plastificação do maciço e maiores riscos de escorregamentos profundos.

Na concepção destas intervenções, foram levadas em consideração algumas características:

- Por serem instaladas no interior do terreno, as áreas adjacentes ficam liberadas viabilizando a operação de equipamentos e atendimento aos cronogramas;
- A possibilidade de, no decorrer da obra ou mesmo posteriormente, a verificação das cargas de trabalho, a reprotensão, a reinjeção e ainda a colocação de ancoragens adicionais;
- Os tirantes, não estando em contato direto com a atmosfera, não estão sujeitos a variações térmicas, não sofrendo mudanças elevadas de carga devido a este fenômeno;
- Os ensaios de todas as ancoragens, que representam um forte controle de qualidade, praticamente já estão incluídos no processo executivo de protensão, não significando acréscimo de custo e;
- Analogamente ao solo grampeado, permitem soluções criativas para a solução de problemas complexos.

6.2.2 Critérios para as Soluções com Ancoragens e Concreto Projetado

São adotados os mesmos critérios de cálculo que na solução com solo grampeado, distinguindo-se critérios de estabilidade externa e interna.

Na ruptura externa o pé da cortina se desloca para fora, o conjunto cortina – solo gira como um corno único em torno de um centro de rotação externo à massa deslizante.

A superfície de ruptura tende a passar por trás dos bulbos que se deslocam junto com o terreno instável.

Na ruptura interna a rotação se dá com eixo no pé da cortina e o solo entra em plastificação. Neste caso, forma-se uma superfície de deslizamento que corta os bulbos das ancoragens e estas são arrancadas.

No caso de ancoragens suficientemente longas predomina a ruptura interna, enquanto que com ancoragens curtas predomina a ruptura externa.

O número de tirantes a ser utilizado para estabilizar um determinado maciço foi calculado a partir da Teoria de Rankine, onde os tirantes devem resistir a um empuxo de terra calculado de acordo com Rankine, adicionado a um empuxo hidrostático correspondente a uma situação parcial do maciço. A Figura 6.2 abaixo esquematiza o diagrama de pressões e empuxos utilizados para os cálculos.

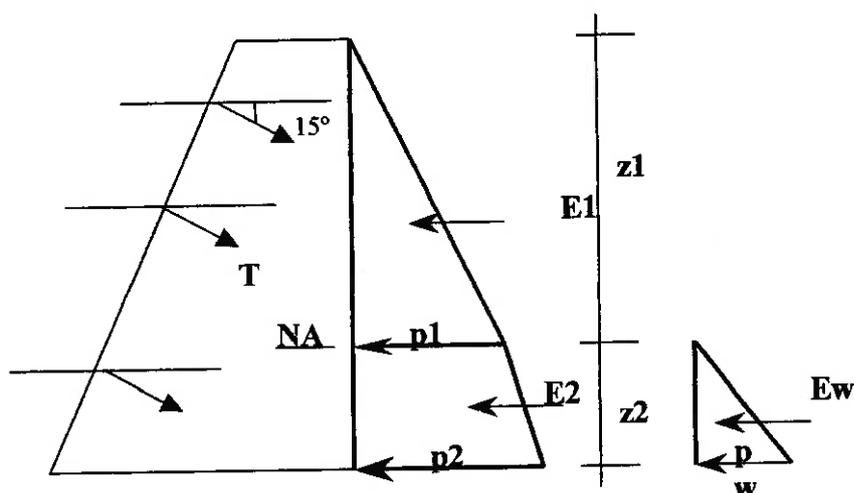


Figura 6.2 Diagrama de Pressões (Mitchel e Villet, 1987)

- Coeficiente de Empuxo Ativo (K_a) = $\text{tg}^2 (45 - \phi/2)$;
 - $p_1 = \gamma z_1 K_a$; $E_1 = \text{área do triângulo maior}$
 - $p_2 = p_1 + \gamma' \Delta z K_a$ $E_2 = \text{área do trapézio}$
 - $E_w = \text{área do triângulo menor}$
- } $\Sigma = E$

Pré estabelecendo-se as cargas dos tirantes T e para 10,0 m de cortina, por exemplo, tem-se:

$$\text{N}^\circ \text{ de TIRANTES} = \frac{E \times 10,0\text{m}}{T \times \cos 15^\circ}$$

As verificações de estabilidade dos taludes foram feitas através do Programa PC STABL 5M (Achilleos, 1988), utilizando o Método de Jambu, Bishop e Spencer para rupturas com superfícies análogas às mapeadas nos trabalhos de campo. Tais verificações permitem analisar o ganho de resistência oferecido pelos tirantes.

6.3 Concreto Projetado

Consiste no revestimento do talude com concreto projetado, associado a um sistema de drenagem superficial e profunda (barbacãs ou drenos sub-horizontais profundos).

Adota-se necessariamente a espessura mínima de 8 cm (execução em duas etapas de 4 cm) e reforço com malha de aço. Após a regularização e limpeza da superfície a ser protegida, aplica-se a primeira camada de 4 cm de concreto projetado para evitar o contato direto entre a malha e o terreno (redução do processo corrosivo e de oxidação). Fixa-se a malha sobre a primeira camada projetada e projeta-se a segunda

armadura, evitando-se o contato com o ambiente e prolongando-se assim, a vida útil da estrutura. Para melhor fixação da malha, foram especificadas barras de aço CA-50, $\varnothing 12,5\text{mm}$, instaladas, por cravação, a cada 2m. Esse tipo de contenção protege o talude contra erosão e promove uma estabilização do terreno, minimizando apenas a probabilidade de rupturas superficiais.

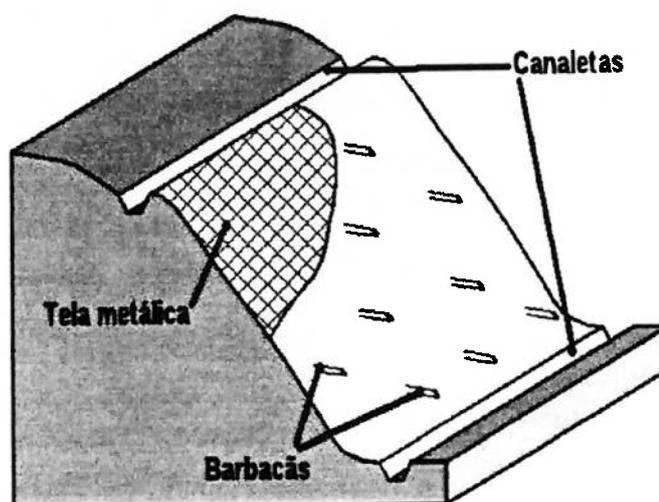


Figura 6.3 Solução em concreto projetado com tela (Mitchel e Villet, 1987)

6.4 Tela Vegetal

A “tela vegetal” consiste numa manta biodegradável (capim desidratado) aplicada sobre a superfície do talude previamente tratada. Após a regularização do talude, são colocadas sementes e fertilizantes, de acordo com as características do local. A aplicação da manta tem por finalidade garantir a germinação e desenvolvimento das espécies vegetais plantadas. Foi especificada uma manta de alta densidade 1.500 g / m^2 , para os trechos com incidência de solo residual jovem, sem ocorrência significativa de fragmentos de rocha.

6.4.1 Tela metálica

Compreende de um revestimento com tela de alta resistência, com malha hexagonal em dupla torção (8 x 10cm), fixada através de pequenos chumbadores. Foi aplicada em talude com incidência de rocha alterada e fraturada.

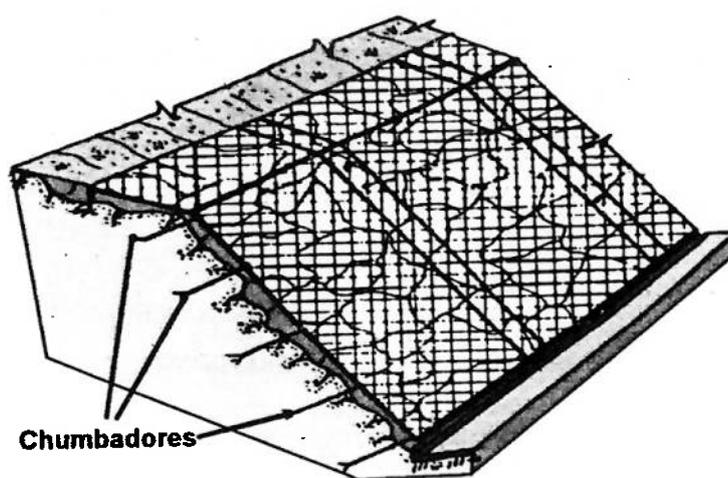


Figura 6.4 Esquema de fixação de blocos de rocha com tela metálica (Mitchel e Villet, 1987)

6.6 Chumbadores

Compreendem barras de aço CA-50, \varnothing 25mm, instaladas em furos (\varnothing 75mm) com 3m de comprimento, preenchidos com calda de cimento. Tiveram a finalidade de conter, localizadamente, massas de rocha sujeitas a desprendimentos.

6.6.1 Critérios de Dimensionamento

Para o dimensionamento dos chumbadores, houve a necessidade de se conhecer alguns parâmetros referentes não só ao aço em si, mas também do bloco sujeito a deslizamento.

Para o bloco foram consideradas as suas dimensões geométricas (altura, largura e espessura em profundidade – Volume (m^3) do bloco), seu Peso específico (tf/m^3) e seu Peso (tf).

Para os chumbadores foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Tensão de escoamento do aço (σ_{esc}) – fornecido pelo fabricante em kgf/mm^2 ;
- Diâmetro da barra (Φ) em mm.

Para a determinação da Resistência ao Cisalhamento dos chumbadores, os cálculos foram efetuados na hipótese de que todo o peso do bloco fosse resistido por eles segundo o desenho esquemático abaixo:

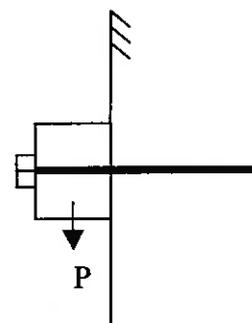
Admitiu-se um Fator de Segurança $FS = 1,5$ e as fórmulas utilizadas, segundo Hungr (1997) foram:

- $\tau_{cis} = 0,35 \times \sigma_{esc}$;
- $R_{cis} = \tau_{cis} \times A_s$;
- $FS = R_{cis} / F_{ad}$, onde:

A_s = área da seção transversal do aço (mm^2);

τ_{cis} = tensão de ruptura (tf/m^2) – fornecido pelo fabricante;

R_{cis} = força atuante na ruptura (tf) e F_{ad} = força admissível por chumbador.



6.7 Estudos das Ocorrências

A área abordada nessa dissertação é delimitada pelos pontos de coordenadas 46°30'30" / 46° 37'30" de longitude Oeste e 23°15'30" / 23°22'30" de latitude Sul, estando compreendida na Folha Guarulhos (SF-23-Y-C-III-4), na escala 1:50.000, editada pelo IBGE / EMPLASA (1984).

Foi estudada uma área de aproximadamente 50 km², entre a Serra da Cantareira e a Serra de Mairiporã, totalizando 15 km na Rodovia Fernão Dias, mais precisamente entre os km 60 e 75, zona de forte concentração de segmentos instáveis (figura 6.5), compreendendo os seguintes trechos:

- **TRECHO 1**: ESTACA 4486 A 4505 (km 62,60 ao 62,98) – fotos 6.1 a 6.6;
- **TRECHO 2**: ESTACA 4527 A 4535 (km 63,42 ao 63,58) – fotos 6.7 a 6.12;
- **TRECHO 3**: ESTACA 5054 A 5075 (km 70,68 ao 71,10) – fotos 6.13 a 6.18;
- **TRECHO 4**: ESTACA 5084 A 5102 (km 71,28 ao 71,64) – fotos 6.19 a 6.23;
- **TRECHO 5**: ESTACA 5129 A 5145 (km 72,18 ao 72,50) – 6.24 a 6.29;
- **TRECHO 6**: ESTACA 5152 A 5169 (km 72,64 ao 72,95) – 6.30 a 6.34.

Como todos os pontos estudados encontram-se adjacentes à Rodovia Fernão Dias, esta é então o principal acesso à área considerada.

O principal divisor de águas da região é a Serra da Cantareira que abriga, no seu flanco norte, os afluentes das margens esquerda e direita do Rio Juqueri, como o Rio Pinheiros,

os ribeirões do Cavalheiro e dos Pinheirinhos (na margem direita) e Água Vermelha e Itaim (na margem esquerda).

O relevo médio da região oscila entre as cotas 700 e 900 metros e as principais elevações são sustentadas por rochas graníticas como as da Serra da Cantareira (1.215m) e do Morro do Juqueri (1.170m).

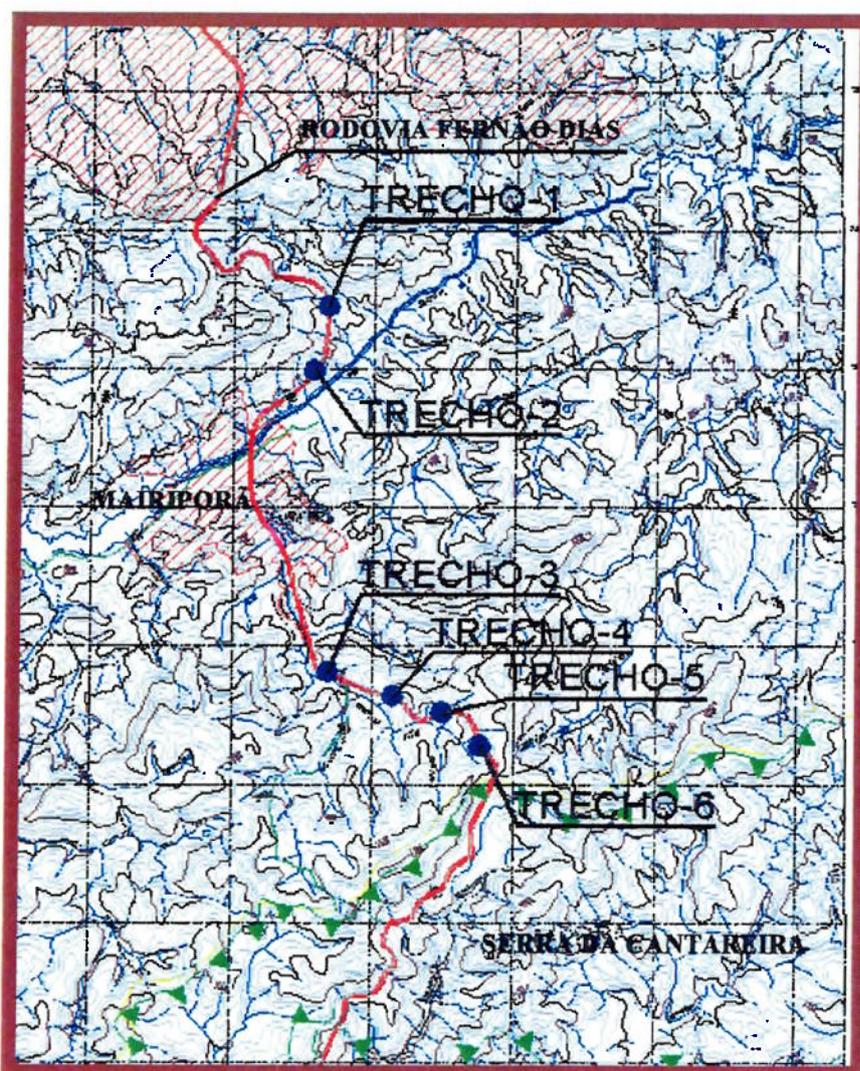


Figura 6.5 Mapa de Localização das Ocorrências

O estudo consistiu de um levantamento criterioso e detalhado de cada ocorrência, seguindo sempre as etapas propostas por Hoek e Bray (1981), enumeradas no item 5.4 desse trabalho e as observações tecidas por Kanji (1997) com relação à atenção quanto às situações que envolviam os taludes a serem estabilizados. Alguns tópicos da sistemática empregada no campo foram:

- Reconhecimento e caracterização das unidades geológico-geotécnicas rompidas ou em processos de ruptura;
- Delimitação das unidades geológico-geotécnicas em cada segmento estudado e avaliação dos seus parâmetros de resistência;
- Estudos de estabilidade a partir de retroanálises dos maciços envolvidos e dimensionamento das estruturas de contenção em cada ponto considerado, minimizando-se, substancialmente as intervenções desapropriatórias;
- Quantificação dos projetos a partir dos estudos efetuados, comparação econômica com as soluções propostas pelo empreendedor e verificação da economia resultante;
- Agrupamento suficiente de experiências vividas durante a implantação do empreendimento, que possibilitaram avaliar criticamente toda a sistemática de execução de uma grande obra pública, onde a *falta de planejamento*, de *conhecimento do processo do projeto*, de *racionalização construtiva* e desconhecimento do conceito de *construtibilidade*, bem como a carência de informações no próprio projeto, ocasionam situações absolutamente adversas daquelas inicialmente preconizadas.

A partir dos levantamentos, produziu-se os desenhos esquemáticos/croquis das situações

observadas durante os mapeamentos através da representação frontal (figura 6.6) e em seções (figura 6.7) das ocorrências.

Feito isso, as soluções foram estudadas para cada caso e propostas em desenhos frontais e para as mesmas seções representativas de cada corte (figura 6.8, 6.9 e 6.10).

Tal procedimento foi adotado para todos os taludes mapeados .

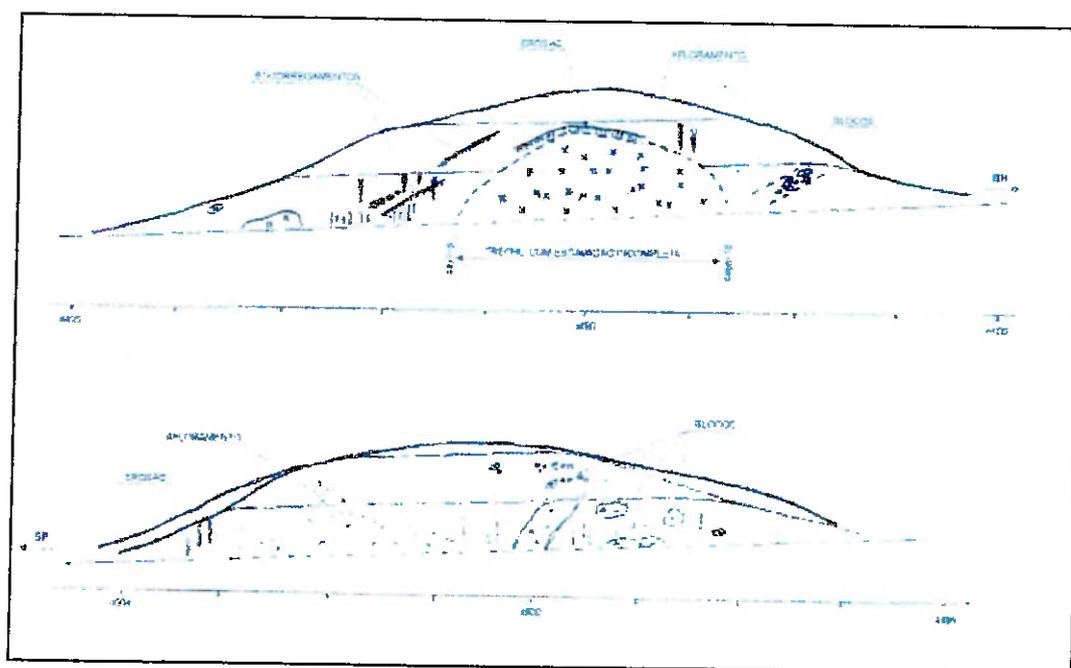


Figura 6.6 Croqui frontal do mapeamento entre os km 62,60 e 62,98

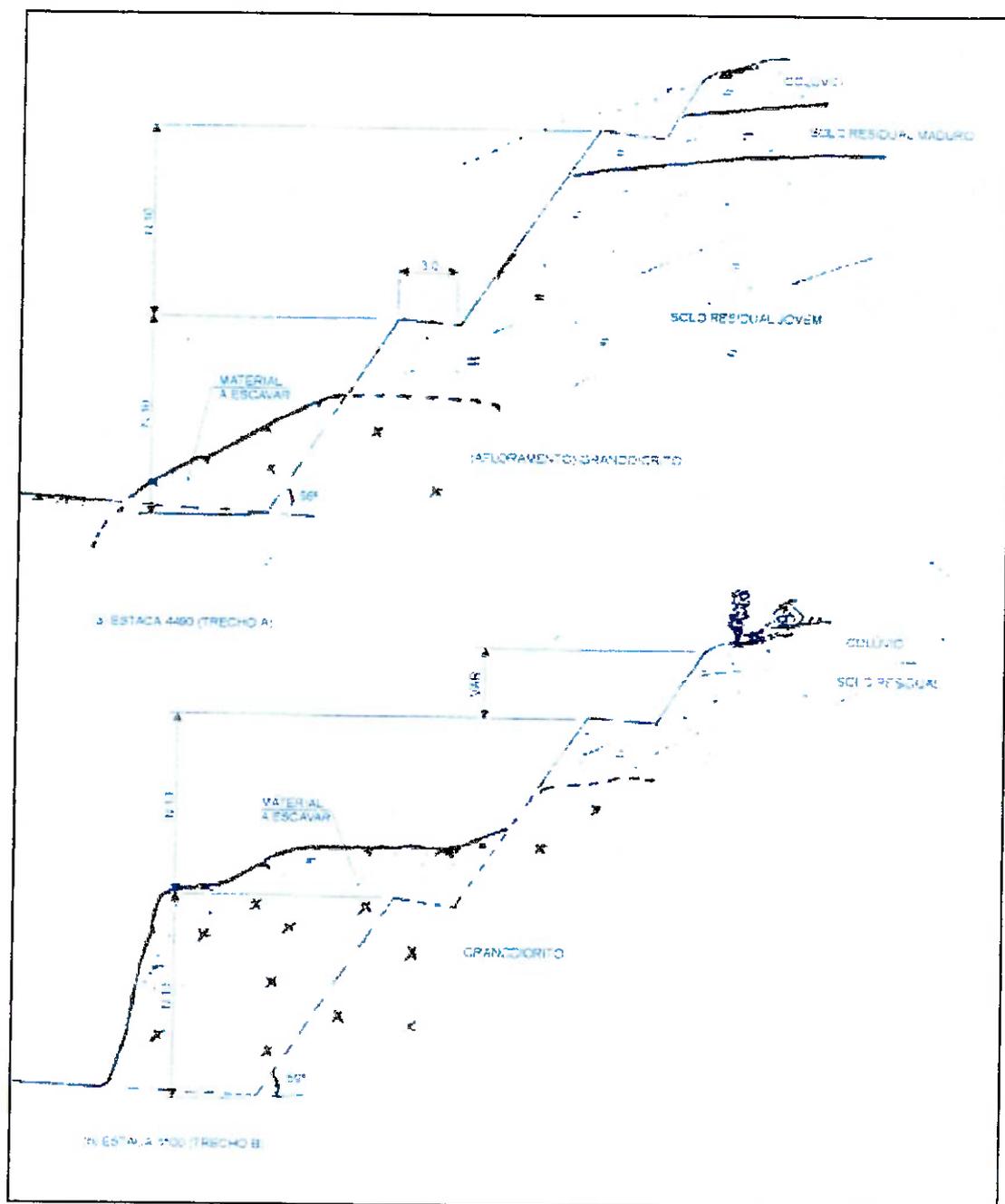


Figura 6.7 Seções representativas do corte entre os km 62,60 e 62,98

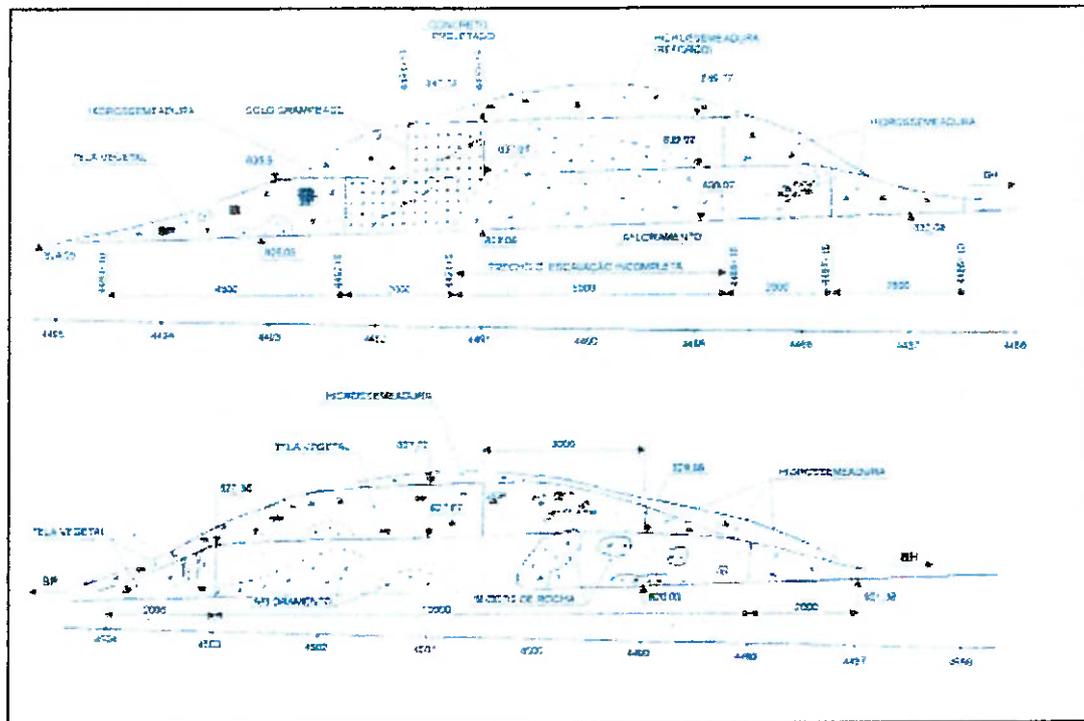


Figura 6.8 Vista frontal do talude a ser tratado entre os km 62,60 e 62,98

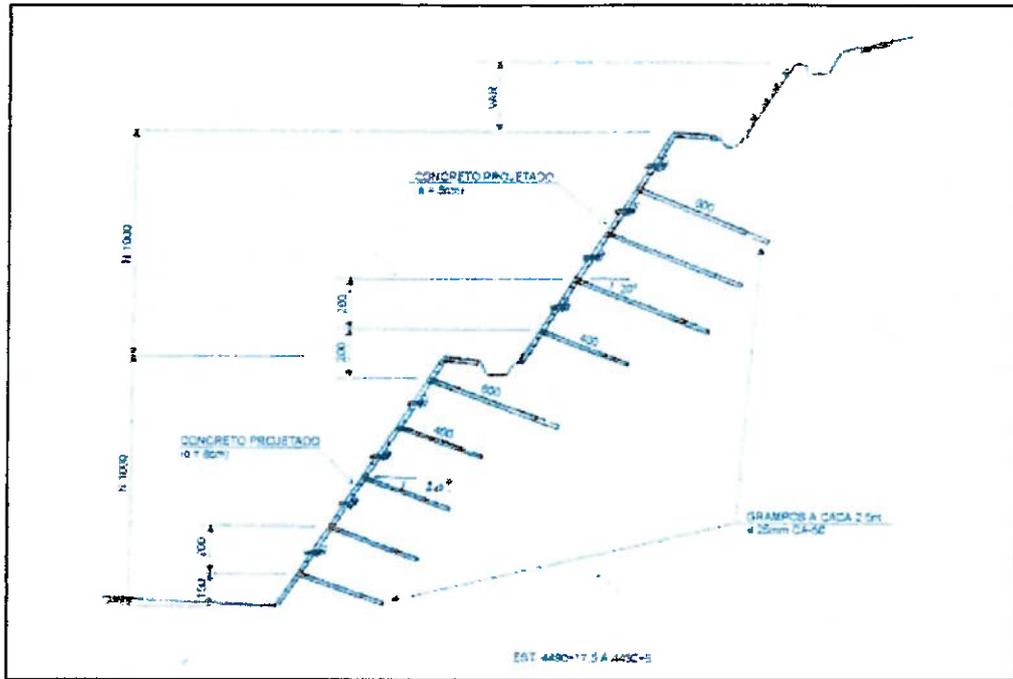


Figura 6.9 Seção típica da solução adotada – segmento com solo grampeado

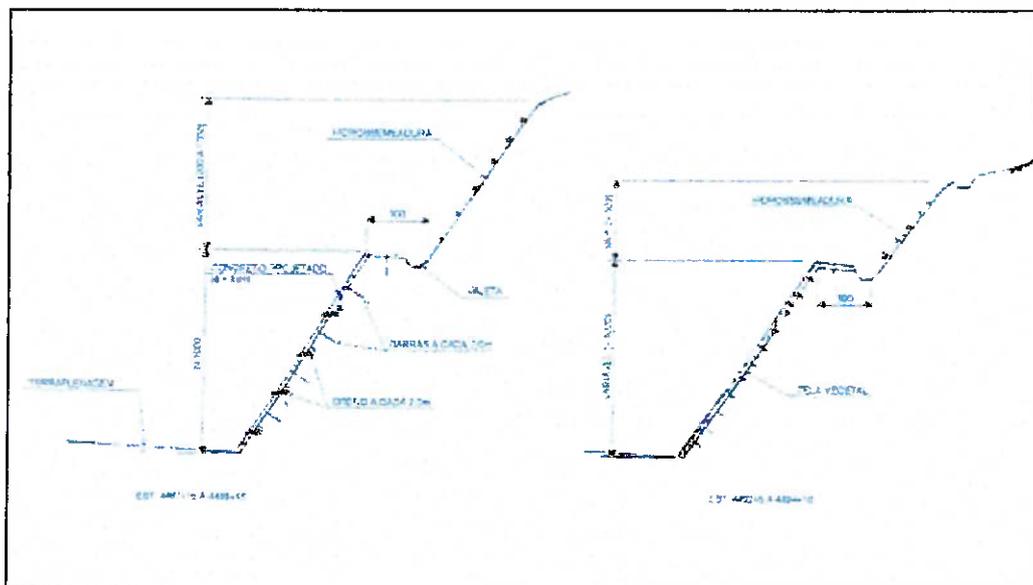


Figura 6.10 Seção típica da solução adotada – segmento com concreto projetado e tela vegetal

A seguir são apresentadas as fotos de cada talude estudado, em fase de execução e escavação e também com as obras projetadas implantadas.

As fotos 6.1 a 6.6 apresentam o *trecho 1* estudado. De 6.1 a 6.4, tem-se a caracterização geral do talude e, nas fotos 6.5 e 6.6, a ilustração do mesmo talude com as soluções de estabilização projetadas.

Seqüencialmente, as fotos 6.7 e 6.8 fornecem uma vista geral do escorregamento ocorrido no *trecho 2*, envolvendo o desprendimento de muitos blocos do maciço. Nas fotos de números 6.9 a 6.12 têm-se as soluções de estabilização executadas para estabilização do corte.

No *trecho 3*, a foto 6.13 ilustra o afloramento do solo residual jovem de metassedimento e a 6.14 o contato entre o corpo intrusivo ígneo e os metassedimentos pré-existentes. Essa zona de metamorfismo de contato induziu a deflagração dos processos de deslizamentos e os surgimentos dos processos erosivos. Na foto 6.15, nota-se a proteção do talude inferior com reaterro, após a ocorrência de um escorregamento. Nas fotos 6.16 a 6.18, o talude já está estabilizado com as soluções propostas.

O *trecho 4* encontra-se ilustrado nas fotos 6.19 a 6.21. Observa-se a ocorrência de blocos muito fraturados no interior do maciço escavado e o contato solo-rocha precursor dos escorregamentos ocorridos. Nas fotos 6.22 e 6.23 têm-se os taludes estabilizados com as soluções propostas.

A caracterização da situação à época da implantação do *trecho 5* é ilustrada nas fotos 6.24, 6.25 e 6.26. Nestas pode-se observar a complexidade geológica da região, com contatos entre tipos litológicos geneticamente distintos ocasionando os escorregamentos. As fotos seguintes 6.27 a 6.29 mostram o talude estabilizado com o empregos das soluções propostas.

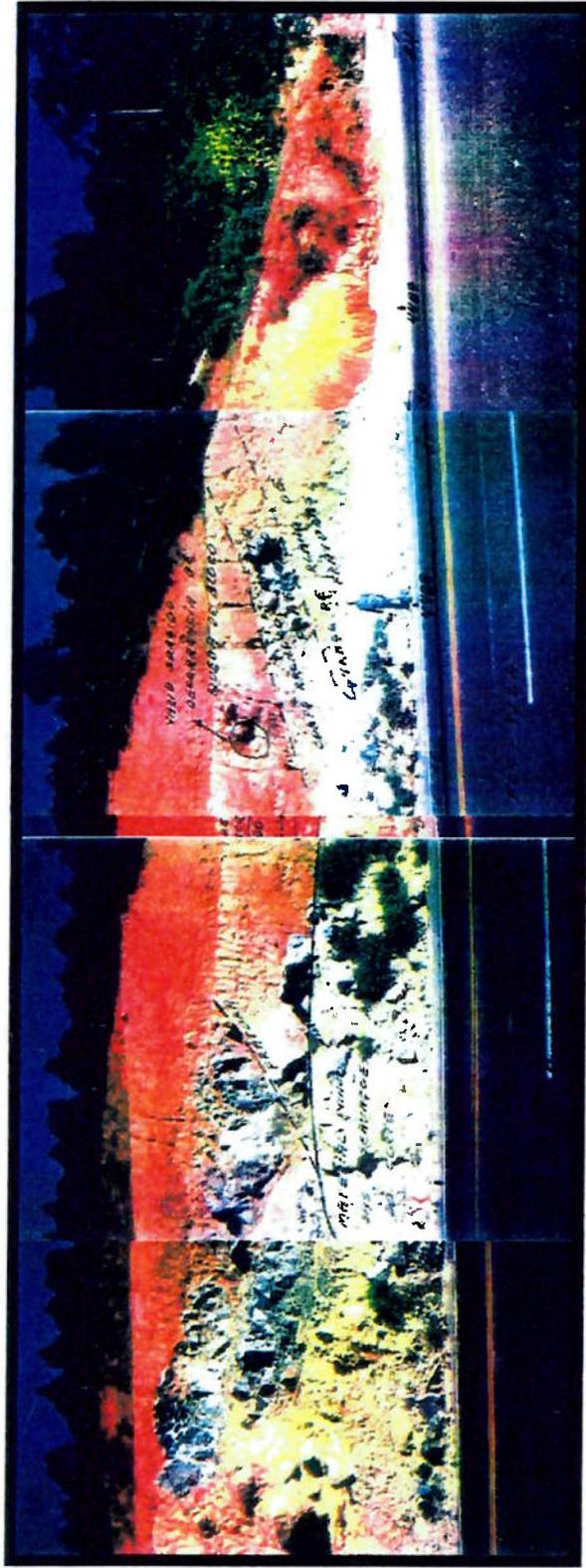


Foto 6.1 - Solo residual jovem, com blocos rochosos de até 10 m³. Notar plano de fratura no contato solo-rocha e preservados no solo residual



Foto 6.2 - Presença de corpo rochoso no talude inferior, condicionado, geometricamente, por fraturas



Foto 6.3 - Presença de muitos blocos rochosos no talude inferior e erosão acima, no contato solo-rocha

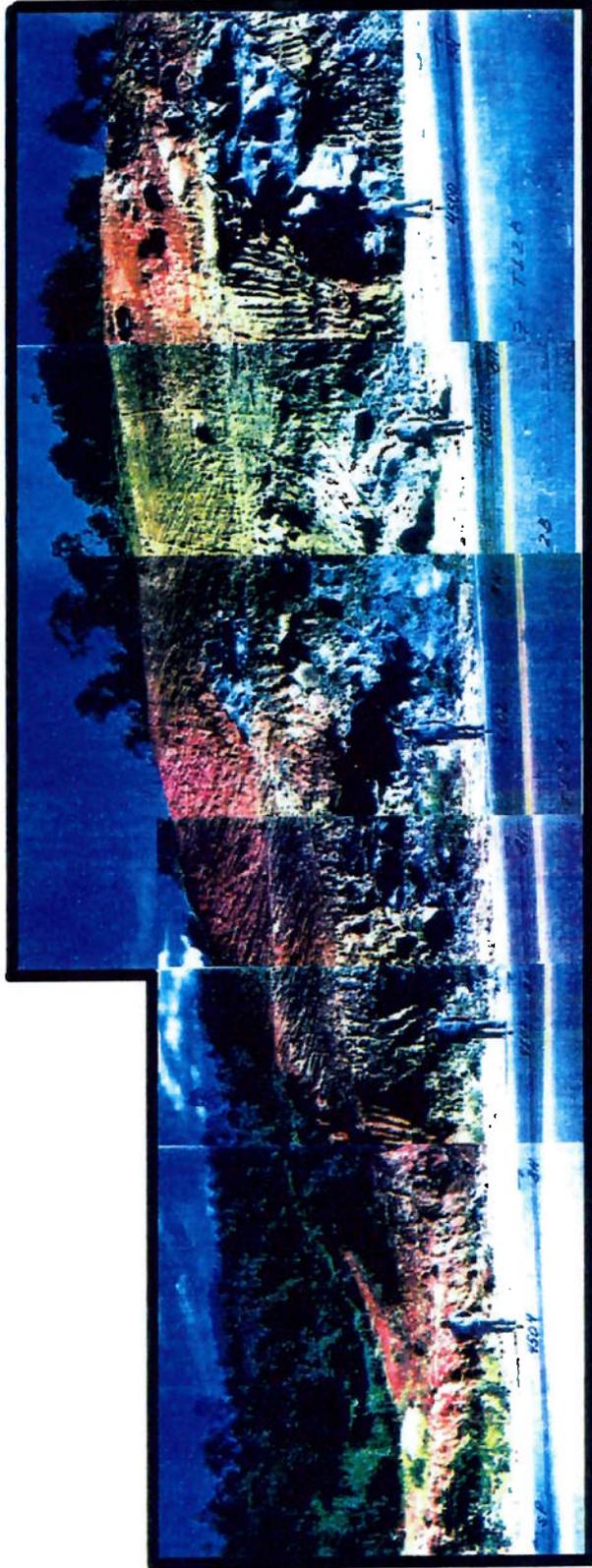


Foto 6.4 - Desenvolvimento do corpo rochoso no talude inferior



Foto 6.5 - Soluções de estabilização implantadas

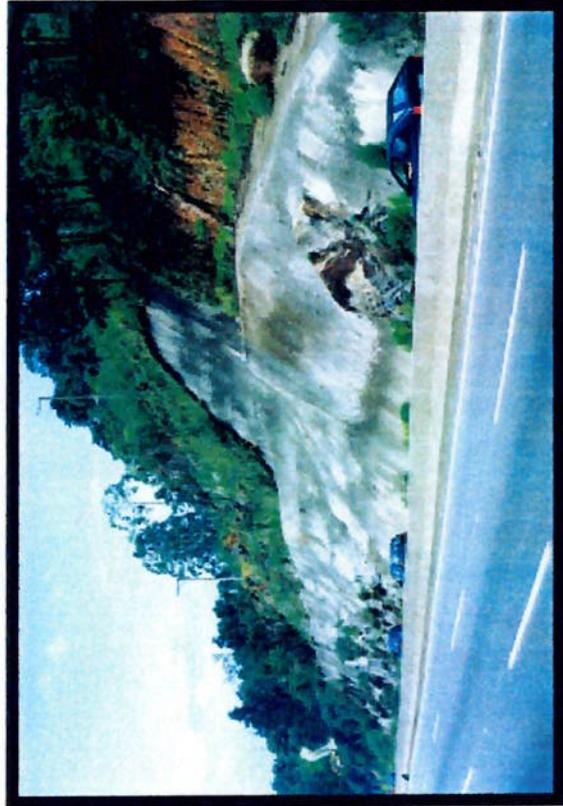


Foto 6.6 - Soluções de estabilização implantadas



Foto 6.7 - Vista frontal do escorregamento ocorrido, com vários blocos destacados do maciço

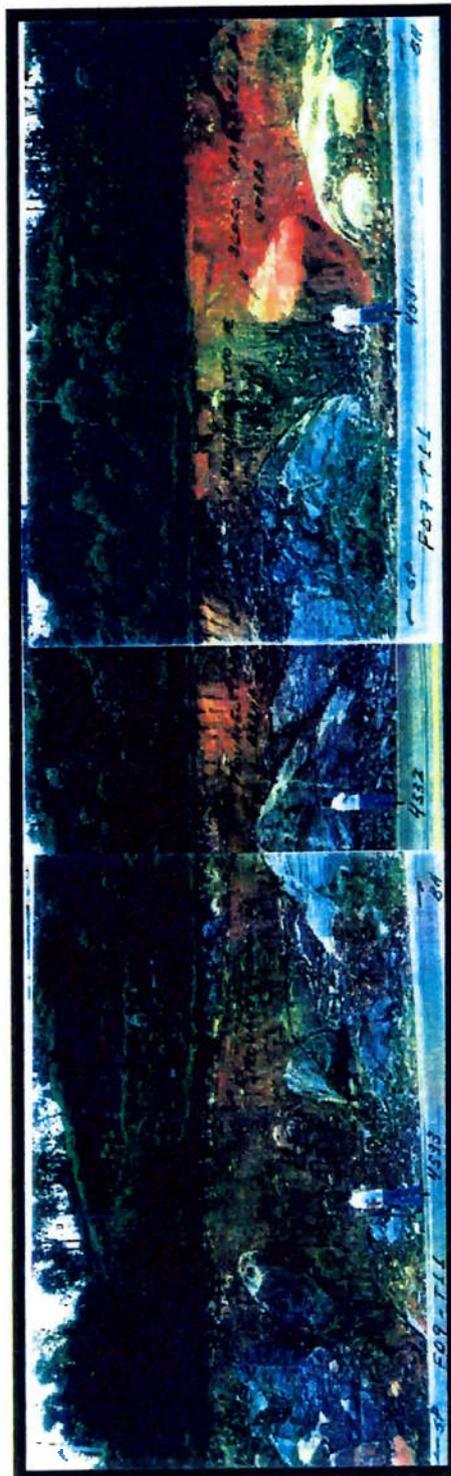


Foto 6.8 - Provável afloramento do maciço rochoso no talude inferior, muito fraturado - escavações incompletas

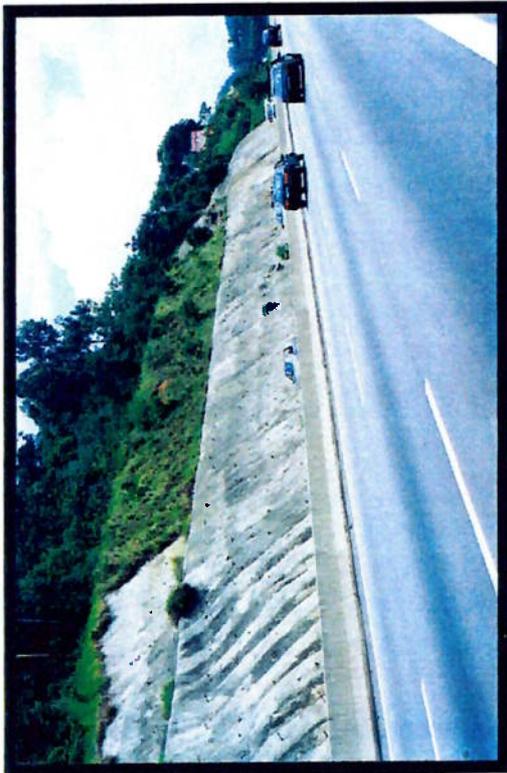


Foto 6.9 - Soluções de estabilização implantadas



Foto 6.10 - Soluções de estabilização implantadas

Foto 6.11 - Soluções de estabilização implantadas

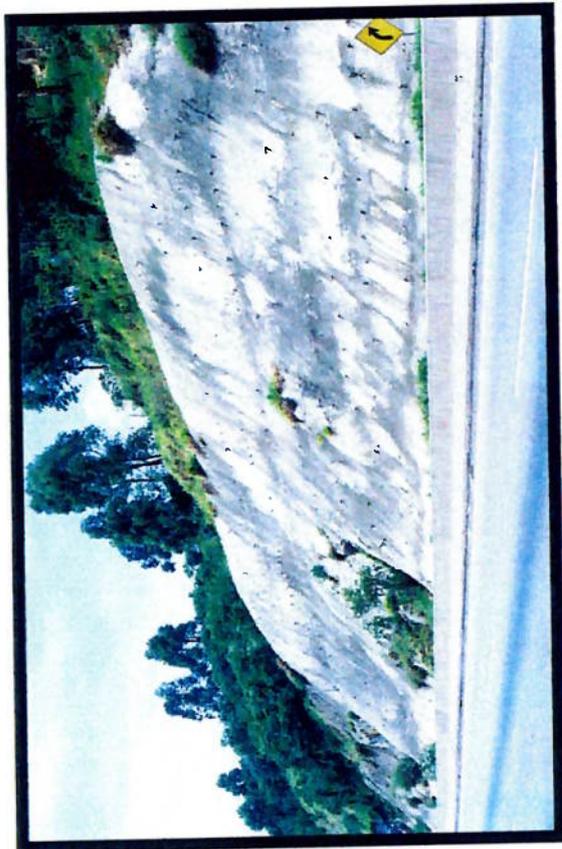


Foto 6.12 - Soluções de estabilização implantadas





Foto 6.15 - Segmento onde ocorreu um escorregamento no talude inferior e a proteção com reaterro provisório

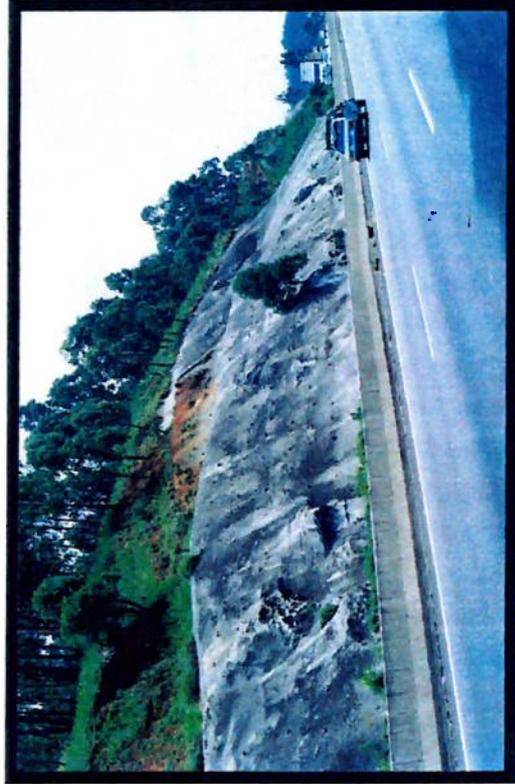


Foto 6.16 - Soluções de estabilização implantadas

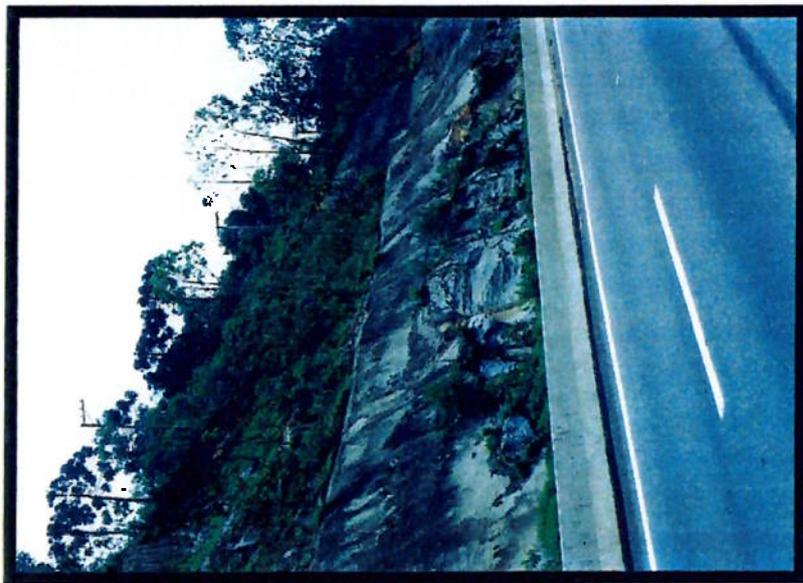


Foto 6.17 - Soluções de estabilização implantadas

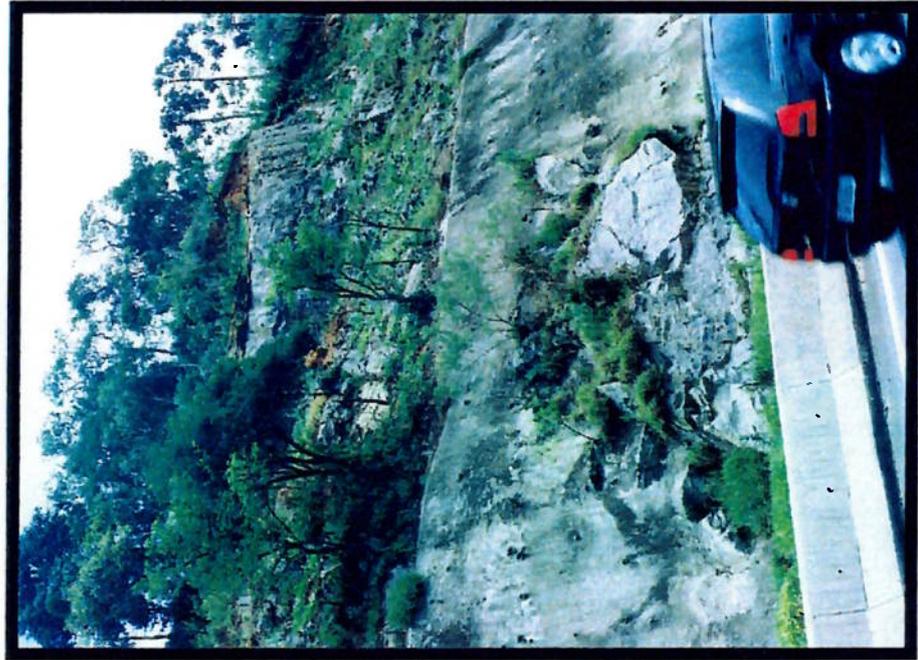


Foto 6.18 - Soluções de estabilização implantadas



Foto 6.19 - Ocorrências de blocos de rocha imersos em solo residual jovem



Foto 6.20 - Delimitação do provável topo rochoso, com surgimento de erosões no talude superior

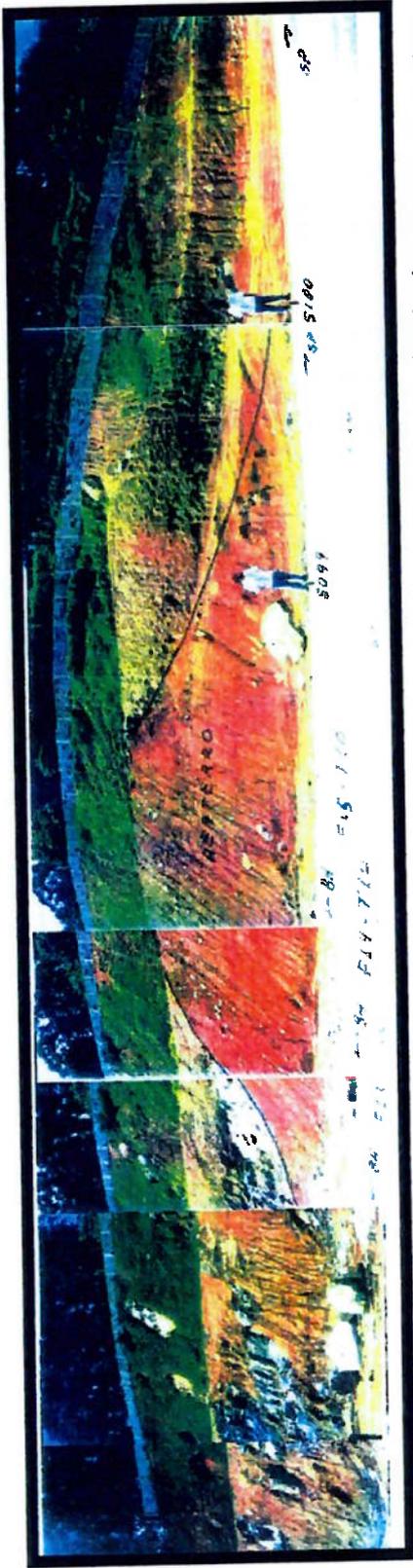


Foto 6.21 - Zona de transição solo-rocha com reaterro executado para contenção provisória dos escorregamentos

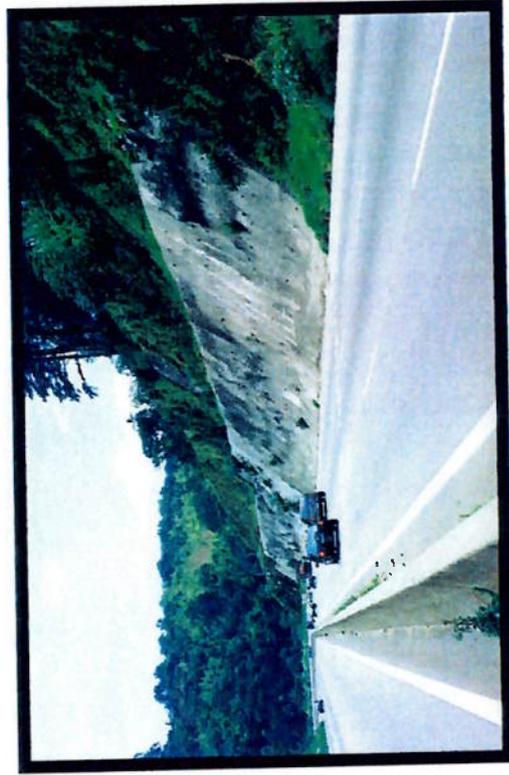


Foto 6.23 - Soluções de estabilização implantadas

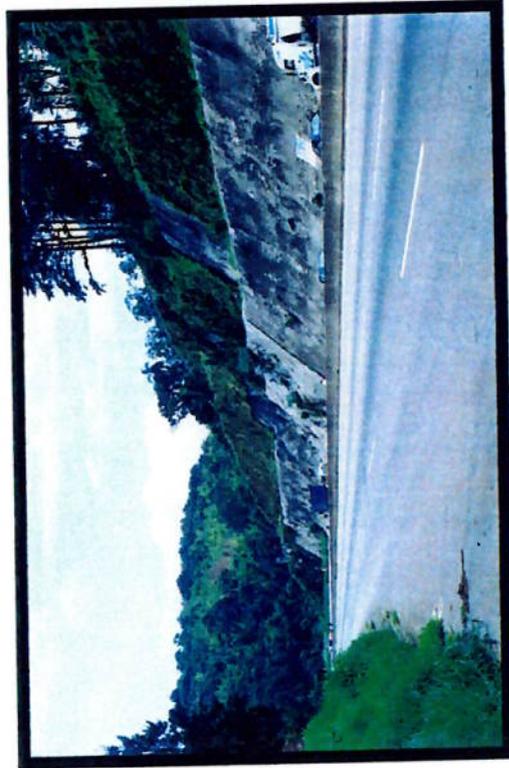


Foto 6.22 - Soluções de estabilização implantadas



Foto 6.24 - Vista geral do corte, mostrando o escorregamento ocorrido no talude médio

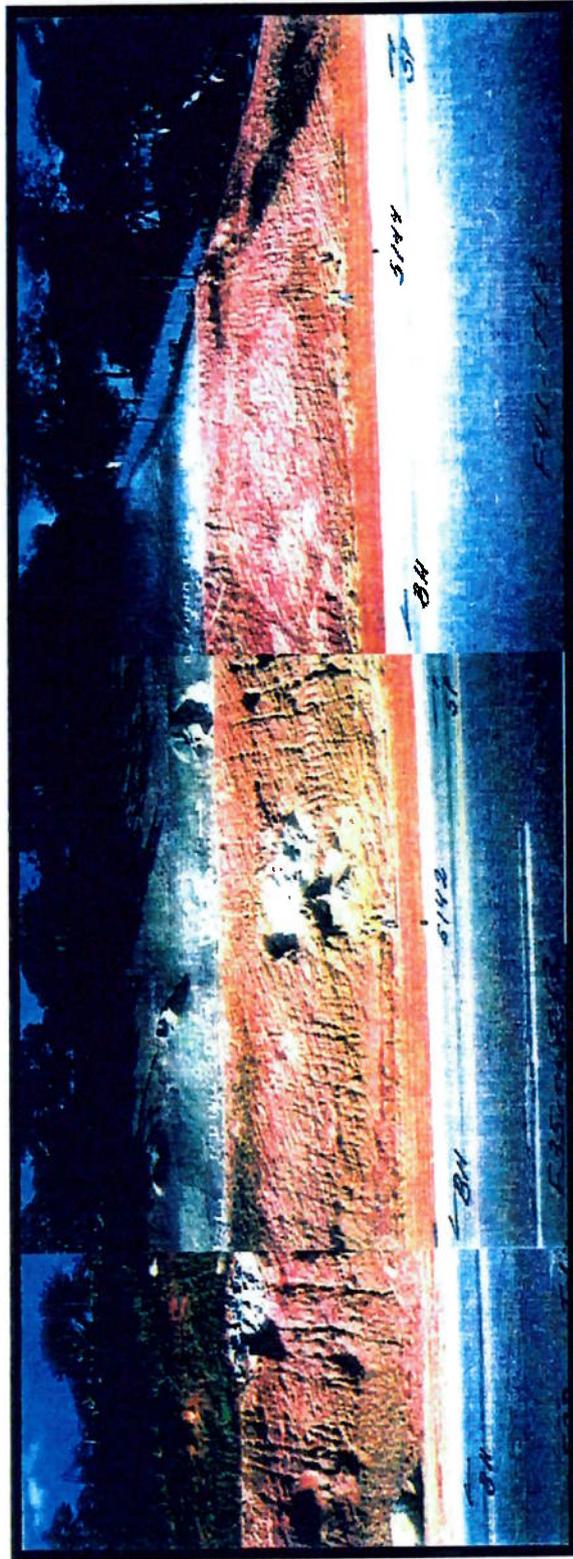


Foto 6.25 - Intenso ravinamento no talude inferior, bloco residual no talude inferior e projetado no superior



Foto 6.26 - Presença de grande bloco residual de granodiorito na região de contato com os metassedimentos

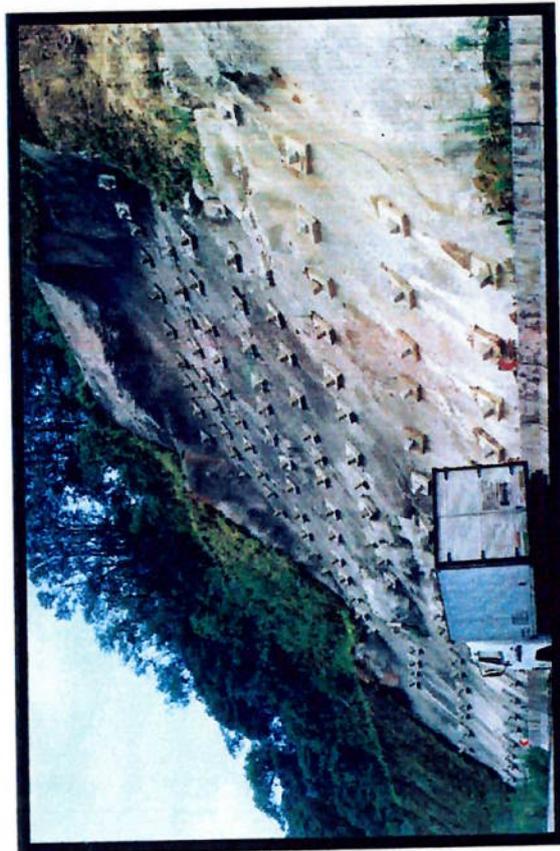


Foto 6.27 - Soluções de estabilização implantadas



Foto 6.28 - Soluções de estabilização implantadas

Foto 6.29 - Soluções de estabilização implantadas
(parcialmente)





Foto 6.30 - Ocorrência de grandes blocos de rocha com decomposição química esferoidal em solo residual jovem

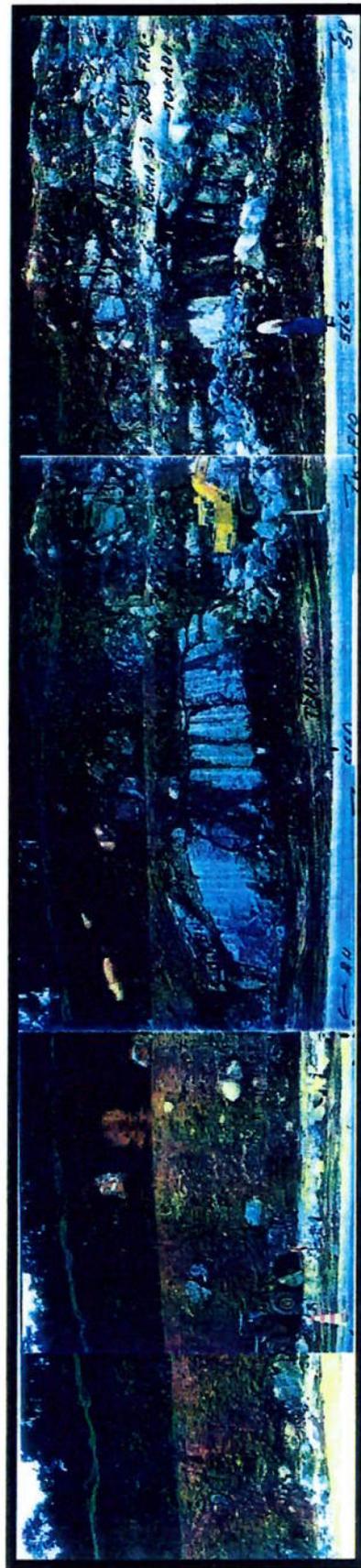


Foto 6.31 - Afloramento do maciço rochoso e a transição entre rocha sã e rocha alterada muito fraturada



Foto 6.32 - Afloramento do maciço rochoso e a transição entre rocha sã e rocha alterada muito fraturada

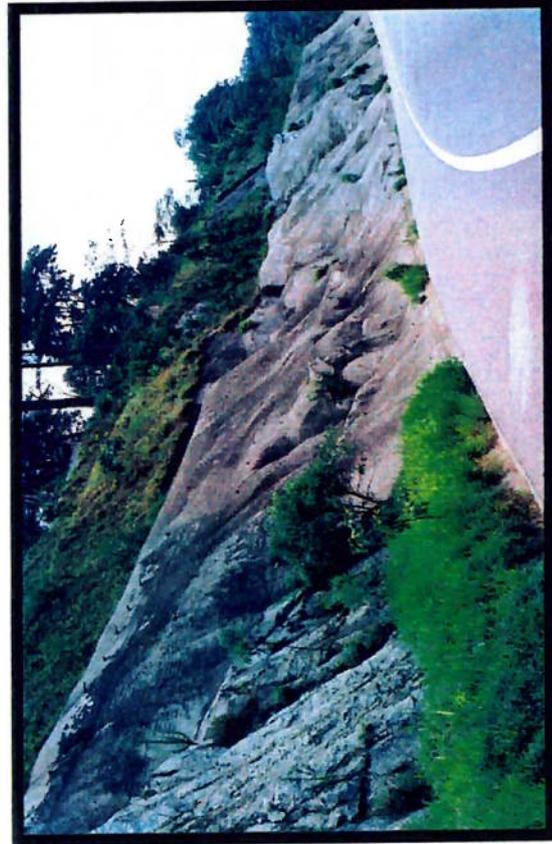


Foto 6.33 - Soluções de estabilização implantadas



Foto 6.34- Soluções de estabilização implantadas

No *trecho 6*, na foto 6.30 nota-se a ocorrência de blocos de rocha imersos em solo residual jovem de granodiorito, originando zonas potenciais de infiltração de água e conseqüentemente de formação de processos erosivos. Seqüencialmente, nas fotos 6.31 e 6.32, o afloramento rochoso foi encontrado e a zona de transição solo-rocha evidenciada com as escavações. As fotos 6.33 e 6.34 ilustram as soluções de estabilização do corte implantadas.

6.8 Análise Econômica entre as Soluções de Estabilização Projetadas Inicialmente e as Propostas nessa Dissertação

Como descrito no item 5.2, as inclinações dos taludes projetados para o lado de duplicação da via não eram compatíveis com seus parâmetros de resistência ao cisalhamento, daí o surgimento dos inúmeros problemas de estabilidade e até de colapso, em alguns casos.

Como solução primeira, surgiu, como sempre, o simples abatimento da inclinação da face dos taludes para o tradicional 1H:1V (HORIZONTAL E VERTICAL), conferindo-os um ângulo de 45°. Esta solução, porém, deparou como uma série de problemas que a inviabilizou por completo. Para se reduzir as inclinações dos taludes, as sobre-escavações eram consideravelmente volumosas, as regiões estavam compreendidas em áreas de proteção ambiental permanente (Serra da Cantareira e Serra de Mairiporã/Juquehy), restringindo a disposição dos materiais escavados em bota-foras, escassos na região, além de estarem localizados, em média, a cinco quilômetros dos taludes em pauta, encarecendo substancialmente em termos de momentos de transporte.

Como se não bastassem esses contratempos, havia ainda o fator desapropriação. O abatimento implicava em novas faixas desapropriatórias, não contempladas inicialmente e de difícil negociação com os proprietários. O tempo para efetivação destas negociações era demasiadamente prolongado, prejudicando por completo o cronograma do empreendimento.

Desta forma, propôs-se caracterizar os maciços instáveis e envolvidos no processo e, assim estudar as soluções de estabilização percorridas anteriormente.

Como soluções de engenharia, os projetos não deveriam ser eficientes apenas tecnicamente, mas deveriam também apresentar custos reduzidos para catalisar o processo de aprovação junto ao órgão e expor, pelo menor tempo possível, os materiais às intempéries, exposição essa que só prejudicaria os trabalhos de estabilização.

Os resultados destes estudos, aplicando as metodologias para elaboração de projetos propostas nessa dissertação, foram extremamente positivos. Tecnicamente, como já exposto, e economicamente como representado nos gráficos 6.1 e 6.2.

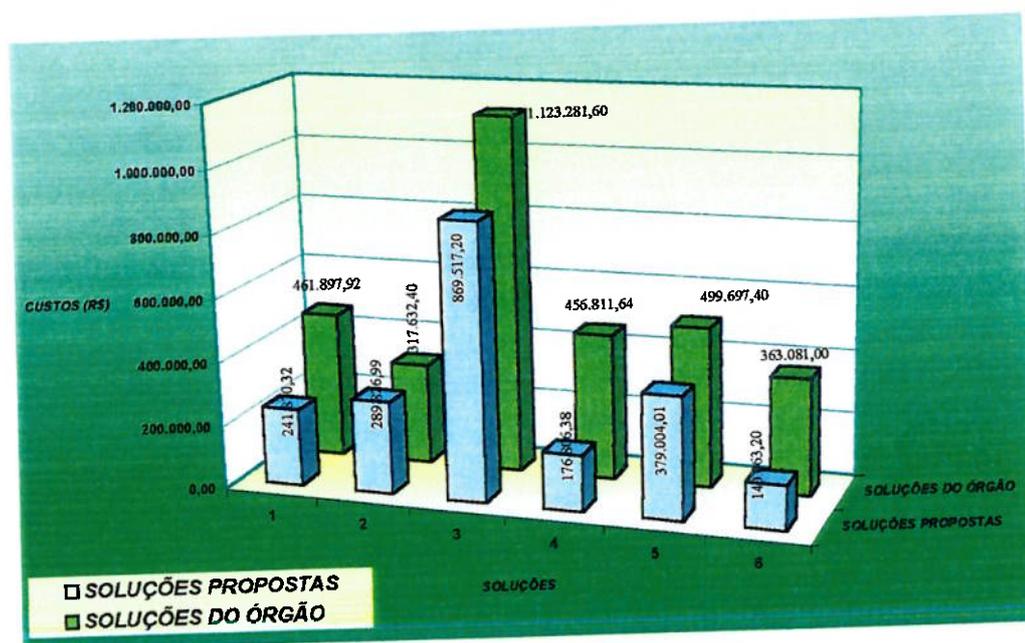


Gráfico 6.1 Custos comparativos, por trecho, entre as soluções propostas pelo empreendedor e as soluções propostas nesse trabalho

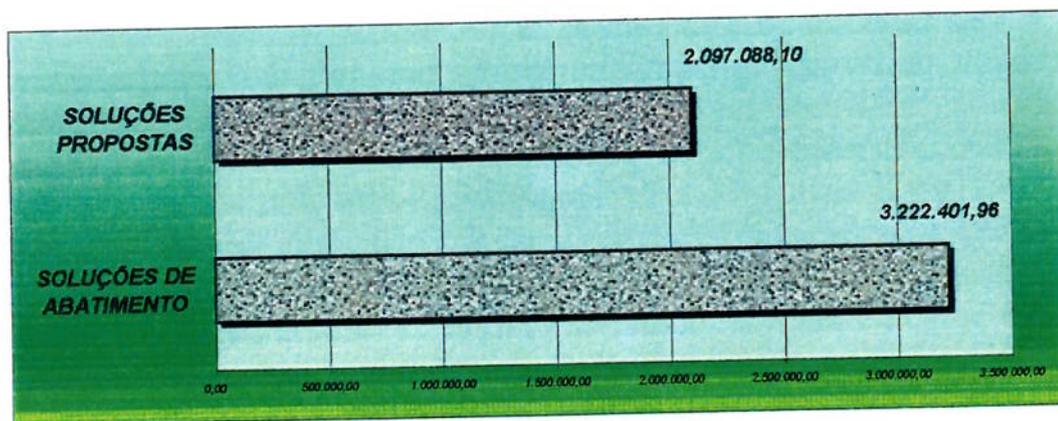


Gráfico 6.2 Custos comparativos finais globais

A análise destes gráficos mostra que os trabalhos convencionais foram orçados em R\$ 3.222.401,96 (Três milhões, duzentos e vinte e dois mil, quatrocentos e um reais e noventa e seis centavos), contra as soluções projetadas com base nas premissas dessa dissertação, cujo orçamento de R\$ 2.097.088,10 (Dois milhões, noventa e sete mil e oitenta e oito reais e dez centavos) representou um custo de 65% daquele preconizado para o simples abatimento dos taludes. Isto significa uma economia substancial, a preços de dezembro de 2.000 (Tabela de Preços do DER/SP), de R\$ 1.125.313,86 (Um milhão, cento e vinte e cinco mil reais) ou de 35%.

6.9 Considerações Finais Sobre os Temas do Capítulo 6

Apresentou-se nesse capítulo as soluções projetadas nos estudos de caso, bem como a descrição para obtenção dos critérios e parâmetros adotados nos cálculos e estudos realizados e a análise econômica entre as soluções propostas e implantadas a partir da adoção da metodologia de projeto apresentada com relação às propostas inicialmente preconizadas pelo empreendedor no projeto executivo.

Com esse estudo de caso, pode-se sintetizar os conceitos apresentados anteriormente

dentro do interesse da proposta que é apresentada no próximo capítulo deste trabalho:

- a importância da elaboração de um programa de necessidades – significando a correta interpretação das necessidades do usuário e dos objetivos do empreendimento;
- *concentração de esforços nas fases iniciais do projeto;*
- formação antecipada da equipe de projeto, introduzindo a prática de elaboração simultânea de *anteprojetos;*
- *participação de profissionais da construtora, inclusive na coordenação do projeto;*
- elaborar os *detalhes construtivos voltados para a execução, coerentes com os procedimentos de execução adotados pela construtora;*
- integração entre projeto e *processo de produção, áreas de empreendimento, suprimentos e de planejamento e custos da empresa e estabelecimento de relações mais modernas com fornecedores, significando uma nova cultura de projeto.*

Esse conjunto de elementos deve contribuir com as ações que visam promover a qualidade ou a evolução tecnológica, que podem ser mais rapidamente absorvidas, combatendo uma *postura conservadora* muitas vezes presentes nas empresas projetistas até hoje – postura esta que envolve a falta de especificações adequadas das características do produto projetado, a prática comum de *elaboração do projeto na forma compartimentada*, entre outros fatores que contribuem para grandes oscilações de qualidade dos projetos rodoviários.

7 ANÁLISE E PROPOSIÇÕES

Este sétimo capítulo contém a proposta feita neste trabalho, tratando das diretrizes e métodos para elaboração e controle da qualidade no desenvolvimento do projeto de rodovias, bem como sua implantação no contexto de programas da qualidade de empresas projetistas e construtoras.

A partir da base proporcionada pelos capítulos 2, 3, 4 e 5, será analisada aqui a inserção do projeto rodoviário em um processo de geração do empreendimento, objetivando a implantação de sistemas da qualidade de modo coerente com a adoção de critérios de racionalização e construtibilidade. Para tal, serão considerados os resultados das experiências descritas de implantação de novas metodologias de projeto.

7.1 Diretrizes para a Estruturação do Processo de Projeto

7.1.1 A filosofia da qualidade e o projeto

Como introduzido no segundo e terceiro capítulos, as análises que partem da filosofia da qualidade originada em outras indústrias ajudam a evidenciar as distorções que na Construção Civil cercam a participação do projeto no processo de geração do produto *rodovia*.

Esse caráter deformado da inserção do projeto foi evidenciado pelas figuras anteriormente apresentadas nos capítulos 2 e 3 (figuras 2.3, 2.4 e 3.6) em que se mostrou o contraste entre o chamado ciclo da qualidade na Construção Civil e o processo que se estabelece em um empreendimento, onde em geral o projeto ocorre de modo truncado, desfavorável à implantação de sistemas da qualidade.

As relações do órgão contratante do projeto com agentes financeiros e a viabilização da execução da obra e outros aspectos vinculados à geração do empreendimento são elementos predominantes no ciclo praticado pela maioria das empresas, relegando a qualidade do projeto a segundo plano.

Pode-se aqui lembrar a mudança de enfoque verificada na indústria japonesa, na qual o projeto foi sendo gradativamente mais valorizado face aos esforços de inspeção e controle, voltados a etapas posteriores no processo de geração do produto, entendendo-se com isto que há uma defasagem conceitual entre as práticas adotadas na Construção Civil com relação a outros ambientes industriais. Para que se possa mudar o enfoque corrente hoje no setor rodoviário, deve-se alterar as relações do projeto com as demais atividades que compõem o ciclo da qualidade, o que significa:

- estreitar as relações entre as atividades de projeto e de *planejamento* do empreendimento, para adequada inicialização do processo do empreendimento, utilizando de forma estratégica o projeto, considerando as necessidades reais do usuário;
- relacionar as decisões de projeto a informações advindas do *uso, operação e manutenção* de rodovias já entregues aos usuários, através de um processo de coleta e análise de informação, que pode provocar a retroalimentação e auxiliar a sistematização dos procedimentos de decisão em projeto;
- integrar projeto e *execução* (o que será detalhado nos itens 7.1.2 e 7.1.3);
- tratar o projetista como um participante efetivo do ciclo da qualidade estabelecendo *procedimentos* que norteiem de modo objetivo as relações cliente-fornecedor na contratação, acompanhamento e controle dos projetos - consideradas suas peculiaridades¹;

- compatibilizar as atividades de projeto e suprimentos - envolvendo as relações da empresa com *fabricantes e distribuidores de materiais e componentes* - para permitir o desenvolvimento de inovações tecnológicas através da realização de trabalhos conjuntos, que podem então serem traduzidas em especificações e detalhamento adotados no projeto.

A adequada inserção da atividade de projeto no processo do empreendimento permitirá, ainda, a consideração do necessário atendimento aos três principais *clientes do projeto* - o usuário, o empreendedor e o construtor - significando a estruturação dos procedimentos de projeto de modo a permitir a satisfação desses clientes, equilibrando seus interesses.

A diretriz resultante deve contemplar a mudança estratégica no papel do projeto, a qual pode ser expressa como:

“A atividade de projeto deve ser entendida como instrumento fundamental para o aumento da competitividade das empresas projetistas, integrando-se aos demais processos que participam do ciclo da qualidade”.

¹ A complexidade do papel do projeto não permite, evidentemente tratá-lo como um simples “insumo” e ao projetista, como um mero “fornecedor”, já que o projeto influi de forma decisiva sobre todo o processo, como quanto às especificações de materiais, tecnologia adotada, etc..

7.1.2 Enfoque sistêmico do processo e qualidade do projeto

Como visto anteriormente no capítulo 3, a atividade de projeto possui a característica essencial de gerar e receber influências globais no empreendimento, daí o interesse em discutir-se o caráter sistêmico - em que o empreendimento é um sistema no qual o projeto está inserido.

Wood Jr (1993) apresenta idéias relacionadas à utilização dos conceitos da Teoria dos Sistemas na solução de problemas da qualidade, valorizando o enfoque global no enfrentamento das questões e a consciência crítica da inserção de cada ação no todo do empreendimento.

Handler (1970) desenvolve um *enfoque sistêmico para a atividade do engenheiro*, apresentando uma divisão das atividades realizadas nos empreendimentos, definindo quatro subsistemas de um sistema por ele denominado “sistema empreendimento”, que podem ser denominados:

- subsistema projeto;
- subsistema construção;
- subsistema uso;
- subsistema operação e manutenção.

Esse autor dá destaque à importância de empregar-se uma visão global para projetar satisfatoriamente um produto, o engenheiro tem de considerar todo o espectro do processo, desde seu início até a conclusão, quando deverão tomar-se evidentes os objetivos da construção proposta e as atividades para as quais ele foi projetado”.

No subsistema projeto, Handler enfatiza a consideração de um conjunto de *restrições*, constituído pelos objetivos adotados pelo empreendimento, pelas limitações a ele impostas e pelo atendimento a quatro grupos de critérios. Tais restrições condicionarão o processo de projeto, que utilizará como *dados de entrada* métodos e conhecimentos especializados, para ao final oferecer, como *saídas* desse subsistema, as informações necessárias à execução da obra (dados de entrada para o subsistema construção). A figura 7.1 exhibe a configuração do subsistema projeto, adaptada a partir da proposta de Handler.

Produzidos a partir do conjunto de *restrições* de diversas naturezas e origens estabelecidas no nível de objetivos, de limitações e, por último, de critérios dentre os quais estão os critérios técnicos, em meio aos humanos, sociais e econômicos - será considerado um conjunto de *dados de entrada* desde a elaboração das primeiras idéias vinculadas ao projeto, dando assim forma às possíveis soluções.

Observe-se que no rol de restrições que condicionam os dados de entrada do processo de projeto, incluem-se as limitações de legislação e custos, que estreitam a faixa de possibilidades que contém as alternativas de solução para o projeto, os quais podem ser aspectos bastante influentes sobre as características do produto.

Aos dados de entrada originados pelas restrições citadas associam-se a *metodologia de projeto*, o conhecimento prático e o apoio de consultoria para subsidiarem o processo de projeto.

O processo de *projeto em si*, composto (segundo Handler) por atividades de concepção, planejamento, análise, seleção e síntese final, produz como resultado subsídios à execução. Esses *dados de saída* são as soluções de projeto, que mostram como deve ser o produto concebido, através da especificação de materiais, quantidades, equipamentos, dimensões, detalhes, enfim, caracterizam-no de forma completa. A continuidade do trabalho da equipe de projeto, iniciada a obra, é fundamental: o projetista deve “estar

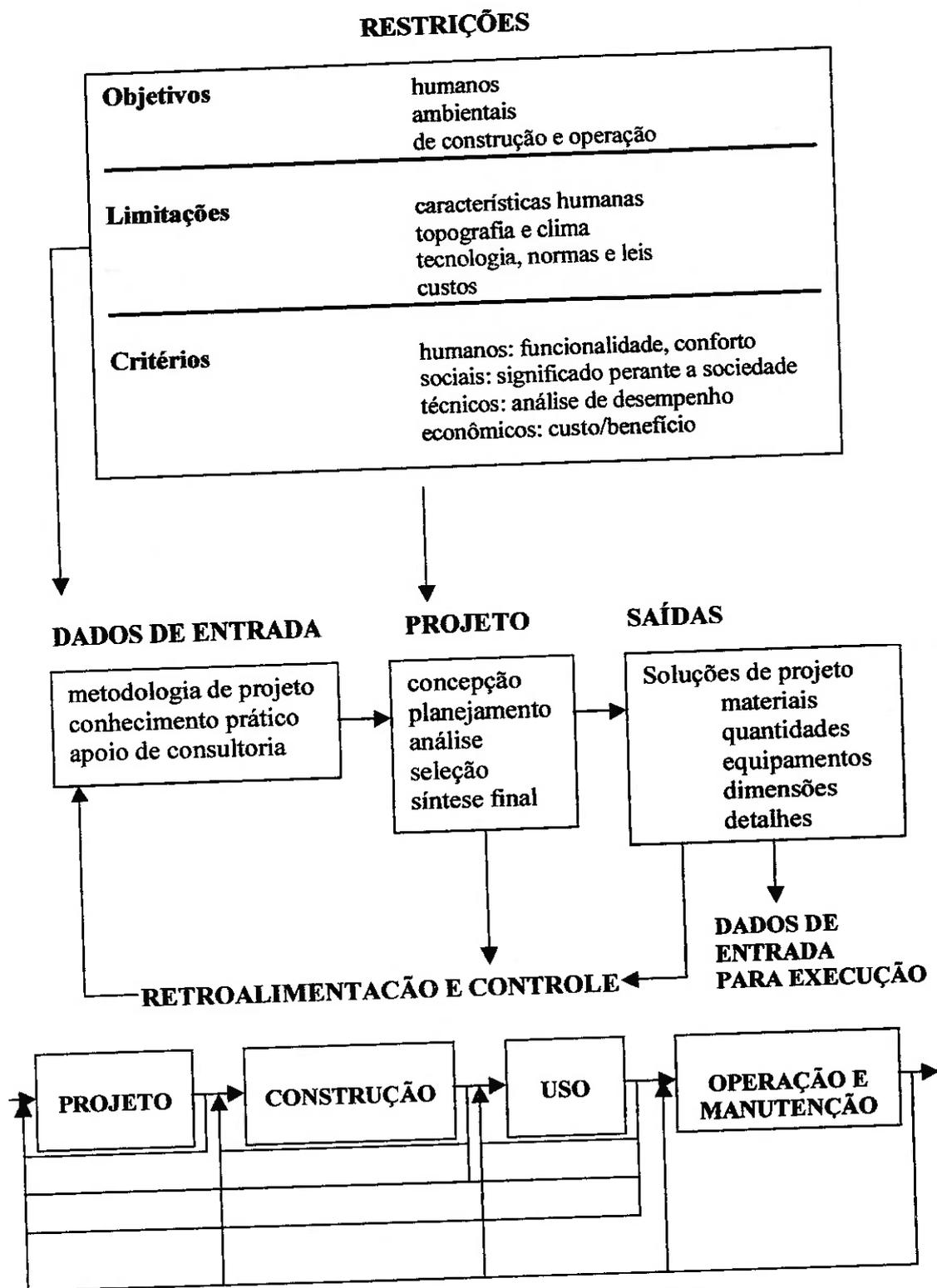


Figura 7.1 O subsistema projeto (adaptado de Handler, 1970)

sempre disposto a ir ao campo, não se limitando a entregar o pacote de projetos” (Vannucchi e Königsberger, 1991).

Não pode também faltar à visão sistêmica proposta um processo de retroalimentação adequado e ágil, permitindo não apenas a informação a futuros projetos, como também ao longo do próprio empreendimento que esteja em processo. Dos subsistemas *uso e operação e manutenção* devem retornar ao projeto as informações resultantes de um processo de avaliação dos resultados, que em qualidade seria a medida da satisfação das necessidades do cliente externo (usuário).

É importante aqui salientar que a consideração das questões relativas ao uso, operação e manutenção, tais como a durabilidade da rodovia e de suas partes, os custos de operação e de manutenção, deve ser feita de forma sistemática e que possa subsidiar com informações necessárias à tomada de decisões no projeto, servindo de fator de equilíbrio para impedir que os aspectos de custo inicial sejam os únicos a serem considerados na seleção de alternativas.

Esse processo de avaliação pode ser realizado com a aplicação do processo denominado, por diversos autores, avaliação *pós-operação* (APO), o que não é muito usual nos empreendimentos rodoviários públicos. Segundo Ornstein (1993), a avaliação pós-operação deve se concentrar em analisar aspectos “técnico-construtivos”, econômicos e funcionais. Para efeito deste trabalho, considerar-se-á as aplicações da APO no seu caráter técnico, como instrumento para a retroalimentação do processo do projeto.

E, como visto no quarto capítulo, a estruturação do processo de projeto deve levar em conta a integração das iniciativas de *desenvolvimento de tecnologia* com a atividade das equipes de projeto, o que é fundamental, *tanto quanto* a integração com relação aos grupos ligados diretamente à execução (ver figura 4.1). Falta a esta análise, portanto, a consideração mais detalhada dos aspectos vinculados à tecnologia de produção que, dentro do enfoque deste trabalho, serão incluídos com destaque na diretriz formulada no

item 7.1.3, a seguir.

Em síntese, as considerações desenvolvidas até aqui podem ser traduzidas como mais uma das diretrizes para a estruturação do processo de projeto:

A atividade de projeto deve estar integrada, quanto aos objetivos e quanto aos procedimentos, com o conjunto das atividades vinculadas ao empreendimento, sendo considerada um sub sistema desse conjunto.

7.1.3 Projeto do produto e projeto do processo

É perfeitamente cabível traçar-se um paralelo com o conceito de *engenharia simultânea*², em voga na indústria automobilística, conceito em que se tem simultaneamente a elaboração do “projeto do produto” e do “projeto do processo”. Tal procedimento, como discorrido nos capítulos 5 e 6, foi adotado nas obras de implantação da duplicação da Rodovia Fernão Dias.

Ferreira (1993) avalia a introdução desse conceito, na verdade, como uma redescoberta: “antigamente, antes do taylorismo, os artesões eram simultaneamente projetistas e produtores”. Este autor apresenta uma série de passos a seguir para a implantação da engenharia simultânea em um dado projeto, dentre os quais destacam-se:

- a indicação de um responsável pelo projeto (*coordenador*), que liderará a equipe, com poderes sobre decisões de outras áreas que afetem o projeto;
- promover treinamentos cruzados: ensinar aos engenheiros de projeto sobre produção

² Conforme Ferreira (1993), o conceito de “engenharia simultânea” surgiu na Ford Motor Company (EUA) no início da década de 80, durante o projeto Taurus, podendo ser encontrado em outras indústrias com diferentes denominações: engenharia concorrente (indústria mecânica em geral); engenharia paralela (indústria eletrônica).

e vice-versa;

- cooperação total de outras áreas da empresa.

Aplicando princípios de *engenharia simultânea*, Cardoso (1993) defende a idéia de formar grupos de projeto na Construção Civil segundo “cortes transversais”, reunindo diferentes profissionais além dos projetistas: encarregados de produção, de assistência técnica de obras, qualidade, custos, fornecedores, etc., superpondo as fases de *concepção* e de *projeto para produção*, de forma similar ao que já é feito em outras indústrias.

Devido às dificuldades para a obtenção da *qualidade do projeto*, já apontadas no terceiro capítulo, a extensão desse conceito à Construção Civil deve exigir algumas alterações na organização dos empreendimentos, de modo a permitir a consideração de ambos aspectos desde o início. Essa adaptação faz-se necessária em várias conjunturas e não apenas no caso brasileiro.

Bobroff (1993), cita como exemplo um trabalho desenvolvido em uma empresa francesa de construção, em que se introduziu recentemente as seguintes inovações na organização do processo de geração do empreendimento:

- nas primeiras fases do empreendimento já são consideradas novas alternativas tecnológicas;
- há a participação de engenheiros ligados à execução na decisão de soluções técnicas de projeto;
- esta filosofia facilita a previsão de custos, torna-a mais precisa e permite antecipar a organização de canteiro e subcontratações.

Pode-se somar a isto a *participação dos projetistas estendida à etapa de execução*,

dentro do conceito de *projeto como serviço*, o que significa a solução efetiva dos problemas dentro das necessidades previstas e não previstas, as últimas podendo surgir até o final do processo do empreendimento e inclusive após a entrega da obra. A adoção desse princípio implica em que tal “assistência permanente” seja sistemática e conste das próprias atribuições do projetista previstas em seu contrato.

Nesse sentido, projetar passa a ser uma função ao mesmo tempo exercida nos níveis estratégico e operacional do empreendimento, devendo haver a devida integração entre eles.

Conclui-se que deve haver uma melhor inserção do processo de projeto dentro do *sistema empresa projetista* e do *sistema empreendimento*, cujas características e inter-relações devem ser consideradas para a obtenção da qualidade do projeto e do produto final.

O projeto deve incluir informações destinadas à criação da infra-estrutura de produção e à organização, planejamento e controle das atividades. Como assinala Marques (1992): “o projeto e a produção (...) não devem, em hipótese alguma, caminharem dissociados”.

O plano da qualidade em empresas projetistas e construtoras deve ser estruturado de modo a orientar e subsidiar a elaboração do projeto levando em conta esses dois prismas, ou seja: o do produto e o do processo. A figura 7.2 ilustra essa situação.

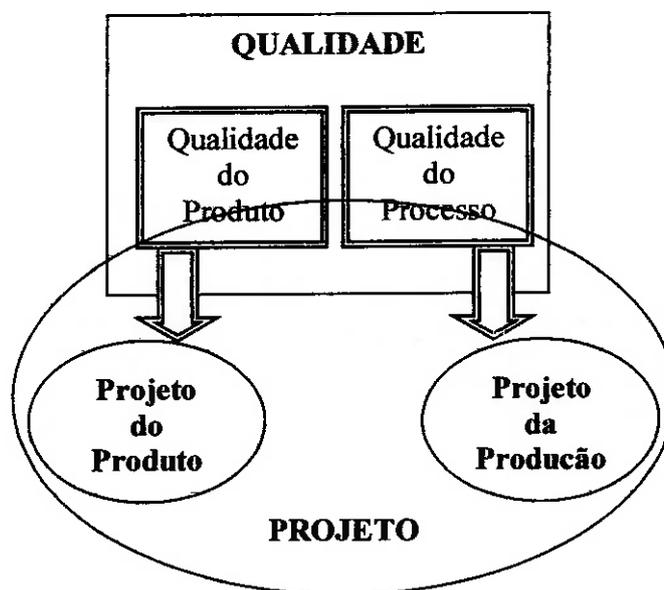


Figura 7.2 Projeto do produto e projeto da produção, orientados pelo plano da qualidade implantado pelo empreendedor (Marques, 1992)

Franco (1992), ao analisar a elaboração dos *procedimentos construtivos* conceitua sua importância para a qualidade da execução e afirma que os mesmos, adotados como normas internas do órgão empreendedor, são responsáveis pela definição de técnicas e métodos de produção e pelo estabelecimento de referências para o controle e a verificação dos serviços.

O mesmo autor também salienta a necessidade de um “*projeto do processo produtivo*”, o qual tem o objetivo de ordenar os grupos de atividades para a elaboração dos serviços na execução do empreendimento.

Assim, no desenvolvimento de *projetos de processo*, a empresa projetista poderá recorrer, como fonte de referência, a normas ou procedimentos que orientem a execução dos serviços previstos, os quais tornarão esse projeto mais simples, claro e bem definido.

A atividade de projetar, portanto, *não* pode ser resumida à caracterização geométrica e

das especificações de implantação do produto desejado - uma série de dados quanto ao *processo de produção* devem ser colocados entre as informações que compõem o conjunto de elementos de projeto. Tal conjunto de informações *distingue-se* de uma coletânea de normas para execução dos serviços, já que no primeiro há o caráter necessário de seqüenciamento e orientação das atividades, como um todo, ao longo das etapas de execução da obra.

Pode-se formular, portanto, uma diretriz a ser seguida na definição do conteúdo do projeto e na orientação das decisões tomadas em seu processo de elaboração:

O conjunto de informações de um projeto deve incluir, além das especificações do 'produto' a ser construído, também as especificações dos meios estratégicos, físicos e tecnológicos necessários para executar o seu processo de construção.

7.1.4 Informações e padronização na elaboração do projeto

A normalização em vigor não contempla, de forma atual e coerente, com os princípios da qualidade mostrados anteriormente, os aspectos relacionados ao conteúdo e à forma dos elementos de projeto de rodovias.

As normas utilizadas pelos órgãos contratantes para implantação de projetos não enfocam a metodologia de projeto e os parâmetros para obtenção da qualidade em si, estando atualmente superadas e necessitando uma completa revisão. Todos esses textos deveriam sofrer uma adequação aos conceitos mais recentes na concepção e elaboração dos projetos de rodovias. Devem ser incluídos o *enfoque multidisciplinar* e considerados os conceitos de *racionalização construtiva* e *construtibilidade*.

Esses aspectos mencionados podem ser providos por mudanças metodológicas, nas quais a participação do *construtor*, ou de um *consultor de tecnologia construtiva* no processo de projeto, podem ser positivas e bem aproveitadas para a evolução da qualidade dos

mesmos quanto à consideração dos princípios de racionalização construtiva e construtibilidade.

Um recurso a ser explorado, e que deve permitir soluções mais definitivas, conquanto passam a ser incorporadas à estrutura organizacional do empreendedor, é a criação de uma “memória” construtiva. Deve coletar um conjunto de informações técnicas e de detalhes construtivos, que vai sendo complementado até tornar-se fonte de referência atualizada e suficiente para as necessidades futuras dos novos empreendimentos.

O caminho para a evolução tecnológica passa pela estruturação de um *banco de informações*, disponível para utilização pelos projetistas e deve conter prescrições ou recomendações para a especificação de materiais e serviços, tipos e alternativas de detalhes construtivos, recomendações dimensionais na forma de malhas de modulação ou de índices geométricos a serem respeitados, dentre outros. Tal sistema de informações sobre tecnologia construtiva, fundamental para “alavancar” a evolução e aumentar a produtividade das obras, será aqui denominado *banco de tecnologia construtiva*. A figura 7.3 ilustra a sua inserção nas etapas de projeto e execução.

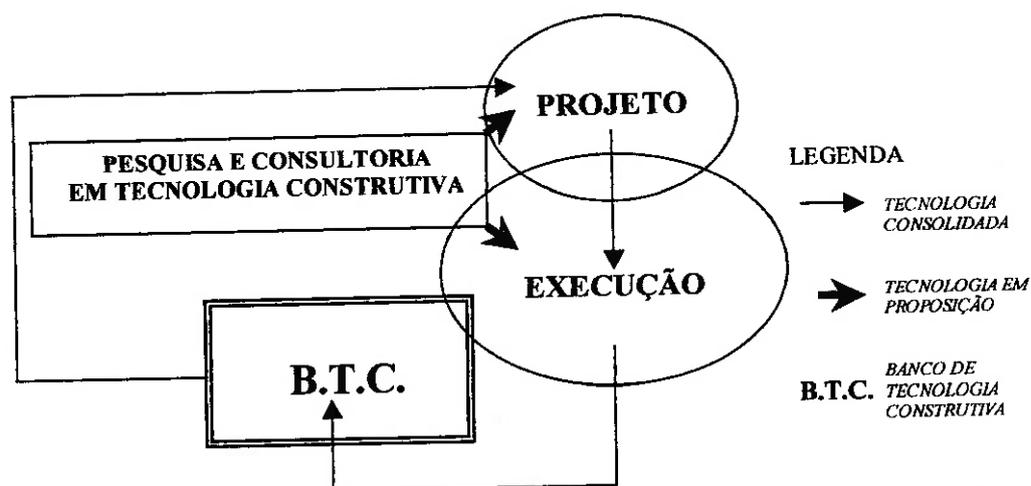


Figura 7.3 Proposta do banco de tecnologia como ligação entre etapas de projeto e execução e parte do processo de desenvolvimento tecnológico das projetistas e empreendedores

Porém, cabe discutir a viabilidade e a eficácia dessa sistemática: quando será interessante a adoção do banco de tecnologia? Quando o empreendedor (órgão público) contratar o desenvolvimento de um projeto e esse for direcionado para um dado sistema construtivo, na acepção da palavra, o caminho natural é sem dúvida esse, como bem demonstrou Franco (1992) em seu trabalho. Ao optar pela adoção de uma tecnologia sistematizada, as informações oriundas do desenvolvimento tecnológico subsidiarão o trabalho do projetista, de modo a torná-lo produtivo e eficaz, com uma metodologia de detalhamento e o uso de informação técnica vinculada às próprias soluções construtivas testadas e aprimoradas em obra.

Por outro lado, se pensarmos no processo construtivo tradicional, tal processo que não é um sistema construtivo, não garante nível de detalhamento e informações tecnológicas suficientes, em quantidade e qualidade, para a elaboração dos projetos.

Assim surgiram as iniciativas de algumas empresas projetistas e construtoras que investem em desenvolvimento tecnológico, buscando a racionalização do processo construtivo tradicional, com vistas à obtenção de sistemas construtivos próprios que se constituam em evolução significativa, sem no entanto representar uma ruptura brusca nos procedimentos e práticas usuais de projeto e execução, quanto a padrões e materiais utilizados, técnicas de execução, qualificação da mão-de-obra, enfim, mantendo a estrutura básica de organização e produção das obras rodoviárias.

A partir da adoção desses sistemas construtivos racionalizados, que empregam técnicas otimizadas, componentes de qualidade especificada e controlada, é perfeitamente viável e eficaz a utilização do banco de tecnologia. Porém, quando um processo de projeto não puder ser subsidiado por esse banco de tecnologia, a elaboração do projeto deverá exigir, desde seu início, a participação de consultores em métodos construtivos, que deverão atuar junto à coordenação do projeto, e antes, junto à gerência do empreendimento, com vistas a agregar efetivamente ao produto final a tecnologia especificada.

No caso de projetos nessa última situação, que é a situação geral encontrada hoje, vale a colocação feita por Cambiaghi (1992): “o conteúdo de um projeto completo deve ser o mais abrangente possível, de sorte a permitir, sua verificação e coordenação, identificação dos processos e métodos construtivos, qualificação, especificação e quantificação de todos os elementos que constituem a obra”. Assim, a implantação de um banco de informações auxiliaria na consolidação de esforços anteriores, tornando cada vez mais simples e econômicos os projetos.

No entanto, cabe lembrar que para obter sucesso na implantação e aplicação de qualquer sistema de informação, como observa Longo (1987), não podem existir descontinuidades em sua execução ou erros no dimensionamento do sistema, desgastando a idéia e desmotivando o seu emprego.

Portanto, resulta como diretriz ao final deste item, conforme a configuração tecnológica em que esteja inserido o processo de projeto:

- para projetos que partam do **processo construtivo tradicional**: deve-se efetuar a coleta e organização de informações que comporão um banco de tecnologia construtiva, para consulta e orientação na seleção de alternativas para as especificações e detalhes necessários à elaboração do projeto;
- em caso da opção por **sistemas construtivos inovadores**: deve ser feita a estruturação de um banco de tecnologia construtiva, contendo um conjunto de informações essenciais, critérios e restrições próximas do sistema, capazes de orientar a concepção e detalhamento do projeto com base nos requisitos da tecnologia escolhida.

7.1.5 A multidisciplinaridade do processo de projeto de rodovias

Segundo Marques (1979), “o elenco de especialistas envolvidos em um empreendimento compõe uma estrutura organizacional, cuja configuração depende de uma série de fatores circunstanciais, não se podendo *a priori* estabelecer uma estrutura padrão”.

Marques avalia que a crescente complexidade operacional dos empreendimentos, somada à própria tendência à especialização cada vez maior, gera por conseqüência a necessidade de técnica específica para a condução do projeto - onde estão as principais dificuldades para a obtenção da qualidade.

Lush (1988), ao falar sobre a organização do processo de projeto, mostra que esse conceito é condizente com a aplicação do princípio de “engenharia simultânea”, em que as atividades especializadas relacionadas com o empreendimento deixam de serem hierarquizadas em seqüência organizando-se em trabalhos simultâneos e inter-relacionados matricialmente.

E, pela multidisciplinaridade do processo, surge em decorrência a necessidade de criar uma orientação dos trabalhos de cada um dos especialistas, segundo um mesmo conjunto de diretrizes, com a priorização das tarefas de acordo com os objetivos gerais do empreendimento e baseada em critérios voltados à qualidade.

A necessidade de haver essa *coordenação* do processo de projeto é reconhecida por vários autores, sendo o papel do coordenador assim descrito por Marques “deve possuir características de liderança, bem como saber usá-la, quando se defrontar com impasses em áreas de interesse de mais de uma especialidade (...) conseguir o comprometimento de todos os membros da equipe (...) deve ser profissional com vivência no campo de projeto e também de execução de obras, de tal forma que possa transmitir à equipe a orientação adequada que promova a necessária integração dessas duas etapas do empreendimento”.

Wood JR (1993) discute o significado do trabalho e aprendizado em grupo: “acredita-se que os grupos multiplicam a capacidade de compreensão dos problemas e agilizam as soluções” mas “muitas vezes nos esquecemos de que certas tarefas podem e devem ser realizadas por especialistas” pois “o grupo algumas vezes, encobre a incapacidade técnica dos indivíduos” e “deixa a falsa sensação de que o possível foi feito”.

A diretriz básica a ser adotada em projetos rodoviários, quanto à constituição e coordenação da equipe, deve incluir os conceitos destacados anteriormente:

O desenvolvimento do projeto deve ser baseado no trabalho gerado por uma equipe multidisciplinar e coordenada de forma iterativa por um profissional com adequada experiência em projeto e execução.

8 CONCLUSÕES

Como apresentado na Introdução, neste item do trabalho pretende-se analisar:

- os desdobramentos que podem advir da aplicação de uma nova metodologia de elaboração de projetos baseada na filosofia da qualidade interna e externamente às empresas de projeto e construção;
- as necessidades de formação profissional para os engenheiros, para a atuação no projeto com tal enfoque;
- a colocação de temas para estudo em futuros trabalhos de pesquisa, na mesma linha de valorização da Qualidade do Projeto na implantação de empreendimentos rodoviários.

8.1 Desdobramentos da Implantação da Qualidade de Projeto em Empresas Projetistas, Construtoras e Entidades Empreendedoras

Deve-se retomar aqui alguns tópicos que foram tratados anteriormente neste trabalho e, a partir deles, sintetizar algumas conclusões:

- *qualidade do projeto* significa projetar com o objetivo de atender às necessidades dos 'clientes empreendedor', construtor e usuário final, buscando conciliar os interesses envolvidos de modo positivo e eliminando os conflitos entre eles;
- as atividades de construir e de projeto possuem um potencial de *integração* que tem sido pouco explorado - o que significa pensar projeto e pensar produção dentro de uma mesma filosofia, com vistas à qualidade e à evolução tecnológica;
- o *desenvolvimento de tecnologia construtiva*, a aplicação de princípios de

racionalização e de *construtibilidade* são itens fundamentais que concorrem para a ‘industrialização’ da construção de rodovias, o que conduz a uma metodologia de projeto nos mesmos moldes de outras indústrias;

- as experiências relatadas de aplicação de novas metodologias de projeto podem ser um valioso suporte para a implantação dessa nova filosofia de projeto, evitando incorrer em erros e dificuldades que foram constatados nessas situações, avançando mais e mais na busca da qualidade.

Ficou ressaltado que projetar não é uma atividade exercida apenas pelos projetistas, pois cada participante do processo do empreendimento agrega decisões ao projeto, desde a idealização do produto até a etapa de execução. Por esse motivo, a sistematização dos procedimentos de projeto é fundamental para potencializar harmônica e evolutivamente as várias intervenções inerentes ao processo.

Assim é que se pode destacar aqui o conjunto de elementos que compõem a proposta, levando a uma configuração mais atual dos procedimentos que envolvem a elaboração e controle do projeto nas empresas projetistas, construtoras e órgãos públicos empreendedores:

- a constituição de *equipes multidisciplinares* de projeto desde suas primeiras fases, com procedimentos de *coordenação de projeto metodologicamente estabelecidos*, ao invés do isolamento das disciplinas ou especialidades e da elaboração seqüencial e não iterativa do projeto, como vem acontecendo nos últimos anos em função da ‘terceirização/segmentação de projetos’ por parte das empresas projetistas;
- a definição do *conteúdo básico* dos elementos de um projeto e de uma *terminologia* mínima, coerentes com o enfoque da qualidade;
- a criação de um sistema de informação que se consolida em um *banco de tecnologia*

construtiva, garantindo a memória crítica do conhecimento acumulado pelas entidades envolvidas na implantação do empreendimento e servindo inclusive de apoio aos projetos futuros;

- a introdução do *projeto para produção* como elo fundamental de ligação entre a área de projeto e a de execução;
- a instituição de procedimentos de controle da qualidade, através do emprego sistematizado da *análise crítica* de projetos.

São esses elementos que podem contribuir para um diferencial de qualidade em relação ao que hoje se verifica, onde uma série de distorções permanecem incorporadas ao processo de projeto, garantindo a sua revalorização dentro do ciclo do empreendimento, *integrando projeto e produção* e permitindo com isto a implantação de métodos, processos e sistemas construtivos mais evoluídos.

Na maior parte das empresas de projeto, construção e órgãos públicos empreendedores, as deficiências organizacionais, do ponto de vista da qualidade, são expressivas ainda hoje, começando pelo fato de haver muito pouco do que seria desejável em termos de *controle da qualidade* das atividades de produção. Do mesmo modo, a *garantia da qualidade* torna-se difícil de ser atingida na relação com fornecedores quando a obra está em andamento, se não há normas que a subsidiem. O projeto, nessas condições, deve enfrentar grandes desafios em sua trajetória de mudança.

A reorganização do processo de projeto, nesse contexto, assume papel estratégico dentro de uma proposta de *gestão da qualidade*, trazendo 'à tona' as deficiências de estruturação das empresas e entidades empreendedoras, que devem então passar por profundas reflexões para criarem um sistema de informação e documentação que orientem suas atividades internas e externas.

Quanto ao custo do projeto, tem-se verificado a queda da remuneração profissional na área como reflexo de uma falsa necessidade de economia de recursos financeiros destinados ao empreendimento, mas que tende a ser substituída pela visão de que o projeto contribui significativamente para o controle e redução de custos da construção em obras da empresa.

Também a normalização na área de projeto, à luz dos elementos da proposta apresentada, deve ser beneficiada, estimulando-se sua renovação e atualização dentro dos princípios da qualidade.

O estabelecimento de diretrizes e métodos de projeto mais evoluídos, atualizados a partir da introdução dos princípios que norteiam a filosofia da qualidade total, permitirá uma renovação profissional na área, significando um mercado mais exigente para os projetistas - porém com perspectivas mais promissoras para os que acreditam na evolução do setor de construção de rodovias por parte dos órgãos públicos empreendedores.

E, mesmo as empresas projetistas e construtoras de pequeno porte podem seguir os princípios aqui levantados, a implantação de sistemas de trabalho mais contemporâneos pode ser obtida através da reciclagem de seus próprios profissionais, atribuindo a elementos experientes funções tais como o apoio de consultoria em questões ligadas à produção, a coordenação dos projetos, elaboração de relatórios de análise crítica, e assim por diante. O fundamental é buscar a formação de uma nova mentalidade cultural, treinando e motivando o pessoal da empresa e entidades empreendedoras em todos os níveis.

8.2 Temas para Estudo em Qualidade do Projeto de Rodovias

Considerando-se o estágio atual em que a implantação da qualidade em empresas projetistas, construtoras e entidades empreendedoras principalmente ainda se encontra e que o projeto representa um enorme campo potencial para ações de melhoria da qualidade, naturalmente não se tem aqui a pretensão de ter explorado o tema em toda sua amplitude e detalhe.

Torna-se portanto essencial avançar no estudo de alguns temas por enquanto pouco explorados, os quais são comentados a seguir:

No âmbito da gestão da qualidade, constitui uma importante vertente para estudo dentro do tema a elaboração e a implantação dos *manuals de garantia da qualidade* nas empresas projetistas, construtoras e principalmente nos órgãos públicos empreendedores ligados ao setor de transportes, como por exemplo Prefeituras, DERSA, DER, ARTESP, etc.. Esses manuais servirão como a base dos procedimentos adotados pelas diversas áreas das entidades, definindo entre outros itens, as formas de relacionamento com os fornecedores - em que se incluem os próprios projetistas - com seu reflexo sobre os contratos firmados e sobre os procedimentos de controle, entre outros aspectos.

Como instrumento poderoso para a obtenção da qualidade, a racionalização construtiva pode ser sistematicamente implantada a partir de um processo de documentação e revisão da tecnologia construtiva em prática, no contexto de um dado empreendimento. Para tanto, deve-se estudar a aplicação de sistemas de informação, dentro dos quais pode ser incluído o detalhamento da proposta feita de constituição de um *banco de tecnologia construtiva*. Cabe detalhar em um trabalho dessa natureza quais itens fariam parte da unidade de informação básica, como seria a coleta e atualização de dados, as formas de emprego da informação, e assim por diante.

A aplicação das diretrizes de *construtibilidade*, que podem ser inseridas dentro do processo do empreendimento em vários níveis, também pode gerar um trabalho envolvendo a integração entre projeto e produção, por exemplo através de sua experimentação na forma de *estudos de novos casos* tomando empreendimentos reais como referência, como foi o caso deste trabalho.

Quanto aos procedimentos adotados para controle do projeto, há ainda muito a ser desenvolvido para aumentar a eficácia da metodologia, particularmente no que se refere a custos, mostra-se fundamental estabelecer formas para sua avaliação racional, como instrumento de apoio às decisões tomadas pela coordenação de projeto, especialmente nas *fases iniciais*.

Além dos citados acima, outros trabalhos dentro da mesma linha poderiam ser propostos, tomando-se como cenário, por exemplo, as Concessionárias de Rodovias em funcionamento no Estado de São Paulo desde 1998. As metodologias de trabalho destas empresas diferem muito daquelas utilizadas pelos órgãos públicos contratantes dos serviços de implantação de empreendimentos rodoviários. Essas empresas, mesmo apresentando outra visão com relação aos aspectos qualidade, estão muito aquém daquilo proposto neste trabalho, principalmente no tocante à contratação das empresas projetistas, bem como com relação à qualidade de execução dos trabalhos.

8.3 Conclusões Finais

Pode-se agora retomar os objetivos apresentados na Introdução: discutimos o conceito de projeto, avaliando seu papel no empreendimento e a contribuição potencial da organização do processo de projeto para a qualidade para ao final propormos diretrizes e métodos voltados à elaboração e controle do projeto no contexto das empresas projetistas, construtoras e entidades empreendedoras. Dentro da proposta feita, destacamos a necessidade da valorização das fases iniciais de um empreendimento, da importância de um novo arranjo da equipe de projeto, de uma coordenação imparcial e

eficaz para o desenvolvimento do projeto e de alterações no conteúdo usual de suas etapas mostrando, através de um estudo de caso, como a inadequada condução das atividades de projeto no empreendimento rodoviário considerado nesse trabalho.

Assim, atingimos nosso objetivo final de *propor e discutir a implantação de uma nova metodologia para o desenvolvimento de projetos de rodovias*.

Quanto à contribuição dada por este trabalho, julgamos importante enfatizar alguns pontos nestas conclusões finais. Acreditamos que a Construção Civil, ao buscar inspiração no processo de evolução verificado em outros setores industriais, deverá descobrir cada vez mais a necessidade de novas metodologias de projeto para garantir a qualidade em suas obras.

Portanto, ao discutirmos a importância e o papel da atividade de projeto destacamos que as iniciativas em prol da qualidade estão intrinsecamente relacionadas e, por isso, defendemos que a melhoria do processo de elaboração e controle dos projetos deve fazer parte de todo programa da qualidade a ser implantado em empresas projetistas, construtoras e órgãos públicos empreendedores. A sua inserção é particularmente natural nos programas de empresas privadas, especialmente naquelas que sustentam ações voltadas à evolução tecnológica.

Dentro de um conjunto de questões ligadas ao desenvolvimento e implantação de tecnologia, a integração entre projeto e processo de produção tem sido um árduo desafio para todos que atuam em tecnologia de processos construtivos, desafio este que acreditamos estar, com o presente trabalho, oferecendo subsídios para melhor enfrentar. E, como poucos autores têm-se dedicado a estudar o projeto sob um ponto de vista de *construtor*, a contribuição que aqui oferecemos deverá ser significativa para aqueles que sentem falta de informação atualizada no tema.

Quanto à perspectiva de aplicação das propostas, sabemos que as dificuldades em criar

todo o conjunto de condições organizacionais e humanas necessário à implantação das mudanças, especialmente em ambientes de tradição conservadora como o da Construção Civil, são imensas. Não há dúvida que só um programa muito objetivo de implantação, dentro de um processo de evolução contínua, possuindo transparência e resultados mensuráveis, pode ajudar a quebrar as barreiras internas e externas que tendem a surgir ao longo do processo - não se trata, portanto, de estabelecer metas audaciosas, mas sim aquelas possíveis de se alcançar.

BIBLIOGRAFIA

ABAGNANO, N. **Dicionário de Filosofia**. São Paulo, Mestre Jou, 1981.

ACHILLEOS, E. User guide for PC STABL5M. West Lafayette: Purdue University, 1988. International Report JHRP – 88/19.

ALONSO, URBANO RODRIGUEZ **Execução de fundações profundas**. In: **Fundações: teoria e prática**. São Paulo. Editora Pini, 1998, p. 373-408.

BARROS, M.M S.B; MELHADO, S.B. **Racionalização do projeto de edifícios construídos pelo processo tradicional**. São Paulo, 1993. /Seminário apresentado no curso de pós-graduação da EPUSP Datilografado/

BISHOP, A.W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. **Geotechnique** v.5, n.1, 1967.

BOBROFF, J. A new approach of quality in building industry in France the strategic space of the major actors. In: EUROPEAN SYMPOSIUM ON MANAGEMENT, QUALITY AND ECONOMICS IN HOUSING, Lisboa, 1991. **Management, quality and economics in building**: transactions London, SPON, 1991. p.443-52.

BOBROFF, J. The project management. a new profile for the actors in the building industry In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Paulo, 1993. **Avanços em tecnologia e gestão da produção de edificações: anais**. São Paulo, EPUSP/ANTAC,1993 v.1, p. 41-51.

BONSIEPE, G. **A tecnologia da tecnologia**. São Paulo, Edgard Blucher, 1983.

CAMARGO, M. I. Qualidade: boas e más notícias. **Construção**, v. 46, n. 2396, p.4-6,

jan. 1994.

CAMBIAGHI, H. Projeto e obra no difícil caminho da qualidade **Obra**, n. 37, p. 10-2, jun. 1992.

CARDOSO, F.F. Novos enfoques sobre a gestão da produção: como melhorar o desempenho das empresas da construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Paulo, 1993 **Avanços em tecnologia e gestão da produção de edificações: anais**. São Paulo EPUSP/ANTAC, 1993. v.2, p. 557-70.

CÉSAR, M.C. Braços cruzados: pesquisa revela 35% de tempo ocioso em canteiros de obras. **Construção**, v.46, n.2391, p.12, dez. 1993.

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. **Constructability: a primer**. 2.ed. Austin, 1987. (CII publication, n.3-1).

DESPERDÍCIO: ele está onde você nem imagina. **Jornal do CONFEA**, Brasília, ago/set. 1993. p.5-7.

DE ZAGOTTIS, D. Introdução da Segurança no Projeto Estrutural. Departamento de livros e publicações do **Grêmio Politécnico**, São Paulo, 1975.

DUNCAN, J.M. Soil slope stability analysis. In: **Landslides, Investigation and Mitigation**. Transportation Research Board, p. 337-71.

DUNCAN, J.M.; WRIGHT, S.G. The accuracy of equilibrium methods of slope stability analysis. **Engineering Geology**, v.16, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1980. p.5-17.

ELDIN, N.N. Constructability improvements of project designs. **Journal of Construction Engineering and Management**, v.114, n.4, p.631-40, Dec. 1988.

ETIENNE, J.O. O seguro-construção na França. In: ENCONTRO FRANCO-BRASILEIRO DE QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO, São Paulo, 1999. **Anais**. São Paulo, SENAI, 1999. p.11-7.

FAN K.; FRENDLUND, D.G.; WILSON, G.W. An interslice force function for limit equilibrium slope stability analysis. **Canadian Geotechnical Journal**. v.23, n.3, p.287-96, 1986.

FERREIRA, A.B. **Produto total e projeto total: processo para qualidade do projeto a partir da voz do cliente**. São Paulo, 1993. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

FERREIRA, A.B.H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 2. ed. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1986.

FERRO, S. **Arquitetura nova**. São Paulo, GFAU-USP, 1979.

FIGUEIREDO, R.B. As normas ISO série 9000. **Revista INMETRO**, v.2, n.2, p.16-7, abr/jun. 1993.

FRANCHI, C.C.; SOILBELMAN, L.; FORMOSO, C.T. As perdas de materiais na indústria da construção civil. In: SEMINÁRIO QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., Porto Alegre, 1998. **Gestão e Tecnologia**. Porto Alegre, NORIE/UFRGS, 1998. p.133-98.

FRANCO, L.S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não**

armada. São Paulo, 1992. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

FRANCO, L.S.; AGOPYAN, V. **Implementação da racionalização construtiva na fase de projeto**. São Paulo, EPUSP, 1993. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia da Construção Civil, BT/PCC/94).

FREIRE, E.S.M. **Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática**. **Construção**, Rio de Janeiro, 1965.

GRIFFITH, A. An investigation into factors influencing buildability and levels of productivity for application to selecting alternative design solutions: a preliminary report. In: CIB W65 INTERNATIONAL SYMPOSIUM IN ORGANIZATION AND MANAGEMENT OF CONSTRUCTION, 5., London, 1987. **Proceedings**. London, CIB, 1987-88. v.2, p. 646-57.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. Ed. da Universidade de São Paulo, 1976, 170p.

HACHICH, W. Segurança das fundações e escavações. In: **Fundações: teoria e prática**. 2.ed., São Paulo, PINI, 1998. p.197-08.

HAMMARLUND, Y.; JOSEPHSON, P.E. Qualidade: cada erro tem seu preço. Trad. de Vera M. C. Fernandes Hachich. **Téchne**, n. 1, p. 32-4, nov/dez. 1992.

HANDLER, A. B. **Systems approach to architecture**. New York, Elsevier, 1970.

HELENE, P.R.L. Controle de qualidade na indústria da construção civil. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Tecnologia de edificações**. São Paulo, PINI, 1988. p.537-40.

HOEK, E.; BRAY, J. Rock slope engineering. **London Institute of Mining and Metallurgy**, 1981. 309p.

HUNGR, O. Slope stability analysis. In: 2nd. Pan-American Symposium Landslides, 2nd. **COBRAE**, Rio de Janeiro, 1997. p. 123-44.

JURAN, I. Reinforced soil systems – Application in Retaining structures. **Geotechnical Engineering Structures**, 1985. v. 16, p. 39-82.

JURAN, J.M.; GRZYNA, F.M. **Controle da Qualidade**. 4.ed. São Paulo, Makron/McGraw-Hill, 1991, v.1.

KANJI, M.A. Estabilização e remediação de taludes – Relato Geral. In: 2nd. Pan-American Symposium Landslides, 2nd. **COBRAE**, Rio de Janeiro, 1997. p.251-59.

KINDER, H.; HILGEMANN, W. **Atlas Zur Weltgeschichte**, v.1, Deutscher Taschenbuch Verlag, Munchen, 1964. 299p.

LONGO, O.C. **Sistemas de informação e controle de projetos**. Niterói, 1987. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense.

LOWE III, J. Stability analysis of embankments. **Journal of the SMFD, ASCE**, v.93. n. SM4, April 1967, p.1-33.

LUSH, D. Communication infrastructures. In: ATKIN, B., ed. **Intelligent buildings**. New York, John Wiley, Sons, 1988. p.64-79.

MAFFEI, W. **Metodologia para gerenciamento de planos e projetos de arquitetura visando a otimização de resultados**. São Paulo, 1989. Tese (Doutorado) – Faculdade

de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.

MARQUES, G.A.C. **O projeto integrado à obra.** São Paulo. EPUSP/PCC, 1992.
/Notas de aula da disciplina PCC-568 da EPUSP. Datilografado/

MARQUES, G.A.C. **O projeto na engenharia civil.** São Paulo, 1979. Dissertação
(Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MELHADO, S.B. A qualidade na construção civil e o projeto de edifícios. In:
ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São
Paulo, 1993. **Avanços em tecnologia e gestão da produção de edificações: anais.** São
Paulo, EPUSP/ANTAC, 1993. v.2 p. 703-4.

MELHADO, S.B.; VIOLANI, M.A.F. (a). **A qualidade na construção civil e o projeto
de edifícios.** São Paulo, EPUSP, 1992. (Texto Técnico. Escola Politécnica da USP.
Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/02).

MELHADO, S.B.; VIOLANI, M.A.F. (b). **Sistematização da coordenação de projetos
de obras de edifícios habitacionais.** São Paulo, EPUSP, 1992. (Relatório técnico -
Convênio EPUSP/LIX DA CUNHA, Projeto EP/LIX-4, Rt n.20.067).

MITCHEL, J.K.; VILLET, W.C.B. **Reinforcement of earth slopes and embankments.**
Washington, D.C., 1987. National Cooperative Highway Research Program. Report 290.

MONTEZUMA, P.R.M. Solo Pregado (Soil Nailing) – Análise da técnica para reforço
de solos. 1998.172p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São
Paulo. São Paulo.

MORGENSTERN, N.R.; PRICE, V.E. **The analysis of the stability of general slip
surfaces.** Geotechnique, 1965. v.15, n.1, p.79-93.

MOTTEU, H.; CNUUDE, M. La gestion de la quaiité durant la construction: action mence en Belgique par le comité "Qualité dans la Construction". Ln: CIB TRIENNIAL CONGRESS, 11., Paris, 1989. **Quality for building users throughout the world.** s.l., CIB, 1989. v.1, t.3, p.265-76.

NOGUEIRA DE PAULA, L. **Racionalização.** Rio de Janeiro, s.ed., 1932.

O'CONNOR; J.T., TUCKER, R.L. Industrial project constructability improvement. **Journal of Construction Engineering and Management**, v.112, n.1, p.69-82. Mar. 1986.

ORNSTEIN, S.W. Avaliação pós-ocupação: produção nacional e internacional recentes e as tendências rumo ao século XXI. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Paulo, 1993. **Avanços em tecnologia e gestão da produção de edificações: anais.** São Paulo, EPUSP/ANTAC, 1993. v.2 p.855-64.

PICCHI, F.A. **Sistemas de qualidade:** uso em empresas de construção de edifícios. São Paulo, 1993. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

PICCHI, F.A. Experiências na construção civil: 2º caso - Encol Engenharia, Comércio e Indústria. In: QUALICON - SEMANA CAPIXABA DA QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 1. **Anais.** Vitória, 1992. p.48-52.

RAMOS, A W. **Administração da qualidade.** In: ENGENHARIA de produção para a construção civil: curso para a Método Engenharia S.A. São Paulo. Fundação Carlos Alberto Vanzolini, 1998.

RE-ENGINEERING Europe. **The Economist**, v. 330, n.7852, p. 67-8, Feb. 1994.

ROCHA LIMA JR., J. **Qualidade na construção civil: conceitos e referenciais**. São Paulo, EPUSP, 1993 (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/120).

RODRIGUEZ, W.E. **The modeling of design ideas: graphics and visualization techniques for engineers**. New York, McGraw-Hill, 1992.

ROSSO, T. **Racionalização da construção**. São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 1980.

ROTSTEIN, J. **O livro branco da consultoria de engenharia brasileira**. Rio de Janeiro, SINAENCO, 1993.

SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. São Paulo, 1989. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SOUZA, R. **Qualidade: fator de competitividade na indústria da construção civil**. In: SIMPÓSIO DE APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DO CONCRETO, 15., São Paulo, 1992. **Anais**. São Paulo, CONCRELIX, 1992 p.3-28.

SOUZA, R.; MEKBEKIAN, G. **Sistemas de qualidade em empresas construtoras**. **Obra**, n.42, p.26-8, dez. 1992.

SOUZA, R.; MEKBEKIAN, G. **Gestão da qualidade**. In: **Qualidade e produtividade na construção civil** - Curso EPUSP/ITQC São Paulo, EPUSP, 1993. v.2.

SPENCER, E. **A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel**

interslice forces. **Geotechnique** v.17, n.1, p.11-26, 1967.

STEMMER, C.E. A questão do projeto nos cursos de engenharia – texto n.1. **Revista Ensino de Engenharia**, v.7, n.1, p.3-6, 1988.

TATUM, C.B. Improving constructibility during conceptual planning. In: **Journal of Construction engineering and Management**. v.113, n.2, p.191-207, June 1987.

VANNUCCHI, G.; KONIGSBERGER, J. A sabedoria da prática. /Entrevista a Helder Lima/ **Construção**, v.44, n.2259, p.14-6, maio 1991.

VARGAS, M. **Mecânica dos solos** – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1974.

VIOLANI, M.A.F.; MELHADO, S.B.; PRADO, R.T.A. **Coordenação de projetos de edifícios**. São Paulo, 1991. /Seminário apresentado no curso de pós-graduação da EPUSP. Datilografado/

WOLLE, CLÁUDIO MICHAEL; HACHICH, VERA FERNANDES **Requisitos da qualidade das fundações**. In: **Fundações: teoria e prática**. São Paulo. Editora Pini, 1998, p. 693-721.

WOOD JR., T. Teoria sistêmica avançada e a terceira onda da qualidade. **Revista Politécnica**, n.211, p.32-40, out/dez. 1993.

YANG, D.; FRENDLUND, D.G.; STOLTE, W.J. A probabilistic slope stability analysis using deterministic computer software, proceedings of the **Conference on Probabilistic Methods in Geotechnical Engineering**, Camberra, Australia, 1993. p.267-74.

ANEXO I – ROTEIRO DE CÁLCULO E PLANILHAS ELETRÔNICAS

ROTEIRO DE CÁLCULO

A seguir, apresenta-se um breve roteiro de cálculo extraído de Montezuma (1998) para as planilhas elaboradas. Segundo o autor, é necessário lembrar que, devido às características dos métodos considerados, não foi levado para efeito de cálculos um solo com vários substratos e, no caso do método de Clouterre (1991) o nível d'água não foi considerado.

Métodos Palmeira (1992), Clouterre (1991) e Alonso (1995)

1) A planilha (Palmeira Alonso) está segmentada em várias outras:

- A) Empuxo ativo (atrito) considerado o atrito entre o paramento e o talude;
- B) K (sem atrito) coeficiente de empuxo sem considerar o atrito entre o paramento e o talude;
- C) Estabilidade interna do maciço;
- D) Esforços em cada camada;
- E) Ancoragem;
- F) Tombamento;
- G) Deslizamento;
- H) Pressões na base;
- I) Capacidade de Fundação;

- J) Talude não-reforçado;
- K) Talude reforçado.

A seguir, uma explicação sobre cada um dos itens apresentados acima:

- A) Após entrar com os dados pedidos, obtém-se o valor de E (KN/m);
- B) Cálculo de E (sem atrito) e tensões horizontais nas camadas;
- C) Cálculo do esforço máximo suportado pelo reforço e espaçamento mínimo entre os reforços. Foi adotado o valor de 81 KN como valor máximo de tração para o aço;
- D) Cálculo dos esforços em cada camada:

Os valores de Z_i (m) são tirados de desenhos da superfície de ruptura.

Os valores de Y_i são adotados, de acordo com a recomendação de Palmeira.

- E) Temos os comprimentos de ancoragens das barras; (automático)
- F) Verificação da estabilidade ao tombamento; (automático)
- G) Verificação do deslizamento; (automático)
- H) Verificação de pressões na base do maciço; (automático)
- I) Verificação da capacidade de carga da fundação; (automático)
- J) Cálculo do fator de segurança do talude não reforçado:
 - Define-se o número de fatias a ser usado;

- Através de um programa de estabilidade de taludes (STABL 5S) obtém-se o peso e a largura de cada fatia, raio do círculo de ruptura e sua posição;

- Desenha-se o talude com as respectivas fatias e tem-se os ângulos que o raio do círculo faz com a vertical que passa pelo meio da base feita.

K) Para o talude reforçado, acrescentam-se à equação de equilíbrio limite, as forças de tração dos reforços;

K2) Para o cálculo segundo o método de Alonso, faz-se a decomposição das forças de tração segundo a normal e a tangente à superfície de ruptura, na intersecção desta com a barra

Agora, um pequeno roteiro para a utilização da planilha que trabalha com o método de Clouterre.

Deve-se entrar com os valores da K_a , h (altura do reforço, medida da base até a posição onde intercepta a superfície de ruptura) e Y (altura de influência do mesmo). Considera-se uma área de influência de $Y \times 1,0$ m, portanto, o valor de Y será o mesmo da área de influência do reforço.

Os cálculos que consideram os métodos de equilíbrio clássico estão baseados em quatro critérios, regra do multi-critério:

C1) O valor de q_s é o obtido dos ensaios de arrancamento;

Os valores de L_1 e L_2 são obtidos de acordo com as recomendações de Clouterre

C2) Entrar com os valores dos itens pedidos. O valor de pu é obtido através da formulação de Mair

C3) O cálculo é feito automaticamente

C4) O cálculo é feito automaticamente

Método Clouterre

Planilha para cálculo de C1

Critério do atrito superficial do solo com a barra

$$T_n \leq q_s \cdot \pi \cdot D \cdot L_a$$

$\pi \cdot D$ = perímetro da barra

D = D_c (diâmetro do furo) (m)

barras grouteadas

D = D_a (diâmetro equivalente) (m)

barras cravadas

L = comprimento de aderência (m)

q_s =

atrito superficial unitário (KPa)

D =

L_a =

equação =

L1 =

L2 =

L_{total} =

Planilha para cálculo de C2

Critério da pressão lateral de solo-barra

$$T_c \leq T_{c2,max}$$

$$T_{c2,max} = \frac{D_c}{2} l_o p_u$$

$$l_o = \sqrt[4]{\frac{4EI}{K_s D}}$$

D_c diâmetro da barra (reforço) (m)

D_c (m) =

E (MPa) =

I (m⁴) =

K_s (MPa) =

L_o = comprimento de transferência

L_o (m) =

p_u (N/m²) =

T_{c2,max} =

Planilha para cálculo de C3

A plastificação da barra ocorre no ponto de máxima força cisalhante
As barras entre a superfície de ruptura devem ter comprimento mínimo de 3m

$$\left(\frac{T_n}{R_n}\right)^2 + \left(\frac{T_c}{R_c}\right)^2 \leq 1$$

Geralmente, adota-se $R_c = R_n/2$

equação =

Planilha para cálculo de C4

Considera que a plastificação das barras ocorre nos pontos A e A' que se encontram em ambos os lados da superfície de ruptura a uma distância igual a $l_p = P_t \cdot l_0/4$ e calculados com um comportamento elástico, tanto para o solo quanto para a barra

$$M \leq M_{\max}$$

$$M_{\max} = M_0 \cdot [1 - (T_n/R_n)^2]$$

Através deste critério, tem-se a fórmula que dá força cisalhante no ponto O:

$$M_{\max} = 174,83$$

$$T_{\infty = \frac{M_0}{l_0}} \left[1 - \left(\frac{T_n}{R_n} \right)^2 \right]$$

$$a = 3,12$$

$$M_0 =$$

$$T_{c0} =$$

$$T_{c4, \max = b} \left(\frac{M_0}{l_0} \right) \left[1 - \left(\frac{T_n}{R_n} \right)^2 \right] + c \cdot D_c \cdot l_0 \cdot p_u$$

$$b = 1,62$$

$$c = 0,24$$

$$T_{c4, \max} =$$

$$T_c \leq T_{c4, \max}$$

Métodos Palmeira e Alonso

Empuxo ativo (atrito)

Empuxo ativo E atuante considerando-se o atrito entre a face interna do revestimento e o maciço de solo

$$H' = H + h_0$$

$$h_0 = \frac{q}{\gamma}$$

$$E = \frac{k \cdot \gamma}{2} (H'^2 - h_0^2)$$

$$K = \frac{\text{sen}^2(\alpha - \phi' d)}{\text{sen}^2 \cdot \text{sen}(\alpha - \delta) \left[1 + \left(\frac{\text{sen}(\phi' d + \gamma) \cdot \text{sen}(\phi' d)}{\text{sen}(\alpha - \delta) \cdot \text{sen}(\alpha)} \right)^{1/2} \right]^2}$$

Variáveis:

- θ = inclinação da face do talude com a horizontal (lado interno) (graus)
- α = inclinação da face do talude com a horizontal (lado externo) (graus)
- δ = ângulo de atrito solo e face interna da estrutura em solo reforçado (graus)
- ϕ' = ângulo de atrito interno do solo (graus)
- q = sobrecarga (KN/m²)
- γ = peso específico (KN/m³)
- h_0 = altura equivalente de sobrecarga (m)
- K = coeficiente de empuxo horizontal
- H = altura do talude (m)
- E = empuxo horizontal (KN/m)

	Graus	Radianos	seno	seno ²	tangente
$\theta =$					
$\alpha =$					
$\delta =$					
$\phi' =$					
$\alpha + \phi' =$					
$\alpha - \delta =$					
$\phi' + \delta =$					
sobrecarga (q) =					
peso espec. (γ) =					
h_0 (m) =					
H (m) =					
H' =					

K (adimensional) =

E (KN/m) =

K (sem atrito)

Empuxo ativo E atuante desprezando-se ao atrito entre a face interna do revestimento e o maciço de solo reforçado

$$K' = \frac{\text{sen}^2(\alpha + \phi' d)}{\text{sen}^3 \alpha \left(1 + \frac{\text{sen} \phi' d}{\text{sen} \alpha}\right)^2}$$

K' =

K' (sem atrito)

cálculo do valor de σ_h :

$$\sigma_h = k' \gamma (h_0 + Z)$$

Z	K* γ *h ₀	K* γ *Z	σ_h
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Estabilidade interna do maciço

Estabilidade interna do maciço reforçado

$$Td = \frac{T_{\max}}{FSr}$$

Td = esforço máximo de trabalho

Tmax = resistência à tração máxima do reforço em condições de serviço

FSr = fator de segurança para a resistência à tração do reforço

Tmax = 81 KN

FSr = 2

Td = 40,5 KN

S = espaçamento entre reforços (m)

Espaçamento variável

Z σh

1

2

3

4

5

6

S = Td / σh

$$S = \frac{Td}{K' \cdot \gamma \cdot (h_0 + Z)}$$

Esforço em cada camada

Esforço em cada camada

$$T_{ai} = \sigma'_{hi} \cdot Y_i$$

T_{ai} = esforço de tração atuante no reforço i (KN)

σ'_{hi} - pressão horizontal média na parcela

Y_i = altura da distribuição trapezoidal de pressões que coube ao reforço

i	Z_i (m)	Y_i (m)	Z_{ci} (m)	$K \cdot \gamma \cdot h_0$	$K \cdot \gamma \cdot Z$	σ_h	σ_h (sobrecarga)	T_{ai} (KN/m)	T_{ai} (KN/m) (SC)
1									
2									
3									
4									
5									
6									

Esforço estabilizante oriundo das camadas de reforço

$$\Sigma_T = \frac{K' \gamma h^2}{2} \left(1 + 2 \frac{h_0}{h_i} \right)$$

h_i (m) Σt_i (m) n.c.r $\Sigma t_i/n$

Tombamento

Verificação de estabilidade externa

Possibilidade de tombamento

O valor do Fator de Segurança ao Tombamento (FSt) será dado por:

$$FSt = \frac{W \cdot X_W + Q \cdot X_Q + E \cdot \text{sen}(\delta + \theta - 90^\circ) \cdot X_E}{E \cos(\delta + \theta - 90^\circ) \cdot Y_E} \geq 2$$

Onde:

W = peso do maciço em solo reforçado (KN)

Q = resultante do carregamento superficial sobre o trecho reforçado

E = empuxo ativo sobre o trecho reforçado

XW = braço de alavanca da força W

XQ = braço de alavanca da força Q

XE = braço de alavanca da força E

$$W = B \cdot H \cdot \gamma$$

$$Q = q \cdot B$$

$$X_W = \frac{B}{2} \cdot \left(1 + \frac{H}{B \cdot \tan \theta} \right)$$

$$X_Q = \frac{B}{2} + \frac{H}{\tan \theta}$$

$$Y_E = \frac{H}{3} \cdot \left(\frac{H + 2h_0}{H - h_0} \right)$$

$$X_E = B + \frac{Y_E}{\tan \theta}$$

Q =
W =
XW =
XQ =
YE =
XE =

(d + t - 90°)
(d + t)

FSt =

graus radianos sen() cos()

Deslizamento

Verificação da possibilidade de deslizamento

Para a verificação da possibilidade de deslizamento será usado o seguinte fator de segurança:

$$FSd = \frac{W + Q + E \cdot \text{sen}(\delta + \theta - 90^\circ)}{E \cos(\delta + \theta - 90^\circ)} \cdot \tan \delta_b \geq 2$$

δ_{base} graus radianos tangente

FSd =

Pressões na base

O diagrama de pressões na base é admitido trapezoidal
Em função da localização das forças atuantes no maciço reforçado,
pode-se demonstrar que a posição das forças na base é dada por:

$$X_r = \frac{W \cdot X_w + Q \cdot X_Q - E \cdot [X_E \cdot \cos(\delta + \theta) + Y_E \cdot \sin(\delta + \theta)]}{W + Q - E \cos(\delta + \theta)}$$

$$X_r =$$

A excentricidade da resultante na base é dada por:

$$e = \frac{B}{2} - X_r$$

$$e =$$

A força normal na base é dada por:

$$N = W + Q - E \cdot \cos(\delta + \theta)$$

$$N =$$

Kn/m

As pressões extremas que definem o diagrama podem ser obtidas através das expressões:

$$\sigma_{va} = \frac{2N}{B} \left(2 - \frac{3 \cdot X_r}{B} \right) \geq 0$$

$$\sigma_{va} =$$

$$\sigma_{vb} = \frac{2N}{B} \left(\frac{3 \cdot X_r}{B} - 1 \right) \geq 0$$

$$\sigma_{vb} =$$

Moliterno (1980) sugere que, no caso de ocorrência de pressão de contato negativa na base de estruturas de arrimo, seja majorada a pressão normal positiva através do deslocamento da linha neutra

Se $\sigma_{va} < 0$

$$\sigma_{vb} = \left(\frac{2N}{3 \cdot (B - X_r)} \right)$$

Para $\sigma_{va} < 0$

$$\sigma_{vb} =$$

E deve-se ter

$$\sigma_{vb} = \frac{q_{\max}}{FSf}$$

Capacidade de fundação

Verificação da capacidade de carga do solo de fundação

$$B' = B - 2.e$$

B' =

A pressão normal na sapata equivalente será dada por:

$$\sigma = \frac{N}{B'}$$

$\sigma =$ Kpa

A capacidade de carga do solo de fundação será dada pela expressão:

$$q_{\max} = c.N_c + q_s.N_q + 0,5.\gamma_f.B'.N_\gamma$$

O fator de segurança contra a ruptura do

Ângulo de atrito da fundação

(ϕ') =
 N_c =
 N_q =
 N_γ =
 C =
 q_s =
 γ_f =

Ver tabela solo fundação

$q_{\max} =$ KPa

O fator de segurança para a fundação será dado por:

$$FS_f = q_{\max}/\sigma$$

Talude não reforçado

O talude reforçado segundo o método de Fellenius

$$FSr = \frac{\sum_{i=1}^n [(W_i \cdot \cos \alpha_i - u_i \cdot l_i) \tan \phi' + c' \cdot l_i]}{\sum_{i=1}^n (W_i \cdot \sin \alpha_i)}$$

$$\phi' \quad \text{rad} \phi' \quad \tan \phi'$$

Fatia	Peso (Wi)	α_i rad	$\cos \alpha_i$	$\sin \alpha_i$	$W_i \cdot \sin \alpha_i$	$W_i \cdot \cos \alpha_i$	$u_i \cdot l_i$	$W_i \cdot \cos \alpha_i - u_i \cdot l_i$	$c' \cdot l_i$
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

FSnr =

Talude reforçado

O talude reforçado segundo o método de Fellenius

$$FSr = \frac{\sum_{i=1}^n [(W_i \cdot \cos \alpha_i - u_i \cdot l_i) \tan \phi' + c' l_i] R + \sum_{i=1}^n T d_i \cdot d_i}{\sum_{i=1}^n (W_i \cdot \sin \alpha_i) \cdot R}$$

W = peso de solo (tf)
 a = alfa (graus)
 li = L da fatia (m)
 Td = Força da barra (tf)

Inclinação da barra = Rad
 Ângulo jota = sen() cos() tan()

φ' radφ' tanφ' R

Fatia	Peso (Wi)	αi	radαi	cosαi	senαi	Wi · senαi	ui · li	Wi · cosαi - ui · li	c' · li	Tdj	Tdj · cos(iβar)	dj	Fsenj	Fccsj	tanφ
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															

FSr =
 FS (urb) =

Método de Janbu

Método de Bishop Simplificado

BOSHOP SIMPLIFICADO

Slice No.	c'	ϕ'	b	W	α	u	$\cos\alpha$	$\tan\phi'$	cb	$W' = W - ub$	$W' * \tan\phi'$	Tr	$m(\alpha)$	$Tr/m(\alpha)$	$\sin\alpha$	$W' \sin\alpha$
1																
2																
3																

0,00 0,0

Slice No.	NÚMERO DA LAMELA	Assume	FS=
c'	COESÃO	Calculated FS=	Error=
ϕ'	ÂNGULO DE ATRITO		
b	LARGURA DA BASE DA LAMELA		
W	PESO DA LAMELA		
α	ÂNGULO ENTRE A MEDIATRIZ DA LAMELA E A LINHA QUE SAÍ DO CENTRO DA SUPERFÍCIE DE RUPTURA		
u	PRESSÃO NEUTRA		

Método de Fellenius

FELLENIUS (MÉTODO DAS LAMELAS)

Slice No.	c'	ϕ'	b	W	α	u	$\cos\alpha$	$ b /\cos\alpha$	$ u $	$Nl = W \cos\alpha$	$Nl' = Nl - u $	$\tan\phi'$	$Nl' * \tan\phi$	cl	$\sin\alpha$	$W * \sin\alpha$
1																
2																
3																

0,00 0,00 0,00

0,00

Slice No.	NÚMERO DA LAMELA
c'	COESÃO
ϕ'	ÂNGULO DE ATRITO
b	LARGURA DA BASE DA LAMELA
W	PESO DA LAMELA
α	ÂNGULO ENTRE A MEDIATRIZ DA LAMELA E A LINHA QUE SAI DO CENTRO DA SUPERFÍCIE DE RUPTURA
u	PRESSÃO NEUTRA

FS=

Método de Shen et al

Shen et alii

W	Q	cos phi	tg atr	T	sen phi + alfa	c	A	sen phi	cos phi + alfa

FS

0 0 0
0 0 0

c	A	W	cos phi	T	cos alfa	tg atr	sen phi	sen alfa

FS

0 0 0
0 0 0