

## Avaliação das Alternativas Técnicas para a Estabilização da Camada de Subleito nas Obras do Corredor BRTsul – DF.

Haroldo Paranhos

UCB / Reforsolo Engenharia / UniCEUB / IesPlan, Brasília, Brasil, reforsolo@gmail.com

Rideci Farias

UCB / Reforsolo Engenharia / UniCEUB / IesPlan, Brasília, Brasil, rideci.reforsolo@gmail.com

Marcos Costa

OAS, Brasília, Brasil, marcos.costa@oas.com

Joyce Maria Lucas Silva

CONCREMAT, Brasília, Brasil, joyce.civil@gmail.com

**RESUMO:** Como solução de transporte público, o conceito do BRT é cada vez mais comum nas grandes cidades. A cidade do Gama –DF, local de implantação deste modal é fruto de uma Geologia caracterizada por uma camada de Latossolos vermelhos argilosos, denominados de argila porosa e colapsível. Estudos bibliográficos apontam que muitas obras de pavimentação apresentam deformações exageradas quando da falta de caracterização pormenorizada desses perfis, frente as solicitações do tráfego. A utilização de dimensionamentos embasados na teoria do CBR e a verificação da qualidade dos serviços de terraplenagem e das camadas do pavimento, não apresentam de forma satisfatória os efeitos causadores das deformabilidades dessa estruturas, visto que os serviços de controle de compactação afirmam um grau de compactação compatível com os serviços, mas quando da medida da deformação, pelo método da viga Benkelman, valores aquém são determinados, a ponto de não serem aceitas pela fiscalização. Fatores importantes como granulometria, os limites de Atebergs e presença de argilominerais higroscópicos, acentuam o problema, visto que estes solos apresentam hidratação de água em contato com o meio e capilaridade elevada, a ponto de ser difícil a manutenção da umidade ótima, durante os serviços de compactação e a recompactação se torna inviável, pois a desestruturação dos macroporos tornam esses solos ainda menores do ponto de vista da textura. Pelo grau de dificuldade apresentada em se trabalhar com esses tipos de solos, e prazo apertado para a execução da etapa do serviço de compactação, foi proposta e testada cinco soluções de reforço do subleito, de forma a direcionar a solução técnica e econômica mais favorável ao cronograma do empreendimento. Essas soluções transitam pelas utilizações de camadas estruturantes, com pedra Rachão; subleito reforçado com microgrelha; subleito reforçado com geotêxtil; subleito compactado com cascalho laterítico e subleito compactado com adição de 5 % de cal virgem. Todas as soluções foram avaliadas em trechos experimentais de aproximadamente 100 metros de extensão, da própria obra, por meio do controle tecnológico convencional e com a medição da deformação com a utilização da viga benkelman.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geossintéticos, solos tropicais, solos colapsíveis, compactação, reforço do subleito, pavimentação.

## 1 INTRODUÇÃO

Este documento apresenta as avaliações das alternativas técnicas para a estabilização do subleito ao longo das obras do corredor BRT-Sul, no trecho Gama – Catetinho em decorrência do não atendimento aos parâmetros de aceitabilidade das deflexões pela Viga Benkelman.

Ressalte-se que se procedeu ao processo de terraplenagem no sub-trecho 1, estacas de 0 (zero) a 20, LD do Balão do Gama até CAUB de acordo com as premissas básicas estabelecidas nos procedimentos executivos e também em obediência às normas e especificações do projeto e demais requisitos cabíveis ao empreendimento em questão. Em seqüência, com os posteriores ensaios para determinação das deflexões na regularização e reforço do subleito pela viga Benkelman, constatou-se o não atendimento aos parâmetros de aceitabilidade aos resultados obtidos.

Dessa forma, procede-se, neste documento, à análise das possíveis alternativas com vistas à solução do problema em questão e assim apresentar as considerações técnicas que atendam à capacidade de suporte necessária para o perfeito desempenho dos pavimentos projetados.

## 2 ESCOPO DOS SERVIÇOS

Primeiramente foram feitas vistas aos elementos de projetos (laudos de sondagens, seções tipo, resultados de ensaios de laboratório, etc);

Em conjunto com as visitas de campo, foram programadas novas campanhas de sondagens á trado com coleta de amostras deformadas para ensaios de caracterização e determinação do perfil de umidade;

Em seguida foram sugeridas as alternativas técnicas para estabilização da camada de subleito.

Paralelamente novos ensaios foram realizados para a definição das misturas de solo e a cal.

Posteriormente foram realizados cinco trechos experimentais, utilizando as seguintes soluções: camada de Ração, camada de

cascalho, solo reforçado com geotêxtil, solo cal e solo reforçado com microgrelha.

Tais camadas foram avaliadas quanto a exequibilidade e deformabilidade.

## 3 INFORMAÇÕES E CONSIDERAÇÕES SOBRE O SOLO DA REGIÃO

Tal Geologia/Geomorfologia é caracterizada por uma camada de Latossolos e solos lateríticos vermelhos argilosos, denominados de argila porosa e colapsível. Este material é sobrejacente, de uma forma geral, a solos residuais de duas origens distintas: um silte argiloso proveniente de alteração de ardósias ou uma seqüência de metassiltitos e quartzitos que os geólogos denominam de metarritmitos. Pertencem à formação Paranoá do Pré-Cambriano superior.

O clima se alterna entre uma estação muito seca e outra chuvosa com 6 meses de duração, levando a um processo de laterização que consiste na lixiviação de sais solúveis das camadas superiores e deposição abaixo. Este processo deixa nas camadas superiores de argila uma grande quantidade de vazios, ou poros, resultando em altos índices de vazios, baixo peso específico e alta permeabilidade.

Dessa forma, estendendo a questão para a área de pavimentação, tem-se notado que muitos dos pavimentos no Distrito Federal têm apresentado deformações apreciáveis que também podem estar relacionados à regularização e reforço da camada do subleito.

Outra questão importante a ser considerada é que os solos podem apresentar variações do módulo de resiliência dependendo da umidade, da energia e do método de compactação. Além disso, após a compactação, o estado do solo na estrutura do pavimento pode variar com as condições climáticas e hidrológicas. A deformação resiliente cresce sensivelmente nos solos compactados no ramo úmido - como no caso em questão em se verificou que a umidade de campo está acima da umidade ótima de compactação do solo - em relação àqueles compactados no ramo seco, com a mesma massa específica aparente seca (Preussler,

1983). Trabalhar com a hipótese de altos módulos de resiliência obtidos por compactação do solo no ramo seco pode não ser aconselhável, pois é difícil assegurar que não haverá aumento de umidade do solo durante a vida útil do pavimento. O aumento de umidade pode ocasionar queda significativa no módulo de resiliência.

A compactação em umidades baixas é vantajosa se houver concomitantemente um aumento de energia de compactação. Os solos apresentam um aumento significativo do módulo de resiliência com o aumento da energia de compactação (Bernucci, 1995). A perda de umidade das camadas de solo compactado acarreta um aumento de módulo de resiliência; não se pode negligenciar, no entanto, que solos ao perderem umidade podem apresentar trincamento por contração. O trincamento produz uma redução do módulo de resiliência equivalente da camada.

É importante realçar que por vezes na comunidade de pavimentação observa-se uma tendência de se utilizar ensaios mais simples para estimar o valor do módulo de resiliência dos materiais. Os autores desaconselham a utilização de correlações do ISC para estimar o valor de módulo de resiliência uma vez que não há uma relação consistente entre esses parâmetros – o primeiro considera a ruptura do material por deformação permanente excessiva, enquanto o segundo considera baixas deformações elásticas.

SANTOS (1998) mostra que o movimento ascendente dos sesquióxidos pode ser explicado em termos do regime de águas dos solos tropicais. Durante a estação chuvosa formam-se horizontes saturados e o movimento da água no solo é para baixo, lixiviando as camadas superiores. Já na estação seca existe intensa secagem dos horizontes superficiais e o movimento da água é para cima.

Os pavimentos não estão sujeitos somente às ações das cargas do tráfego. O meio físico à sua volta também exerce influência sobre sua vida útil, e esta não deve ser desprezada. Estas ações (clima e tráfego) em conjunto constituem os principais fatores que impõem uma vida útil limitada aos pavimentos (MEDINA, 1997).

MOTTA (1991) expõe que o clima é um dos fatores que mais afetam o desempenho de um pavimento. Representado por seus elementos básicos, temperatura do ar e precipitação, o clima influencia os pavimentos através de diversos mecanismos, tais como a intemperização dos materiais, a alteração dos módulos resilientes ou ainda a alteração das umidades de equilíbrio.

VILLIBOR (1981), utilizando uma viga Benkelman, mediu as deflexões dos trechos analisados, obtendo valores baixos (entre 10 e 70 centésimos de milímetro), e concluiu que caso não sejam alteradas substancialmente as condições de umidade da base e da sub-base, este comportamento de baixas deflexões deve persistir ao longo de vários anos em pavimentos com base laterítica.

ELLIOT e THOMPSON (1985) e ELLIOT e THORNTON (1988) relatam que a maioria dos solos finos exibem um decréscimo no módulo de resiliência quando a umidade aumenta, acarretando um aumento das deflexões do subleito, comprometendo a vida útil do pavimento.

Segundo MEDINA (1997), a natureza da fração fina determina o comportamento dos solos à resiliência. Quando à razão dos percentuais ponderais entre a fração silte e a fração fina (inferior a 0,074 mm) é inferior a 50% o solo é menos resiliente.

Os solos alteram seu comportamento elástico em função da variação da umidade após a compactação. Há solos mais sensíveis, os siltes, que podem variar, para a mesma condição de densidade seca, de um comportamento elástico baixo a um comportamento muito alto, com uma variação de umidade de 2 a 3 pontos. Isto significa que ele pode apresentar deformações elásticas baixas para uma determinada carga, mas se sua umidade sobe 2% ou 3%, absolutos, ele apresenta deformações elásticas altíssimas. Não há nada que se possa fazer para evitar esta flutuação de umidade.

Por outro lado, areias e pedregulhos, sem coesão, mantêm o comportamento elástico baixo, isto é, baixas deformações para qualquer variação de umidade.

Por razões de segurança é conveniente ter-se os valores da deflexão para as condições mais

desfavoráveis de umidade. Como as deflexões variam com o tipo de solo e a variação de umidade, é difícil obter-se fatores de ajustes confiáveis. O DNIT (DNER) costuma trabalhar com coeficientes de ajustes para dois tipos de solos, arenoso e argiloso, e não considera o silte, que é mais crítico.

### 3.1 Pedologia Local

De acordo com PARANHOS (1998), os solos da região são predominantemente formados por Latossolos Vermelhos e vermelho Amarelo (Figura 01). Portanto existem porções de Gleissolos (“solos hidromórficos”) adjacente à rodovia implantada. De uma forma geral, o perfil apresenta um pacote de argila arenosa, vermelha, muito mole a mole e SPT de 2 a 4 golpes.

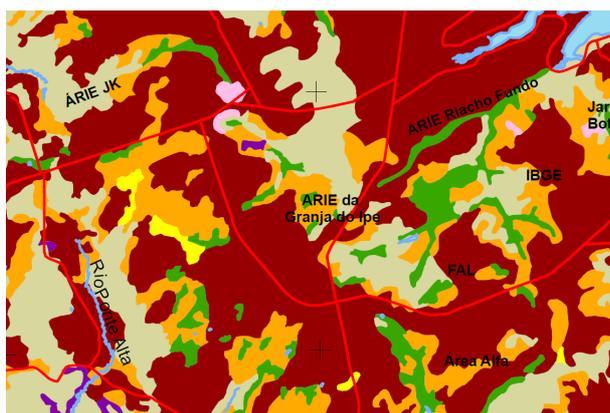


Figura 01. Mapa Pedológico da área de estudo (EMBRAPA 2014).

### 3.2 Pedologia Aplicada

As interpretações das sondagens contidas no relatório Geológico/Geotécnico da obra em questão confirmam a existência das características dos principais grupos de solos encontrados: Latossolos e hidromórficos.

Para os latossolos a sondagem detectou camadas espessas e maduras, de caráter argiloso, de baixa resistência a penetração, juntamente a uma elevada porosidade, nos horizontes mais superficiais, com isso, o problema geotécnico atribuído à sua característica estrutural, o fenômeno da

colapsividade, isto é, seu brusco adensamento pelo colapso da estrutura, quando saturados, mesmo sem ser submetidos a um carregamento adicional. A saturação em água não só reduz a resistência dos latossolos à erosão, mas, principalmente, provoca recalque em fundações rasas pelo colapso estrutural do solo.

Com relação ao Nível de água, em geral, de acordo com as sondagens realizadas, o lençol freático onde foi encontrado, apresenta-se muito raso, entre o Gama e o Park Way, variando de 0,82m a 16,00m, sendo este para os latossolos e aquele para os hidromórficos, provavelmente.

A associação da presença de camadas de solos finos, sobrepostas ou imersa a um lençol freático raso indicia fisicamente a outro fenômeno prejudicial aos pavimentos, a ascensão capilar da água (capilaridade).

## 4. LOCAL DA COLETA DAS AMOSTRAS E RESULTADOS DOS ENSAIOS

As Figura 2 mostra os locais onde foram coletadas as 5 (cinco) amostras de solos ao longo do trecho Gama – Catetinho, para a execução dos ensaios de compactação e teor de umidade natural.



Figura 1. Visão micro da área de coleta das amostras.

### 4.1 Ensaio de compactação

O objetivo dos ensaios de compactação é determinar a umidade ótima e a densidade seca máxima. A tabela 01 apresenta o resultado dos ensaios de compactação.

Tabela 1. Teor de umidade ótima e massa específica seca máxima dos solos coletados.

Amostra	1	2	3	4	5
Localização (Estaca)	Est. 10+00	Est. 25+00	Est. 39+00	Est. 92+00	Est. 42+00) CAUB- Cateitinho
Umidade Ótima (%)	28,2	28,9	23,5	27,49	28,2
Massa Específica Seca máxima (kN/m <sup>3</sup> )	17,60	17,4	18,05	17,2	15,66

#### 4.2 Perfil de Umidade

Como forma de se verificar a umidade natural do solo, procedeu-se a coletas nas profundidades variáveis de 0,50m a 1,50m. A Figura 3 mostra os perfis de umidades para o trecho estudado. Verifica-se que 75% das umidades naturais dos solos estão acima da umidade ótima de compactação para as profundidades estudadas.

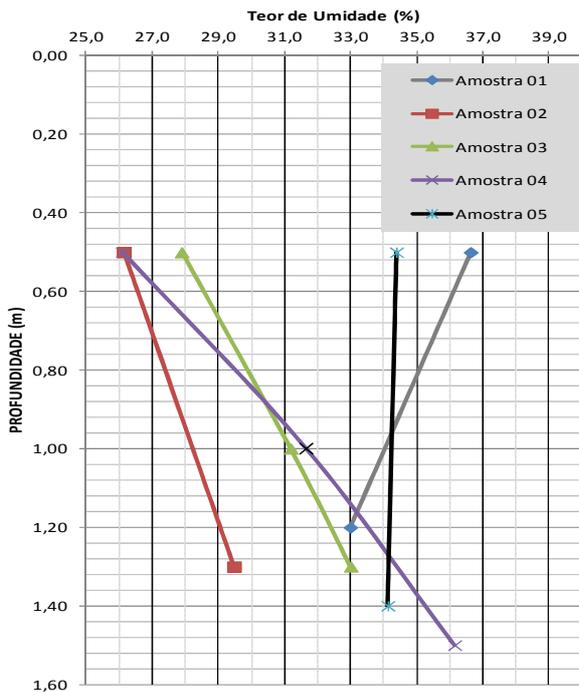


Figura 3. Perfis de umidades nos pontos de coleta das amostras.

### 5. PROPOSIÇÃO DE POSSÍVEIS SOLUÇÕES AO PROBLEMA EM QUESTÃO.

Dentre as diversas alternativas para reforço de uma camada, como a do subleito, tem-se a substituição do solo existente por outro de melhor qualidade, reforço por “agulhamento”,

com estacas, reforço com material sintético (geossintético), melhoramento do solo com aditivos, a exemplo de cal e (ou) cimento, entre outras soluções existentes no mercado. A seguir são analisadas alternativas viáveis para a obra em questão.

#### 5.1. Reforço com Material Pétreo

Na seqüência do processo, o material granular foi espalhado e compactado, com a regularização da superfície em brita 0 (Figuras 04 e 05).



Figura 4. Seção tipo da camada de Rachão.



Figura 5. Seção tipo da camada de Rachão.

#### 5.2. Substituição do solo existente (Cascalho)

As figuras 06 e 07 apresentam a solução proposta referente a substituição do solo por cascalho.



Figura 6 – Seção tipo da solução com cascalho.



Figura 7 – Aplicação do cascalho Laterítico.

### 5.3. Reforço com Geotêxtil e Areia

As figuras 08 e 09 apresentam detalhes da solução, com geotêxtil e areia..



Figura 8 – Seção tipo da solução com Geotêxtil.



Figura 9 – Aplicação do Geotêxtil.

O objetivo da utilização do geotêxtil é incorporar ao solo uma camada de reforço, além de promover a separação entre o solo do fundo da cava e a camada de areia. A finalidade da areia é promover a quebra da capilaridade para as camadas subjacentes

### 5.4. Reforço com microgrelha

O objetivo da utilização da geogrelha é incorporar ao solo uma camada de reforço. As figuras 10 e 11 apresentam a solução proposta, referente a introdução de microgrelha como elemento estruturante da camada compactada.



Figura 10 – Seção tipo da solução com microgrelha.



Figura 11 – Aplicação da Geogrelha.

### 5.5. Adição de Cal ao Solo

O objetivo da adição da Cal ao solo é a melhoria da capacidade de suporte da camada e a possibilidade da redução da umidade do solo natural para a umidade ótima por meio da adição de cal virgem.

As figuras 12 e 13 apresentam a solução proposta, referente a mistura de cal ao solo, com o objetivo de melhorar as características do solo compactado.



Figura 12 – Seção tipo da solução com a Cal.



Figura 13 – Aplicação da cal.

## 6. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Observaram-se altos valores de deformabilidade frente a alguns valores aceitáveis nas soluções apresentadas (Geotêxtil, Geogrelha e a cal). A figura 14 apresenta a execução do ensaio com a viga Benkelman.



Figura 14 – Ensaio com a viga Benkelman.

Com isso foi sugerida uma avaliação das camadas inferiores por meio do Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL).

### 6.1. Avaliação do Subleito com o DPL.

A utilização do ensaio de penetração dinâmica com DPL visa caracterizar e determinar a resistência à penetração dos depósitos de solos de baixa capacidade de suporte. Este ensaio auxilia na determinação da resistência dos solos nas áreas onde o ensaio de Palheta torna-se

inviável tecnicamente, como por exemplo: em solos granulares, solos não saturados e solos com alta permeabilidade.

A princípio, foram observados que logo abaixo da camada superficial (subleito) existe um solo que apresenta baixa capacidade de suporte associada a elevadas umidade (Figuras 15).

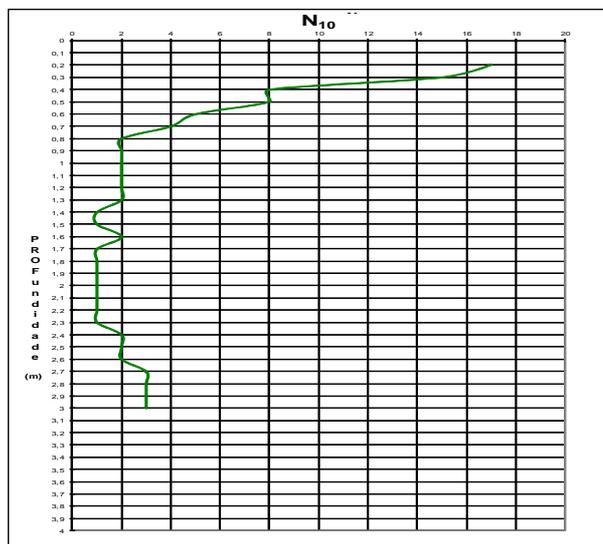


Figura 15 – Sondagem DPL da área avaliada.

A tabela 2 apresenta correlações entre o N10 e a consistência dos solos e aponta a presença de solos de consistência de mole a média na área de estudo.

Tabela 2 – Variação da resistênciadossolos.

Vane Test	DPL	SPT	SPT	Consistência
Resistência (kPa)	N <sub>10</sub>	N <sub>30</sub>	N <sub>30</sub>	
<i>Décourt 1989</i>	DIN 4094 *	Lambe/Whitm Terzhagi/Peck	Godoy 1972	-
< 25	0 – 3	0 – 2	0 – 2	Muito mole
25 – 50	3 – 6	2 – 4	3 – 5	Mole
50 – 100	6 – 12	4 – 8	6 – 10	Média
100 – 200	12 – 22	8 – 15	11 – 15	Rija
200 – 400	22 – 45	15 – 30	15 – 19	Muito Rija
> 400	> 45	> 30	> 20	Dura

## 8. CONCLUSÕES.

De uma forma geral as soluções têm que ser exequíveis e trazerem a estabilidade desejada. Portanto o reforço das camadas mais profundas, o controle da umidade capilar, devem ser considerados.

A tabela 03 apresenta o resumo das avaliações das soluções apresentadas.

Tabela 3 – Resumo dos resultados.

Características	Camada estruturante (Rachão)	Reforço com Geotêxtil	Reforço com Geogrelha	Solo Cal	Cascalho
Redução da umidade de compactação	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Sim	Não se aplica
Atendimento as características de deformabilidade solicitadas	Sim	Não avaliado	Não	Não	Sim
Homogeneização da deformabilidade	Sim	Não avaliado	NÃO	NÃO	NÃO
Servir como camada drenante	Sim	Sim	NÃO	NÃO	NÃO
Redução da Capacidade	Sim	Sim	NÃO	NÃO	NÃO
Velocidade de aplicação	Sim	NÃO	Sim	Sim	Sim

Frente aos resultados apresentados, ficam evidentes duas soluções que podem ser aplicadas:

**a - Camada estruturante com rachão**, pois permite que haja um agulhamento do e com isso o aumento da espessura da camada reforçada. A heterogeneidade da deformabilidade da camada inferior é uniformizada pela “nega” apresentada diante da pressão de serviço utilizada pelos equipamentos de compactação. Pois de acordo com a variação da resistência superficial o rachão pode penetrar mais ou menos conforme a figura 16.



Figura 16 – Variação da penetração (agulhamento) em função da resistência superficial do solo.

**b - Camada de cascalho compactado**, visto que os ensaios deflectométricos indicaram boa estabilização da estrutura frente às condições locais.

Este tipo de serviço depende da umidade natural da jazida, relacionada ao período chuvoso e das distâncias de transporte, visto que o fornecimento deste produto encontra-se cada

vez mais escasso no Distrito Federal, frente às exigências legais para a liberação de Jazidas de Cascalho. Portanto para que haja continuidade nos serviços de terraplenagem, é recomendado uso do cascalho nos períodos de estiagem.

## REFERÊNCIAS

- Bernucci, L. L. B. (1995). Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 237p.
- Elliott, R.P. and Thornton, Sam I. (1988). “Simplification of Subgrade Resilient Modulus Testing”. Transportation Research Record 1192.
- Embrapa Cerrados (2004). Mapa pedológico digital – SIG atualizado do Distrito Federal escala 1.100.00 e uma síntese do texto explicativo. 31 P.
- Medina, J. (1997). Mecânica dos Pavimentos. Editora UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 380 p.
- Motta, L. M. G. (1991). Métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis; critério de confiabilidade e ensaios de carga repetidas. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.
- Nogami, J. S. e Villibor, D. F. (1981). “Uma Nova Classificação de Solos para Finalidades Rodoviárias”. Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia. COPPE/UFRJ, v. 1, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Paranhos H. S. (1998). caracterização geotécnica dos principais grupos de solos do mapa pedológico do Distrito Federal (esc. 1:100.000) : Estudo na área de dinamização urbana, entre Samambaia e Gama. Dissertação de Mestrado. UnB.
- Santos, J. D. G. (1998). Contribuições ao estudo dos solos lateríticos granulares como camada de pavimentos. Tese (Doutorado) - COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 342 p.