

XI-134 - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DO DESLIGAMENTO DE BOMBAS NO HORÁRIO DE PONTA DA TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Manoel Felipe Araujo Pereira⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Engenheiro do quadro técnico da INCIBRA - Inovação Civil Brasileira.

Alberto Cesar de Castro Pegado⁽²⁾

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Engenheiro do quadro técnico da INCIBRA – Inovação Civil Brasileira.

Djalma Mariz Medeiros⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Doutor em engenharia sanitária pela Universidade Politécnica de Madrid – Espanha. CEO da INCIBRA - Inovação Civil Brasileira.

Endereço⁽¹⁾: Rua das Carnaúbas, 7909 – Natal, Rio Grande do Norte, RN – CEP: 59067-630 – Brasil – Tel: (84) 9-9946-0733 – e-mail: manoelpereiraeng@gmail.com ou mpereira@incibra.com.br.

RESUMO

Em sistemas de abastecimento de água, o consumo de energia pode chegar a parcelas consideráveis do total de custos operacionais. A maior parte desses custos estão concentrados nas estações de recalque do sistema (estações elevatórias e *boosters*). Por isso, alguns prestadores de serviços de saneamento têm como usual, a parada, ou desligamento, dos conjuntos motobombas das unidades desses sistemas, na ponta de tarifação de energia elétrica. Assim sendo, o presente trabalho visa indagar se essa forma de operação é aplicável a todos os casos, independentemente de restrições do sistema existente.

Para alcançar os objetivos traçados deste estudo, foi necessário caracterizar o sistema elevatório escolhido, e, em seguida, traçar alternativas as quais avaliem a necessidade da parada na ponta. Com a definição das alternativas, são realizadas estimativas de custo de operação e de implantação. A partir das premissas supracitadas, foi evidenciado que as alternativas as quais paravam na ponta apresentaram maior custo financeiro, quando em comparação com a alternativa a qual não há parada da ponta.

Conclui-se que a operação de cada sistema de abastecimento água possui suas particularidades, não permitindo diretrizes genéricas como regra para todos os sistemas de abastecimento de água. Ou seja, a opção por operação com parada na ponta deve ser estudada caso a caso.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência energética, Abastecimento de água, Estação Elevatória, Parada na ponta.

INTRODUÇÃO

De toda a energia elétrica consumida no mundo, é estimado que se gasta cerca de 2% a 3% somente com a operação dos Sistemas de Abastecimento de Água (ASE, 2002). No Brasil, o consumo energético já chegou em 2016 a valores de consumo de 10,38 TWh/ano voltados apenas para os sistemas de abastecimento de água (SNIS, 2018). Nesses mesmos sistemas, o consumo de energia pode chegar a constar de 30% a 40% do total de custos operacionais (WWAP, 2014). Sendo que a maior parte desse custo, cerca de 60%, estão concentrados nos consumos de estações elevatórias e *boosters* (PRICE; OSTFELD, 2013; COELHO; CAMPOS, 2014).

Nesse contexto, a parada das bombas no horário de ponta de tarifação elétrica é tida como uma diretriz pelos prestadores de serviço de saneamento em Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), visando a economia no momento de maior tarifação, já que 90% do consumo de energia elétrica nos SAA's são devido à operação dos conjuntos motobomba, como destaca Tsutiya (2004).

Dessa maneira, a análise da viabilidade técnica e econômica da operação é restrita ao componente elétrico, já que a tarifa de demanda e de consumo de energia elétrica são maiores no período de pico (17:30 às 20:30 pela

CELPE em Pernambuco). Entretanto, faz-se necessário levar em consideração que bombas hidráulicas são aquelas que recebem trabalho mecânico, e o transforma em energia hidráulica, comunicando ao fluido um acréscimo de energia sob as formas de energia potencial de pressão e cinética, conforme ressalta Mancityre (1997). Ou seja, a potência necessária, e consequentemente a consumida pelos conjuntos motobomba (CMB) variam de acordo com a altura manométrica e a vazão cujo o conjunto tem de fornecer.

Sabendo disso, ao paralisar a operação do conjunto motobomba na ponta de tarifação elétrica será necessário um aumento na vazão dos CMB's durante as demais horas do dia, o que consequentemente aumentará a perda de carga do sistema, incrementando, por consequência, a altura manométrica. Dessa maneira, para o pleno funcionamento do sistema, pode ser necessário um CMB de maior potência, o que aumentaria os custos com energia elétrica ao longo do dia. Além disso, sistemas que optam por essa operação necessitam de dispositivos para armazenar a água para os períodos de interrupção de funcionamento das bombas, tais como reservatórios de compensação, para que o abastecimento da população, fatalmente, não ocorra de forma intermitente.

Portanto, diante do exposto, faz-se necessário, realizar um estudo de viabilidade técnica-econômica do binômio hidráulica-elétrica em cada situação em particular.

OBJETIVO

Nesse contexto em que a parada do bombeamento no período de ponta de tarifação de energia é tida como diretriz por alguns prestadores de serviços de saneamento, o presente trabalho visa indagar se essa forma de operação é aplicável a todos os casos, independentemente das restrições do sistema existente.

Objetivo específico:

- Verificar a viabilidade técnica-econômica da adoção da parada na ponta para a Estação Elevatória de Água Tratada 02 (EEAT 02) do Sistema Adutor Botafogo, existente na região metropolitana norte (RMN) de Recife/PE.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para alcançar os objetivos traçados deste estudo foi necessário inicialmente caracterizar o sistema elevatório, o que permite o entendimento dos condicionantes hidráulicos, em seguida é feita a apresentação das alternativas estudadas. Por fim, com a definição das alternativas, são feitas considerações de cálculo para a estimativa de custos de energia e também para a estimativa de custos das obras dos reservatórios, quando estes forem necessários.

• Caracterização do sistema elevatório em estudo

A EEAT 02, situada no município de Paulista/PE, faz parte do importante sistema adutor Botafogo, o qual é responsável pelo abastecimento dos municípios de Igarassu/PE, Abreu e Lima/PE, Paulista/PE e Olinda/PE todos da RMR (Região Metropolitana do Recife). Esta elevatória atualmente opera no sistema 3+1 e tem a função de bombear água através de uma adutora DN 800mm em FoFo com aproximadamente 4.950 metros de extensão até o *Stand Pipe* Navarro (também situado em Paulista), de onde a água segue por gravidade até Olinda, através de duas aduções distintas (uma DN 800mm outra DN 600mm).

Adicionalmente, o referido *Stand Pipe* é responsável pelo abastecimento de dois reservatórios no município de Paulista, o reservatório apoiado Jardim Paulista (RAP Jardim Paulista) e reservatório elevado Mirueira (REL Mirueira), esse transporte acontece através de um trecho comum de adução em DN 400mm, seguido de bifurcação que deriva em DN 200mm para o REL Mirueira e DE 280mm para o RAP Jardim Paulista.

O esquema dessas aduções e as respectivas vazões podem ser encontrados na Figura 1 abaixo:

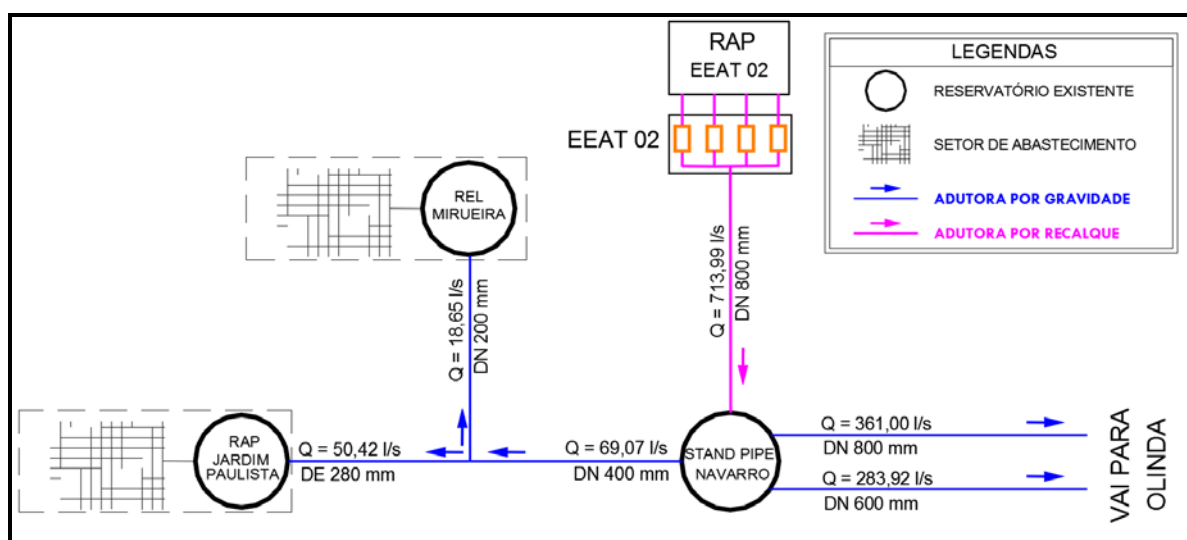


Figura 1 – Esquemático hidráulico resumido.

A vazão demandada do *Stand Pipe* Navarro é constante ao longo do dia e equivale a 713,99 l/s (valor projetado para o ano 2040).

É importante frisar que, para o bom funcionamento hidráulico do sistema à jusante desse *Stand Pipe*, é de extrema importância que a lâmina d'água em seu interior seja mantida sempre próxima ao valor máximo de 20 m.c.a. Essa consideração é importante, pois a compensação de vazão, em caso de parada na ponta, só poderá ocorrer através de reservatório elevado que mantenha a mesma cota piezométrica do sistema existente que opera 24h por dia.

- Alternativas estudadas**

Este trabalho parte da premissa de que, se optado por uma parada na ponta, o sistema hidráulico de abastecimento público não deve sofrer intermitência alguma, logo, é necessária a adoção de medidas que visem regular o balanço hídrico durante essas paradas diárias do bombeamento. Nesse caso, são concebidos os reservatórios de compensação (também conhecidos como pulmão ou de regulação), os quais garantem vazão constante para manter o sistema operando em perfeita consonância com as demandas hidráulicas ainda que durante a parada das bombas (total ou parcial).

Portanto, para avaliar a viabilidade técnica-econômica da implantação de um sistema com parada total ou parcial na ponta, esse artigo avaliará os três cenários indicados na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Matriz comparativa de premissas das alternativas estudadas.

Item		Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Descrição da Alternativa		Alternativa com substituição dos CMBs para ponto de operação projetado; com parada total na ponta.	Alternativa com substituição dos CMBs para ponto de operação projetado; com parada parcial na ponta.	Alternativa com substituição dos CMBs para ponto de operação projetado; sem parada na ponta.
Arranjo da elevatória		3+1	3+1	3+1
Operação da elevatória		<ul style="list-style-type: none"> 3 (três) CMB 20 h constante 0 (zero) CMB durante as 4h da ponta 	<ul style="list-style-type: none"> 3 (três) CMB durante 20h 1 (um) CMB durante as 4h da ponta 	<ul style="list-style-type: none"> 3 (três) CMB durante 24h/dia
Vazões	Vazão operação 24h (l/s)	-	-	713,99
	Vazão operação 20h (l/s)	856,79	803,25	-
	Vazão operação 4h (l/s)	-	267,75	-
Volume de entrega diário (m³)		61.689	61.689	61.689
Volumes de Compensação necessário	Navarro mínimo (m³)	10.281,46	6.405,40	Não se faz necessário
	Navarro adotado (m³)	10.300,00	6.495,00	Não se faz necessário
	Sucção EEAT02 mínimo (m³)	6.481,46	2.605,12	Não se faz necessário
	Sucção EEAT02 adotado(m³)	6.500,00	2.600,00	Não se faz necessário
Vazão total da elevatória (l/s)		856,79	803,25	713,99
Vazão por CMB (l/s)		285,6	267,75	237,99
Altura manométrica total (mca)		40,7	38,4	30,4

A partir do dimensionamento hidráulico do sistema adutor existente, chegou-se aos pares de valores Q e AMT apresentados na Tabela 1 acima. Com esses dados, foram então determinados os conjuntos necessários:

- Alternativa A - parada total na ponta, CMB = 250 cv;
- Alternativa B - parada parcial na ponta, CMB = 200 cv;
- Alternativa C - sem parada na ponta, CMB = 150 cv.

É importante mencionar que a substituição da adutora existente por outra de DN superior está fora de cogitação, por solicitação da própria companhia, em face ao desafio de tamanha intervenção urbana e dos elevados custos envolvidos na obra.

Adicionalmente, é sabido que a parada na ponta da tarifação de energia elétrica tem duração diária de apenas 3 horas, porém, no presente estudo e por solicitação da própria companhia, a parada foi considerada de 4 horas a fim de permitir uma margem de segurança temporal para as operações de desligamento e acionamento dos CMB's.

• **Considerações de cálculo para estimativa de custo de energia**

- a) Foi utilizada a tarifa hora sazonal azul para o cálculo do custo da energia em todos os casos, já que essa apresenta variações de valores tarifários tanto para demanda quanto para consumo de energia, e que, normalmente, para maiores cargas mais altas resulta em economia quando em comparação a tarifa hora sazonal verde;
- b) Os valores tarifários utilizados foram da concessionária de energia local (CELPE) referente ao mês de dezembro de 2017;
- c) A avaliação do custo de energia elétrica foi realizada ao longo de um período de 20 anos, através da aplicação do conceito de valor presente líquido (VPL). O VPL é uma função utilizada na análise da viabilidade de um projeto de investimento. Ele é definido como um somatório dos valores presentes dos fluxos estimados de uma aplicação, calculados a partir de uma taxa dada e de seu período de duração.

- d) O custo do capital adotado foi de 12,0% a.a., e foi considerado um reajuste anual na tarifação de energia elétrica de 5,0%;
- e) A potência utilizada nos cálculos é a potência efetivamente consumida nos CMB's, desconsiderando-se apenas perdas por acoplamento, isto é, levou-se em consideração os diferentes pontos de operação do conjunto motobomba e os rendimentos do motor e da bomba, quando em diferentes situações de acordo com cada alternativa. Dessa maneira, não se levou em consideração a potência referente aos serviços auxiliares (tomadas e iluminação) da estação elevatória, já que representa uma variável constante para todas as alternativas;
- f) Não há ultrapassagem da demanda contratada;
- g) Não há excedentes reativos.

• **Considerações de cálculo para estimativa de custo dos reservatórios**

- a) Para os serviços e insumos estimados, foram utilizadas as tabelas orçamentárias do SINAPI, ORSE e da COMPESA com *database* 10/2016;
- b) Os custos de desapropriação foram obtidos por meio do método comparativo de dados de mercado;
- c) Para a Alternativa "A" foi adotado o seguinte arranjo:
 - o Reservação de compensação NAVARRO: 4 Reservatórios elevados de compensação com volume unitário de 2.575 m³ configurados como vasos comunicantes; e
 - o Reservação de compensação sucção EEAT 02: 1 Reservatório apoiado de 6.500 m³.
- d) Para a Alternativa "B", de menor necessidade de volume de compensação, foi adotado o seguinte arranjo:
 - o Reservação de compensação NAVARRO: 3 Reservatórios elevados de compensação com volume unitário de 2.165 m³ configurados como vasos comunicantes; e
 - o Reservação de compensação sucção EEAT 02: 1 Reservatório apoiado de 2.600 m³.

RESULTADOS OBTIDOS

A partir das premissas supracitadas, chegou-se na Tabela 2 e na Tabela 3, que expressam o resultado simplificado para o presente estudo de alternativas. Vale ressaltar que o custo total indicado na Tabela 4 representa a soma do custo de implantação e do custo de operação via VPL.

Tabela 2 – Custos de implantação das estimativas de custos das alternativas estudadas.

Estimativa de custos das Alternativas estudadas			
Custos	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Elevatória (troca dos CMB's)	R\$ 437.375,54	R\$ 394.081,16	R\$ 308.538,16
Reservatórios de Compensação (4 REL's 2.575m³)	6.910.673,42	4.765.422,21	R\$ 0,00
Reservatório de Compensação (RAP 6.500m³)	1.785.066,57	881.268,49	R\$ 0,00
Administração da obra	719.805,44	471.204,69	R\$ 0,00
Canteiro de obra (reservatórios de compensação)	103.757,13	102.719,97	R\$ 0,00
Movimentação de terra (reservatórios de compensação)	26.857,01	18.352,28	R\$ 0,00
Material hidráulico (barrilete dos reservatórios)	171.213,92	122.295,66	R\$ 0,00
Desapropriação (reservatórios de compensação)	2.371.031,75	1.620.205,03	R\$ 0,00
Subtotal: Custo de implantação	R\$ 12.525.780,78	R\$ 8.375.549,48	R\$ 308.538,16

Tabela 3 – Custos de Operação referentes a energia elétrica.

Custos de Operação			
Dados	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Arranjo da elevatória	3+1	3+1	3+1
Operação da elevatória	03 CMB's 20 h constante e 00 (nenhum) CMB durante a ponta	03 CMB's durante 20h e 01 CMB durante 4h de ponta	3 CMB durante 24h
Vazão total (l/s)	856,79	803,25	713,99
Vazão por CMB (l/s)	285,6	267,75	237,99
Altura manométrica total (mca)	40,7	38,4	30,4
Potência consumida por CMB (kW)	151,93	133,54	89,87
Potência Total (kW)	455,79	400,62	269,61
Tarifa de demanda de energia na ponta (R\$/kW)	R\$ 50,82500	R\$ 50,82500	R\$ 50,82500
Tarifa de demanda de energia fora da ponta (R\$/kW)	R\$ 16,52845	R\$ 16,52845	R\$ 16,52845
Tarifa de consumo ativo na ponta (R\$/kWh)	R\$ 0,46229839	R\$ 0,46229839	R\$ 0,46229839
Tarifa de consumo ativo fora da ponta (R\$/kWh)	R\$ 0,31306834	R\$ 0,31306834	R\$ 0,31306834
Custo da demanda contratada (R\$/ano)	R\$ 90.402,04	R\$ 160.904,77	R\$ 217.909,97
Custo do consumo de energia (R\$/ano)	R\$ 1.027.392,61	R\$ 984.758,26	R\$ 772.723,54
Custo Anual de Energia elétrica			
Ano de referência - 2017	R\$ 1.117.794,66	R\$ 1.145.663,04	R\$ 990.633,50
2018	R\$ 1.173.684,39	R\$ 1.202.946,19	R\$ 1.040.165,18
2019	R\$ 1.232.368,61	R\$ 1.263.093,50	R\$ 1.092.173,44
2020	R\$ 1.293.987,04	R\$ 1.326.248,18	R\$ 1.146.782,11
⋮	⋮	⋮	⋮
2036	R\$ 2.824.611,43	R\$ 2.895.033,44	R\$ 2.503.281,53
2037	R\$ 2.965.842,00	R\$ 3.039.785,11	R\$ 2.628.445,60
2038	R\$ 3.114.134,10	R\$ 3.191.774,37	R\$ 2.759.867,88
Valor presente líquido do custo de energia (R\$)	R\$ 12.443.274,22	R\$ 12.753.504,65	R\$ 11.027.718,07

Tabela 4 – Custos totais das alternativas.

Descrição	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Subtotal: Custo de Implantação	R\$ 12.525.780,78	R\$ 8.375.549,48	R\$ 308.538,16
Subtotal: Custo de Operação	R\$ 12.443.274,22	R\$ 12.753.504,65	R\$ 11.027.718,07
CUSTO TOTAL DA ALTERNATIVA (R\$)	R\$ 24.969.055,00	R\$ 21.129.054,13	R\$ 11.336.256,23

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Diante dos valores apresentados na Tabela 2 e Tabela 3 e resumidos na Tabela 4, percebe-se para o *case* da EEAT 02, as alternativas A e B apresentam maior custo financeiro, quando em comparação com a alternativa C, na qual não há parada da ponta, fato esse atribuído principalmente aos elevados custos de implantação dos reservatórios de compensação.

Ademais, tais reservatórios, especialmente os elevados, são de grandes dimensões unitárias (2.165 m³ e 2.575 m³, respectivamente na alternativa A e B) para altura considerável (15,0 metros de fuste + 5,0 metros de altura útil), o que se traduz em reservatórios extremamente não usuais, requerendo a elaboração de projeto estrutural de alta complexidade além da execução de uma obra especial, inviabilizando também tecnicamente a concepção dessas alternativas.

Já do ponto de vista puramente eletromecânico, ao se analisar o valor presente líquido do custo de energia, percebe-se que a alternativa mais vantajosa também é a alternativa C, ou seja, não parando na ponta de

tarifação elétrica. Isto mostra que o aumento vazão e da altura manométrica devido a parada total ou parcial na ponta, resultou na necessidade de conjuntos motobomba de maiores potências que, consequentemente, provocaram um maior custo com energia elétrica.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Conclui-se que a operação de cada sistema de abastecimento água possui suas particularidades, não permitindo diretrizes genéricas como regra para todos os SAA. Ou seja, a opção por operação com parada na ponta deve ser estudada caso a caso, levando em consideração estudos de alternativas técnicas e econômicas. Logo não se deve generalizar que a parada na ponta de tarifação elétrica é sempre algo positivo, no que tange sistemas de abastecimento de água, em especial estações elevatórias.

No caso estudado, as restrições hidráulicas envolvidas tornam a modificação para um sistema com parada na ponta algo extremamente oneroso de ser implantado e de ser operado frente a alternativa C (sem parada na ponta), aproximadamente R\$ 13,6 milhões de diferença no caso da alternativa A e R\$ 9,7 milhões de diferença para a alternativa B, ambos para um horizonte de comparação de 20 anos.

Por fim, caso a parada na ponta seja implantada parcialmente, ou seja, sem todas as obras civis necessárias de reservação e regulação, ocorreria o comprometimento do contínuo abastecimento de água das populações atendidas a partir dessa elevatória do sistema adutor Botafogo, comprometimento este que vai contra os princípios básicos da lei do saneamento básico (lei federal 11.445/2007), mais especificamente a que discorre sobre o serviço de abastecimento de água seguro, com qualidade, regularidade e continuidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASE (ALLIANCE TO SAVE ENERGY). Água e energia: Aproveitando as oportunidades de eficiência de água e energia não exploradas nos sistemas e água municipais. Washington: ALLIANCE, 2002.
2. BRASIL. Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>. Acesso em: 27/03/2019.
3. SNIS. Série Histórica: Água e Esgotos. Dados referente ao ano de 2016. Disponível em: <<http://app3.cidades.gov.br/serieHistorica/#>>. Acesso em: 24 outubro 2018.
4. WWAP (World Water Assessment Programme). World Water Development Report 2014, Water and Energy. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2014-water-and-energy/>>. Acesso em: 24 outubro 2018.
5. PRICE, E.; OSTFELD, A. iterative LP water system optimal operation including headloss, leakage, total head and source cost. Journal Of Hydroinformatics. Haifa, p. 1-21. Out. 2013.
6. TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água. 2 ed; São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da USP, 2004.
7. MANCINTYRE, A. J. Bombas e Instalações de Bombeamento. 2 ed. rev.; Rio de Janeiro: LTC, 1997. p 37.