XV SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - SENDI 2002

Inequação de Mudança de Estado – Uma Ferramenta Importante em Estudos de Planejamento da Distribuição

S. E. Fronterotta – Univ. Mackenzie e A. G. Amendola – ELETROBRÁS / Univ. Mackenzie

E-mail: *alexamen@uol.com.br*

Palavras-chave – Energia não distribuída, inequação, mudança de estado, planejamento, situação operacional .

Resumo - A evolução da carga numa rede de Distribuição ao longo do tempo, vai acarretar a previsão da entrada em operação de obras que visam atender à sua expansão .Os estudos tradicionais de planejamento tendem a projetar a entrada de uma obra no ano em que determinadas restrições técnicas são violadas. O sistema, neste ano, pode ser traduzido por um determinado estado "E1", caracterizado por certas condições de operação definidas, aqui, pelo nível deperdas e pela energia não distribuída – END (ou esperança matemática da energia a ser interrompida naquele ano) .No entanto, se a mesma obra for antecipada, por exemplo, de uma ano, a operação passará a ser caracterizada por um diferente estado "E2", com outro nível de perdas e END . A "Inequação de Mudança de Estado" procura determinar em que condições a antecipação de uma obra é vantajosa para a Concessionária, na medida em que os benefícios advindos com a redução das perdas e END poderão ser maiores que os custos de investimentos provocados pela antecipação da mesma . Do ponto de vista dos consumidores, uma obra "antecipada" pode trazer benefícios importantes face às exigências crescentes de aumento da qualidade e confiabilidade da energia suprida. O trabalho apresenta, ao final, um exemplo aplicativo da técnica de utilização da Inequação de Mudança de Estado, para definição do ano de entrada em operação de uma determinada obra .

1. INTRODUÇÃO

O presente documento tem como objetivo principal conceituar a chamada "Inequação de Mudança de Estado", ferramenta que vem se constituindo em importante contribuição aos estudos de Planejamento da Distribuição, no que tange aos aspectos relacionados à otimização técnico-econômica da entrada em operação de uma obra num determinado sistema.

A evolução da carga numa rede de distribuição ao longo do tempo, vai acarretar a previsão da entrada em operação de obras que visam atender à sua expansão.

Os estudos tradicionais de planejamento tendem a projetar a entrada de uma obra, no ano em que determinadas restrições técnicas são violadas.

O sistema, neste ano, pode ser traduzido por um determinado estado ou (situação) "E_1", caracterizado por certas condições de operação, definidas aqui pelo nível de perdas e pela energia não distribuída – "END" (ou esperança matemática de energia a ser interrompida naquele ano).

No entanto, se a mesma obra tiver a data da entrada em serviço antecipada por exemplo, de um ano, a operação passará a ser caracterizada por um diferente estado "E_2", com outro nível de perdas e END.

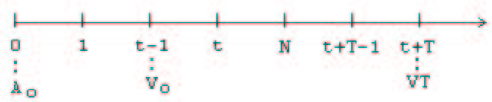
A "Inequação de Mudança de Estado" procura determinar em que condições a antecipação de uma obra é vantajosa para a Concessionária, na medida que os benefícios advindos com a redução das perdas e END poderão ser maiores que os custos de Investimentos provocados pela antecipação da mesma. Um exemplo aplicativo encontra-se detalhado no item 7 deste trabalho.

A técnica de utilização da Inequação de Mudança de Estado sugere um processo para hierarquização ou priorização da entrada em operação de um elenco de obras, com o emprego da chamada "Taxa de Rentabilidade Inicial – T.R.T.", que se encontra descrita no item 8 do presente trabalho.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1. Anuidade Equivalente

Consideramos o seguinte fluxo de despesas referente a um investimento inicial V0 (com N < T):



(1)

onde:

(A) - representa a referência de preços (ponto t = 0).

(V0) - investimento inicial correspondente a uma obra instalada no início do ano t, porém, contabiliza em t-1.

(N) - número de anos do estudo de um determinado plano de investimentos referente à expansão de um sistema de distribuição.

(VT) - valor da sucata (também chamado de ferragem, residual ou de recuperação).

(T) - vida útil da obra.

Financeiramente, sabe-se que os valores atualizados de V0 e VT em relação ao ano inicial (t = 0), podem ser escritos, respectivamente:

$$\overline{V_0} = \frac{V_0}{(1+i)^{t-1}} \qquad (2)$$

$$\overline{VT} = \frac{VT}{(1+i)^{t+T-1}} \qquad (3)$$

onde:

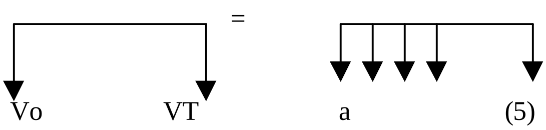
V0 – valor atualizado de V0.
--
VT – valor atualizado de VT.

i – taxa de atualização.

Pode-se determinar a expressão correspondente a uma “anuidade equivalente - a”, que se aplica no período [t, t+T – 1], vai recompor o investimento V0, assim:

$$\sum_{n=T}^{t+T-1}\left(\left(\frac{a}{(1+i)^n}+\frac{VT}{(1+i)^{t+T-1}}\right)\right)=\frac{V_0}{(1+i)^{t-1}} \qquad (4)$$

Esquematicamente, a expressão acima corresponde a:



(5)

De (4) e supondo t =1 (como ocorre na prática), teremos:

$$\sum_{n=1}^{T}\left[\frac{a}{(1+i)}+\frac{VT}{(1+i)^T}\right]=\frac{V_0}{(1+i)^0} \qquad (6)$$

O lado esquerdo da expressão acima pode ser calculado pela expressão da soma dos termos de uma PG, de razão q = 1 / 1+i, e primeiro termo a1= a / 1+i; ou seja:

$$S_n = \frac{a_1(q^n-1)}{q-1} \qquad (7)$$

$$\sum_{n=1}^{T}\frac{a}{(1+i)^n}=V_0-\frac{VT}{(1+i)^T}$$

$$S_n = \frac{\left(\frac{a}{1+i}\right)\cdot\left(\left(\frac{1}{1+i}\right)^T-1\right)}{1+i-1}$$

$$S_n = -\frac{a}{i}\left(\left(\frac{1}{1+i}\right)^T-1\right) \qquad (8)$$

Substituindo (8) em (6):

$$-\frac{a}{i}\left(\left(\frac{1}{1+i}\right)^T-1\right)=V_0-\frac{VT}{(1+i)^T}$$

$$-a\left(\left(\frac{1}{1+i}\right)^T-1\right)=i\left(\frac{V_0(1+i)-VT}{(1+i)^T}\right)$$

$$a\left((1+i)^T-1\right)=i\left(V_0(1+i)^T-VT\right)$$

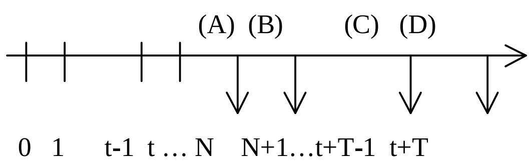
$$a=\frac{i\left(V_0(1+i)^T-VT\right)}{\left((1+i)^T-1\right)} \qquad (9)$$

2.2 – “Valor de Uso” de um Bem:

O “Valor de Uso” de um bem pode ser definido em termos econômicos com sendo “a despesa suplementar que seria necessária incorporar, se o bem viesse a sair de operação em um determinado ano t para continuar sua operação nas mesmas condições anteriores”.

Em termos contábeis, define-se “Valor de Uso” de um bem na data “N” (tempo de duração de estudo), compreendida entre t (data de colocação em operação) e t+T-1 (data do fim de sua vida contábil) como sendo a fração do investimento V0 não amortizado nesta mesma data:

Devemos, então, calcular a soma de todas as anuidades a partir de N+1 até t+T, acrescido do valor de sucata VT atualizado. Assim, esquematicamente, teremos:



onde:

(A)– instante onde será calculado o valor de uso

(B) – instante a partir do qual serão calculadas as anuidades (a primeira anuidade será contabilizada em (A).

(C) – instante de contabilização do valor de sucata VT.

(D) – ultimo instante (fim da vida útil).

Daí, pelo conceito contábil de valor de uso, teremos:

$$VU(N) = \sum_{n=N}^{t+T-1} \left(\frac{a}{(1+i)^n} + \frac{VT}{(1+i)^{t+T-1}} \right) \qquad (11)$$

A expressão anterior pode ser rescrita como:

$$VU(N) = \mathop{}\limits_{n=N}^{t+T-N-1} \left(\frac{a}{(1+i)^n} + \frac{VT}{(1+i)^{t+T-N-1}} \right) \qquad (12)$$

Daí, de (8), do item 3.1, teremos:

$$\sum_{n=1}^{t+T-N-1} \frac{a}{(1+i)^n} = -\frac{a}{i} \left(\left(\frac{1}{1+i} \right)^{t+T-N-1} - 1 \right) \qquad (13)$$

Substituindo agora o valor da anuidade “a” acima pela expressão (0), teremos:

$$\sum_{n=1}^{t+T-N-1} \frac{a}{(1+i)^n} = -\frac{-V_0(1+i)^T - VT}{\left((1+i)^T - 1\right)} \cdot \left(\frac{1}{(1+i)^{t+T-N-1}} - 1 \right) \qquad (14)$$

Retomando agora a expressão de VU (N):

$$VU(N) = \frac{\left(VT - V_0(1+i)\right)^T}{(1+i)^T - 1} \cdot \left(\frac{1}{(1+i)^{t+T-N-1}} - 1 \right) + \frac{VT}{(1+i)^{t+T-N-1}}$$

Admitindo-se que o custo operacional para retirada de uma obra no fim de sua vida útil, seja praticamente igual ao resíduo resultante da exploração da mesma ao longo de toda vida útil, pode-se escrever que VT = 0, daí:

$$VU(N) = \frac{V_0\left[(1+i)^T (1+i)^{N-t+1}\right]}{(1+i)^T - 1} \qquad (15)$$

Na prática t = 1, logo:

$$VU(N) = \frac{V_0\left[(1+i)^T - (1+i)\right]^N}{(1+i)^T - 1} \qquad (16)$$

3. MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DO CUSTO ATUALIZADO DE UMA ESTRATÉGIA DE EXPANSÃO

Um dos processos conhecidos para análise do custo atualizado de uma determinada estratégia é o chamado “Método das Anuidades” que considera uma soma atualizada de 03 parcelas anuidade equivalente de amortização, despesas de exploração (representados pelas perdas) e custos com compatibilidade (representada pela END), ou seja:

$$C = \sum_{t=1}^{N} \frac{a(t) + E(t) + D(t)}{(1+i)^t} \qquad (17)$$

onde

a (t) – anuidade equivalente no instante t

E (t) – despesas de exploração no instante t

D (t) – despesas com compatibilidade no instante t

Outro processo descrito pela literatura é o chamado “Método dos Investimentos”, onde relaciona-se os investimentos realizados em cada ano (o que provoca o aparecimento do valor de uso ano, expressão final), despesas de exploração e custos com confiabilidade. Daí:

$$C = \sum_{t=1}^{N} \frac{I(t)}{(1+i)^{t-1}} + \frac{E(t) + D(t)}{(1+i)^t} - \frac{VU(N)}{(1+i)^N} \qquad (18)$$

4. CONCEITUAÇÃO DA CHAMADA “INEQUAÇÃO DE MUDANÇA DE ESTADO”

Numa rede de distribuição, as despesas com as perdas e confiabilidade tendem a crescer com o aparecimento de novas cargas e com o crescimento daqueles já existentes. A colocação em operação de uma obra permite melhorar as condições de exploração desta mesma rede, mas compensação, os custos totais são aumentados pelos investimentos referentes a esta obra.

Desta forma, é essencial saber qual é a ocasião mais propícia para se instalar uma obra num determinado instante de tempo.

Assim, para investigar se é interessante antecipar a data de entrada em operação da obra, serão comparadas, a seguir, 2 estratégias a saber:

a) Estratégia C1 $\Rightarrow$ obra entrando em operação no ano "n+i"

b) Estratégia C2 $\Rightarrow$ obra entrando em operação no ano "n"

Onde C1 e C2 são os custos descritos no item 3 (expressões 17 e 18) pelos 2 processos mencionados.

Se a estratégia 2 for mais atraente que 1, deve-se verificar:

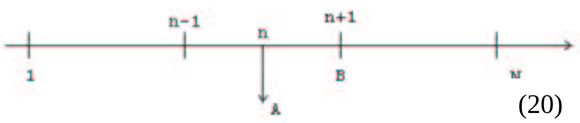
$$C_2 < C_1 \Rightarrow C_2 - C_1 < 0 \Rightarrow C_1 - C_2 > 0 \qquad (19)$$

A expressão (19) acima é conhecida como "Inequação de Mudança de Estado", que de uma maneira geral, reflete a atividade de uma estratégia em relação à outra, podendo-se, assim, alterar o calendário final de entrada em operação de uma obra de Distribuição nos itens que se seguem, a expressão (19) será desenvolvida segundo os 2 processos descritos anteriormente.

4.1. Método das Anuidades

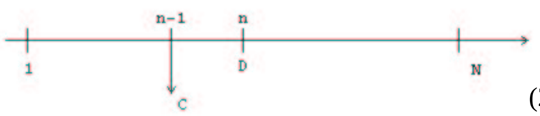
Abaixo estão representadas esquematicamente as 2 estratégias descritas no item (C1 e C2):

Estado 1 :



(20)

Estado 2 :



(21)

onde:

N - número de anos do período de estudo

(A) - instante de tempo onde será contabilizada a obra da estratégia C1

(B) - instante de tempo onde entrará em serviço a obra da estratégia C1

(C) - instante de tempo onde será contabilizada a obra da estratégia 2

(D) - instante de tempo onde entrará em serviço a obra da estratégia 2

Desta forma, os custos C1 e C2 para as estratégias serão respectivamente:

$$C_1 = \sum_{t=1}^{n-1}\left(\frac{a(t)+E(t)+D(t)}{(1+i)^t} + \frac{a(n)+E_1(n)+D_1(n)}{(1+i)^n}\right) + \sum_{t=n+1}^{N}\left(\frac{a(t)+E(t)+D(t)}{(1+i)^t}\right) \qquad (22)$$

$$C_2 = \sum_{t=1}^{n-1}\left(\frac{a(t)+E(t)+D(t)}{(1+i)^t} + \frac{a(n)+E_2(n)+D_2(n)}{(1+i)^n} + \frac{a}{(1+i)^n}\right) + \sum_{t=n+1}^{N}\left(\frac{a(t)+E(t)+D(t)}{(1+i)^t}\right) \qquad (23)$$

Fazendo-se agora (C1 – C2), teremos:

$$C_1 - C_2 = \sum_{t=1}^{n-1}\left(\frac{a(t)+E(t)+D(t)}{(1+i)^t}\right) + \frac{a(n)+E_1(n)+D_1(n)}{(1+i)^n} + \sum_{t=n+1}^{N}\left(\frac{a(t)+E(t)+D(t)}{(1+i)^t}\right)$$
$$- \sum_{t=1}^{n-1}\left(\frac{a(t)+E(t)+D(t)}{(1+i)^t}\right) - \frac{a(n)+E_2(n)+D_2(n)}{(1+i)^n} - \frac{a}{(1+i)^n} - \sum_{t=n+1}^{N}\left(\frac{a(t)+E(t)+D(t)}{(1+i)^t}\right)$$

$$C_1 - C_2 = \frac{E_1(n)+D_1(n)}{(1+i)^n} - \frac{E_2(n)+D_2(n)}{(1+i)^n} - \frac{a}{(1+i)^n}$$

Daí, para que a estratégia 2 seja mais atraente que a 1, devemos ter:

C1 – C2 > 0, ou seja:

$$\frac{E_1(n)+D_1(n)}{(1+i)^n} - \frac{E_2(n)+D_2(n)}{(1+i)^n} > \frac{a}{(1+i)^n}$$

Simplificando $(1+i)^n$,teremos: (20)

$$E_1(n) + D_1(n) - E_2(n) - D_2(n) > a \qquad (24)$$

(21)

O termo $E_1(n) - E_2(n)$ é o chamado "gancho sobre as despesas de exploração" – GE (n), enquanto que $D_1(n) - D_2(n)$ pode ser chamado de "gancho sob despesas de confiabilidade – GD (n)". Daí:

$$GE(n) + GD(n) > a \qquad (25)$$

onde (25) é a inequação de mudança de estado para o Método das Anuidades.

4.2 – Método dos Investimentos

Utilizando os diagramas (20) e (21), do item 5.1, os custos C_1 e C_2 referentes às estratégias 1e 2, para o método dos investimentos, podem ser escritos como:

$$C_1=\sum_{t=1}^{n-1}\left(\frac{I(t)}{(1+i)^{t-1}}+\frac{E(t)+D(t)}{(1+i)^{t}}+\frac{I(n)}{(1+i)^{n-1}}+\frac{E_1(n)+D_1(n)}{(1+i)^{n}}+\frac{V_0}{(1+i)^{n}}\right)_t+$$

$$+\sum_{t=n+1}^{N}\left(\frac{I(t)}{(1+i)^{t-1}}+\frac{E(t)+D(t)}{(1+i)^{t}}-\frac{VU_1(N)}{(1+i)^{N}}\right)$$

e para C2,

$$C_2=\sum_{t=1}^{n-1}\left(\frac{I(t)}{(1+i)^{t-1}}+\frac{E(t)+D(t)}{(1+i)^{t}}+\frac{I(n)}{(1+i)^{n-1}}+\frac{E_2(n)+D_2(n)}{(1+i)^{n}}+\frac{V_0}{(1+i)^{n-1}}\right)+$$

$$\Bigg)+\sum_{t=n+1}^{N}\left(\frac{I(t)}{(1+i)^{t-1}}+\frac{E(t)+D(t)}{(1+i)^{t}}-\frac{VU_2(N)}{(1+i)^{N}}\right)$$

Para C1 – C2 > 0, teremos:

$$E_1(n)+D_1(n)-E_2(n)-D_2-iV0-\frac{(VU_1(N)-VU_2(N))}{(1+i)^{N-n}}>0 \tag{26}$$

Mas, de (15), com t = n+1 para VU1 (N), teremos: (vide diagrama (20))

$$VU_1(N)=\frac{V0\left[(1+i)^{T}-(1+i)^{N-n}\right]}{(1+i)^{T-1}}$$

Para VU_2 (N), t = n pois a obra é um ano mais antiga do que na estratégia 1

$$VU_2(N)=\frac{VO\left[(1+i)^{T}-(i+1)^{N-n+1}\right]}{(1+i)^{T}-1}$$

Daí, teremos:

$$\frac{VU_1(N)-VU_2(N)}{(1+i)^{N-n}}=\frac{iV0}{(1+i)^{T-1}} \tag{27}$$

Substituindo (27) em (26):

$$E_1(n)+D_1(n)-E_2(n)-D_2(n)-\frac{iV0}{(1+i)^{T-1}}>0$$

$$GE(n)+GD(n)>\frac{iV0(1+i)^{T}}{(1+i)^{T-1}} \tag{28}$$

Se examinarmos agora, a expressão (9), veremos que, se VT = 0, então teremos :

$$Q=\frac{iV0(1+i)^{T}}{(1+i)^{Y-1}} \tag{29}$$

o que representa o lado direito da desigualdade (28) .logo, substituindo (29) em (28):

$$GE(n)+GD(n)>a \tag{30}$$

5.3 – Igualdade Entre os Métodos Selecionados

A evidente igualdade entre as expressões (25) e (30) nos leva a um importante resultado:

"Na análise para viabilidade econômica de uma determinada obra utilizando-se a técnica da Inequação de Mudança de Estado, a metodologia por anuidades equivalentes leva fornece a mesma condição que o método dos investimentos".

5. UTILIZAÇÃO DA INEQUAÇÃO DE MUDANÇA DE ESTADO EM PLANEJAMENTO

Da expressão (26), podemos escrever:

$$E_1(n)-E_2(n)+D_1(n)-D_2(n)-\frac{[VU_1(N)-VU_2(N)]}{(1+i)^{N-n}}>iVo$$

O termo $\dfrac{VU_1(N)-VU_2(N)}{(1+i)^{N-n}}$ pode ser chamado de ganho sobre o valor de uso de uma estratégia em relação a outra. Assim, podemos escrever:

$$GE(n)+GD(n)-GVU(n)>iV0 \tag{31}$$

Onde o final negativo de GVU(n) justifica-se pela foto da obra referente à estratégia 2 “envelhecer” mais depressa que a da estratégia 1.

Podemos, então, dizer que o ano “ótimo” de entrada de uma obra será aquele em que, pelo menos, os ganhos sobre as despesas com confiabilidade e exploração da rede porem pelo menos iguais aos custos envolvidos (financeiros + depreciação).

Seja, por exemplo, uma obra tecnicamente projetada para entrar em operação no ano t. A hipótese de instalação desta obra 1 ano antes do previsto, certamente acarretará um ganho “GE” sobre as despesas de exploração e um ganho “GD” sobre as despesas com confiabilidade. No entanto esta hipótese custará certamente “i” em termos de antecipação de investimento e um ganho negativo do valor de uso “GVU”, pela foto da obra envelhecer mais depressa ao ser antecipada.

Assim, na hipótese de buscar-se, ao longo do desenvolvimento da função Planejamento, o ano ótimo de previsão de entrada de uma obra num determinado sistema de Distribuição, em termos técnicos e econômicos, este ano será aquele em que:

$$iVo = GE(t) + GD(t) - GVU(t)$$

Se t $\notin$ N^* então é conveniente estabelecer que:

$$GE\,(t-1) + GD\,(t-1) - GVU\,(t-1) < iV\,0 \leq$$
$$\leq\; GE\;(t) + GD\;(t) - GVU \qquad (32)$$

Na inequação dupla (32), por diferir em apenas 1 ano, uma aproximação válida é admitir que :

$$GVU(t) \cong GVU(t-1) \cong 0 \qquad (33)$$

6. EXEMPLO ILUSTRATIVO

Consideramos uma determinada subestação de Distribuição que, no ano “n-1” = 5, pela metodologia de planejamento utilizada, esteja prevendo uma violação de pelo menos uma restrição técnica considerada fundamental: queda de tensão dos alimentadores superior a 7,5%.

Neste ano 5, o setor de planejamento está prevendo a construção de um novo alimentador que será agregado aos já existentes.

Com a inclusão desta obra no ano 5, o sistema esta operando na seguinte condição (“C1”):

E1 = custo das perdas do “estado” 1 = U$ 10.000

D1 = custo da confiabilidade do “estado” 1 = U$ 71.000

No ano “n” = 4, o sistema não possuía nenhuma restrição técnica violada, assim ainda não necessitava da inclusão de obras alguma. Nestas condições, no ano4, o sistema está operando na seguinte condição (“C2”):

E2 = custo das perdas no “estado“ 2 = US$ 92.000

D2 = custo das perdas no “estado” 2 = US$ 65.000

Pelo método das anuidades e de acordo com (25), devemos ter:

$$GE(n) + GD(n) > a$$

De acordo com (9), e VT =0, teremos:

$$a = \frac{i\left(V\,0(1+i)^T\right)}{(1+i)^{T-1}}$$

Admitindo-se:

i = 10%

T = 25 anos

V0 = US$ 94.000 (referente a construção do novo alimentador).

Daí, calculamos:

a = US$ 10.356

GE (n) = E1 – E2 = US$ 3.000 (com sinal trocado)

GD (n) = D1– D2 = US$ 19.000 (com sinal trocado)

Verificamos que $GE(n) + GD(n) < a$, logo, a estratégia 2 não é mais atraente que a estratégia 1, indicando que não há benefício em antecipar-se a obra em 1 ano preferindo-se, assim, manter o calendário inicial .

7. CLASSIFICAÇÃO DE OBRAS – TAXA DE RENTABILIDADE

A expressão (31) sugere a utilização de um processo bastante interessante para classificação de obras.

Se não houvesse restrições financeiras, todas as obras previstas num determinado elenco, provavelmente seriam realizadas e o valor de sua rentabilidade inicial (TRI) seria igual à taxa de atratividade – i do setor.

No entanto, face a presença de restrições a expressão (31) pode ser escrita como:

$$TRI = \frac{GE(n) + GD(n) - GVU(n)}{V0} \qquad (34)$$

onde :

TRI – Taxa de Rentabilidade Inicial

V0 – Investimento Inicial

Desta forma, a ordenação decrescente das diversas obras elencadas num determinado programa, permite classificar ou priorizar as obras em graus diferentes de programação.

8. CONCLUSÕES

O processo descrito utilizando a chamada Inequação de Mudança de Estado constitui-se em ferramenta importante na otimização técnico-econômica do calendário final da entrada em operação de obras num determinado sistema.

Já a taxa de rentabilidade inicial pode fornecer, sobretudo num contexto de restrições financeiras, um dado elenco de obras em que, a princípio não se sabe qual a mais ou menos rentável.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] EDF Internacional, "RAPPORT R3 – Planification des Investissements des Réseaux de Distribuition Eletrobrás – DOD, 1989

[2] EDF Internacional, "RAPPORT R4 – Planification des Investissements des Réseaux de Distribution Eletrobrás – DOD, 1989