

DC/GPT/10

VI SEMINÁRIO NACIONAL DE
PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

GRUPO II

PRODUÇÃO TÉRMICA
(GPT)

PRINCIPAIS FATORES DE INFLUÊNCIA SOBRE
O CUSTO FINAL DE GERAÇÃO DE UMA CENTRAL
NÚCLEO-ELÉTRICA EM COMPARAÇÃO COM OUTRAS
FONTES DE GERAÇÃO

J.A. Marques de Souza	NUCLEBRÁS
C. Glardon	NUCLEN
R. Marchese Schmidt	NUCLEN

PRINCIPAIS FATORES DE INFLUÊNCIA SOBRE
O CUSTO FINAL DE GERAÇÃO DE UMA CENTRAL
NÚCLEO ELÉTRICA EM COMPARAÇÃO COM OUTRAS
FONTES DE ENERGIA

<u>CONTEÚDO</u>	<u>PÁG.</u>
1. Estrutura do custo de geração	2
2. Estrutura do custo de combustível nuclear	3
3. Estrutura do custo total de investimento de capital	4
3.1 Estrutura do custo total básico de investimento	
3.2 Juros durante a construção	
4. Disponibilidade	5
5. Conclusão	6

1. ESTRUTURA DO CUSTO DE GERAÇÃO

Para efeito deste trabalho adotaremos a subdivisão usual do custo de geração de centrais elétricas:

A) Custo total de investimento de capital

É definido como o custo total básico de investimento mais os juros durante a construção e reajustamento de preços ("escalation"), este último considerado nulo no presente caso, pois estamos raciocinando a preços constantes e não a preços correntes, o que dificultaria sobremaneira as comparações.

B) Custo do combustível

No caso da central nuclear, inclui os custos de todo o ciclo do combustível.

C) Custo de operação e manutenção

Incluem-se neste item custos de pessoal de operação e de manutenção, sobressalentes, materiais de consumo, seguros, etc.

Uma central nuclear com unidades das do porte adotado pelo Programa Nuclear Brasileiro (2 x 1245 MWe), apresenta uma estrutura de custos de geração bem diferente daquela de centrais térmicas a carvão e hidroelétricas, como indica a figura 1-1.

É óbvio que os percentuais indicados dependem de uma série muito grande de fatores tais como a capacidade da central, o tempo de construção, o número de unidades por local, a função da central (carga base, para pontas, etc.), a localização da central, o grau de automatização, a taxa de juros, para mencionar somente alguns poucos. Os valores devem ser considerados, portanto, apenas como valores de referência. Basicamente devem servir para mostrar determinadas tendências na composição dos custos de energia elétrica de diferentes tipos de centrais.

Nota-se na fig. 1-1 que, em uma central nuclear, o custo do investimento incide sobre o custo final de geração com cerca de 68%, cabendo ao combustível cerca de 21% e à operação e manutenção cerca de 11%. No caso de uma hidroelétrica a incidência do custo de investimento é da ordem de 93%, cabendo apenas 7% à manutenção e operação.

Em uma térmica convencional, a óleo e a carvão, já o custo do combustível terá grande importância, cerca de 50% no caso de uma térmica a carvão.

Isto mostra, por si só, a importância, no caso de centrais nucleares e hidroelétricas, da preocupação em se

adotar técnicas de construção e gerenciamento que objetivem os custos finais do empreendimento os mais baixos possíveis. Neste aspecto é essencial o cumprimento do cronograma, pois, caso contrário, surgiriam aumentos excessivos nos custos financeiros, que são de fundamental importância no caso de empreendimentos de capital intensivos.

Um ano de atraso em um empreendimento nuclear, dependendo da fase de construção, pode causar aumento no custo final da obra de 5% e é, por exemplo, equivalente, do ponto de vista do custo final de geração, a um aumento de 50% no custo do urânio (passando de 40\$/lbU₃O₈ a 60\$/lbU₃O₈ por exemplo) ou superior à duplicação do custo de fabricação do elemento combustível (275 a 550\$/kgU), como se verá no item seguinte.

2. ESTRUTURA DO CUSTO DE COMBUSTÍVEL NUCLEAR

A estrutura de custos do ciclo de combustível de uma central nuclear está indicada na tabela 1.

Tabela 1		
ESTRUTURA DE CUSTOS DO CICLO DO COMBUSTÍVEL DE UMA CENTRAL NUCLEAR		
CICLO/COMPONENTE	PARTICIPAÇÃO % S/ CUSTO DO CICLO	S/ CUSTO DE GERAÇÃO
B.1 Urânio	37,7	7,9
B.2 Conversão	2,3	0,5
B.3 Enriquecimento	41,0	8,6
B.4 Fabricação	14,4	3,0
B.5 Transporte combustível novo/irradiado	1,6	0,4
B.6 Reprocessamento	10,2	2,1
B.7 Crédito U/Pu	-7,2	-1,5
	100%	21,0%

Nota-se que o urânio é responsável por cerca de 8% no custo final de geração, o enriquecimento 9%, a fabricação do elemento combustível 3%, e o restante do ciclo por cerca de 2%.

Isto significa que a influência de aumentos de custos do urânio sobre os custos de geração final de uma central nuclear é muito pequena. Assim, se o custo do urânio aumentar 50%, a preços constantes, a incidência final so-

bre o custo de geração será de apenas 4%. Isto evidentemente não acontece com as usinas térmicas convencionais, particularmente as térmicas a derivados de petróleo, onde a maior incidência no custo final de geração é devida ao custo de combustível, que apresenta tendências sempre crescentes a moeda constante.

3. ESTRUTURA DO CUSTO TOTAL DE INVESTIMENTO DE CAPITAL

No item 1 foi definido o custo total de investimento de capital como a soma de:

A1: Custo total básico de investimento

A2: Juros durante a construção

A3: Reajustamento de preços (considerado nulo neste trabalho)

3.1 Estrutura do custo total básico de investimento

A figura 3.1-1 compara a estrutura de custo total básico de uma central nuclear com o de uma hidroelétrica típica de características médias e de uma unidade de carvão.

Nota-se o grande impacto das obras civis, cerca de 57%, no custo das obras hidroelétricas, ao passo que nas centrais nucleares este é, geralmente, em condições normais, da ordem de 13%.

Quanto a equipamento, transporte, seguro e montagem de equipamento, a participação no custo básico de investimento é de cerca de 25% para centrais hidroelétricas, ao passo que este valor atinge cerca de 65% para as centrais nucleares, indicando assim, neste último caso, a grande influência destes itens no custo final do empreendimento.

No que se refere a custos do proprietário, que englobam a administração geral do empreendimento, o treinamento de pessoal de operação, a construção de vilas para o pessoal de operação, o custo de aquisição de terras e outros correlatos, a incidência dos mesmos sobre o custo básico de investimento é estimado em cerca de 10% nos três tipos de usinas.

Deve-se considerar que, embora nas centrais hidroelétricas os custos referentes ao pessoal de operação sejam menores, os custos de desapropriação do solo e de deslocamento da população são muito maiores se comparados com centrais termoelétricas (tanto nucleares como convencionais).

Estimamos que os gastos percentuais em engenharia sejam aproximadamente entre 12 e 8%, de acordo com o tipo de usina.

3.2 Juros durante a construção

No custo total de investimento de capital das centrais nucleares discutidos anteriormente estão incluídos cerca de 40% do custo básico de investimento como juros durante a construção. Este valor corresponde ao desenvolvimento normal de um projeto, que hoje em dia é de cerca de 9 a 10 anos, uma curva de desembolso de despesas típica em formato S, mais acentuada na parte final da implementação do empreendimento, e a 10% de juros médios ao ano. Na Europa este valor é da ordem de 30-35% devido ao menor tempo de construção e menores taxas de juros.

4. DISPONIBILIDADE

Há que se considerar também, quando se está analisando os custos finais de geração, que algumas vezes é compensador ter, no início, investimentos maiores que levem a um aumento de disponibilidade da unidade produtora.

Assim deve se considerar que, dos custos totais de geração de uma usina nuclear, a maior parte se compõe de custos fixos e só uma pequena parcela constitui custos variáveis como se mostra a seguir.

Dos custos de operação e manutenção, aproximadamente 30% devem ser considerados como custos variáveis correspondentes a lubrificantes, resinas, materiais de consumo em geral, etc., ou seja, estes custos dependem do tempo de operação da central. Os restantes custos de operação e manutenção podem ser considerados como custos fixos (por exemplo: custos relacionados com o pessoal de operação, seguros, etc.)

Dos custos de combustível, aproximadamente 80% são custos variáveis e os restantes 20% fixos correspondentes a:

- Custo referente à carga inicial e à imobilização durante as recargas, descontado o valor residual líquido da última carga;
- Custo referente à diferença entre os custos de reposição antes (efetivos) e após (extrapolados para o período de partida) o equilíbrio;
- Custo referente à reserva de combustível.

Os custos de investimento de capital são naturalmente custos fixos, não dependendo da operação da central.

Na fig. 4-1 estão resumidos os percentuais totais de custos fixos e variáveis de uma usina nuclear, tomando como base a subdivisão mostrada na fig. 1-1.

Assim, em total resultam:
 custos variáveis = 20%
 custos fixos = 80%

Estes números mostram que a disponibilidade de uma usina nuclear tem uma influência muito grande nos custos totais de geração.

Também pode-se deduzir que, no caso de uma central nuclear com disponibilidade maior comparada com outra tomada como referência (ambas operando a carga base) a igualdade de custos totais de geração, a primeira pode ter custos de investimentos maiores comparados com a segunda.

Do exemplo constante no Anexo I resulta que, com uma disponibilidade aumentada em 10%, o custo total de investimento pode ser 12% maior, considerando custos totais de geração iguais em ambos os casos.

Neste particular, é importante salientar que as centrais PWR da KWU, cuja tecnologia é básica para o Programa Nuclear Brasileiro, vêm apresentando desempenhos acima da média mundial dos demais PWR, como ficou constatado, por exemplo, também pela análise imparcial feita por duas universidades inglesas, a Universidade de Londres através do Imperial College of Science and Technology e a Universidade de Sussex.

CONCLUSÃO

Neste trabalho procurou-se evidenciar os fatores inerentes à construção e operação de centrais nucleares que têm influência sobre o custo final de geração.

No caso específico das usinas nucleares, ressaltamos a importância e a preocupação que se deve ter em adotar técnicas de gerenciamento e de construção que objetivem reduzir ao máximo possível os custos de investimento de capital, face a sua influência preponderante na composição do custo final de geração, em comparação com o de centrais térmicas convencionais.

Dentro deste mesmo aspecto, deve-se ressaltar a importância do cumprimento dos cronogramas estabelecidos, tendo em vista a alta incidência dos custos financeiros nos casos de empreendimentos de capital intensivo.

Outro fator importante no caso das usinas nucleares seria a padronização dos projetos, o que virá a contribuir efetivamente para redução dos custos de investimento de capital, face à consequente padronização da fabricação dos seus componentes, além de facilitar o processo de licenciamento. Esta padronização é uma das premissas do Programa Nuclear Brasileiro, cuja etapa atual se baseia na construção de oito usinas do padrão de Angra 2.

Além disso, como ficou demonstrado no exemplo, a disponibilidade da planta é um fator ponderável no cálculo de

seus custos de geração, compensando investimentos adicionais, até um certo limite, no sentido de se obter maior disponibilidade.

Literatura

Maurício Schulman - O Potencial Hidroelétrico Brasileiro - II Simpósio de Energia do Hemisfério Ocidental/Set. 80.

ANEXO I

Exemplos da influência do aumento da disponibilidade de uma central nuclear no seu custo de geração.

A : central considerada

B : central de referência

A central A apresenta uma disponibilidade média ao longo do período de amortização da central 10% superior a da central de referência B (por exemplo 77% ac invés de 70%).

Custos totais de geração $C_T = I_F + C_F + O_F + C_V + O_V$

$$I_F = \frac{I \times A}{8760 \frac{h}{a} \times D_m \times N}$$

$$C_F = \frac{C}{8760 \frac{h}{a} \times D_m \times N}$$

$$O_F = \frac{O}{8760 \frac{h}{a} \times D_m \times N}$$

I : Custo total de investimento de capital

I_F : Custos anuais fixos de capital

C : Custos fixos anuais de combustível

C_F : Custos fixos de combustível/kWh

C_V : Custos variáveis de combustível

O : Custos fixos anuais de operação

O_F : Custos fixos de operação/kWh

O_V : Custos variáveis de operação

D_m : Disponibilidade média anual

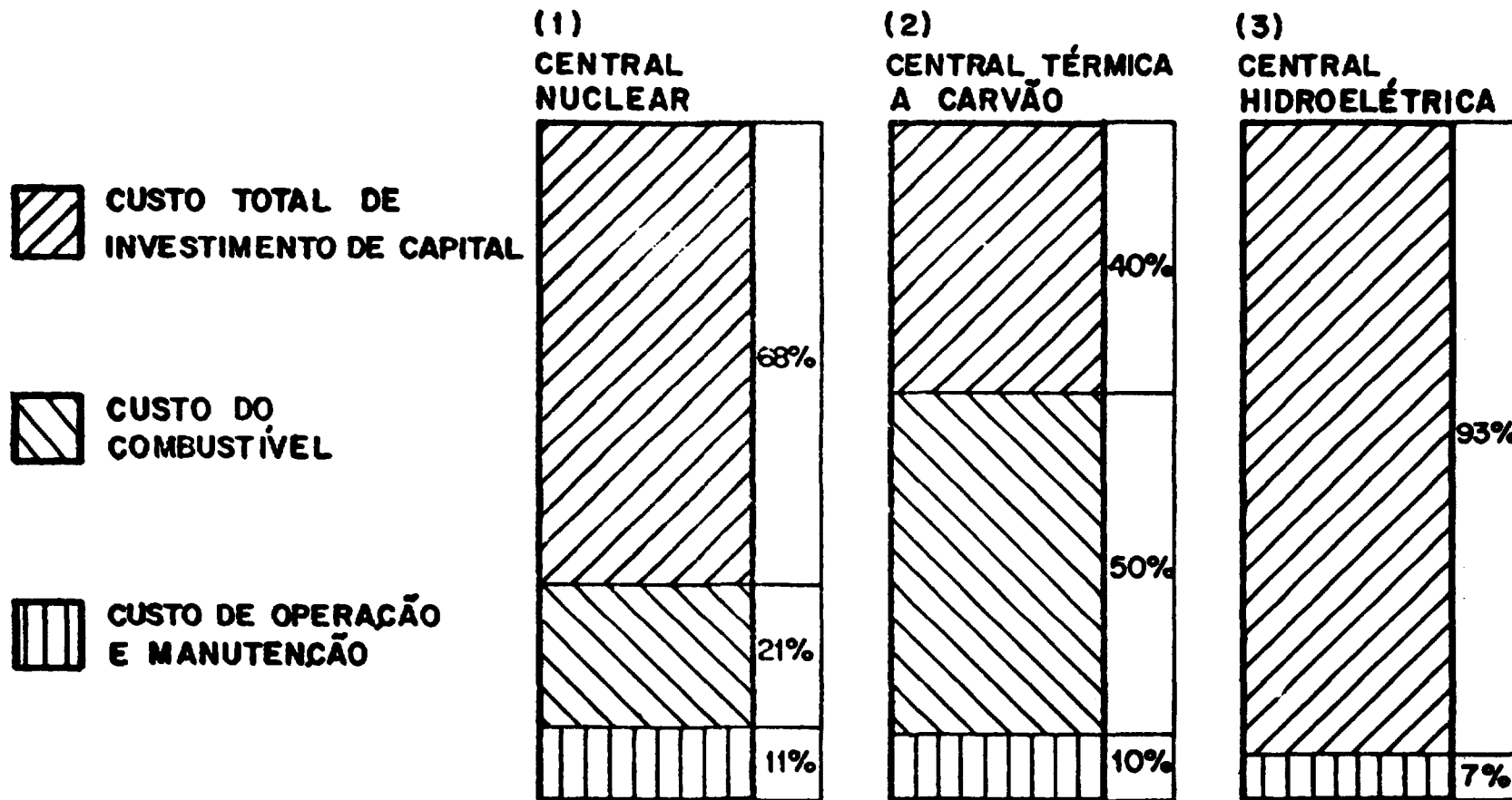
N : Potência elétrica líquida (kW)

A : Anuidade

h : hora

a : ano

Como mostra a figura 4-2, o custo total de investimento de capital da central A pode ser 12% superior ao custo total de investimento da central B, considerando-se que ambas centrais apresentam os mesmos custos totais de geração.



- (1) FATOR DE CAPACIDADE: 70 %
- (2) FATOR DE CAPACIDADE: 70% - CENTRAL DE BOCA DE MINA, CARVÃO DE STA. CATARINA
- (3) FATOR DE CAPACIDADE: 55 %

FIG. 1-1 - ESTRUTURA DO CUSTO DE GERAÇÃO

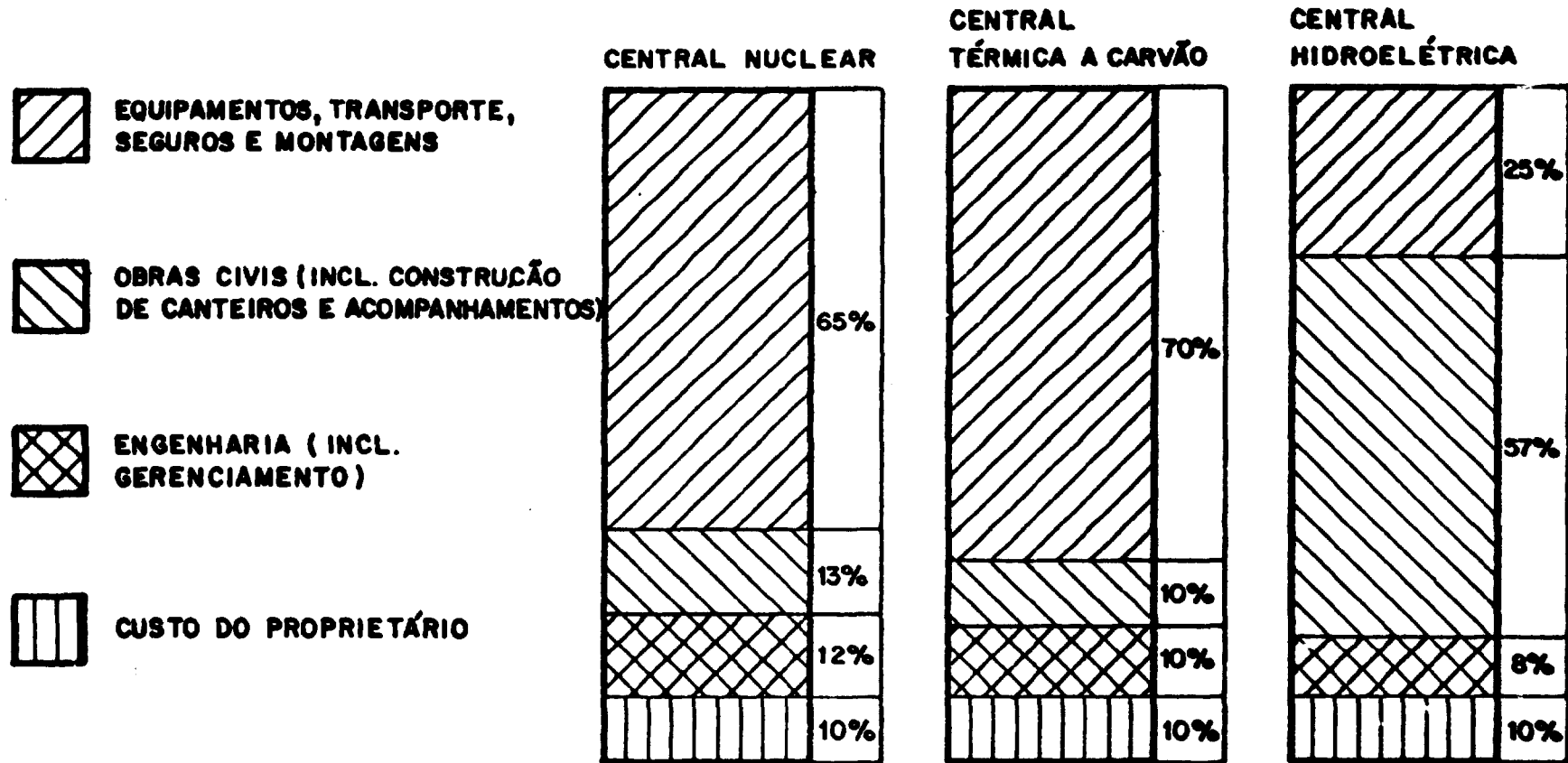
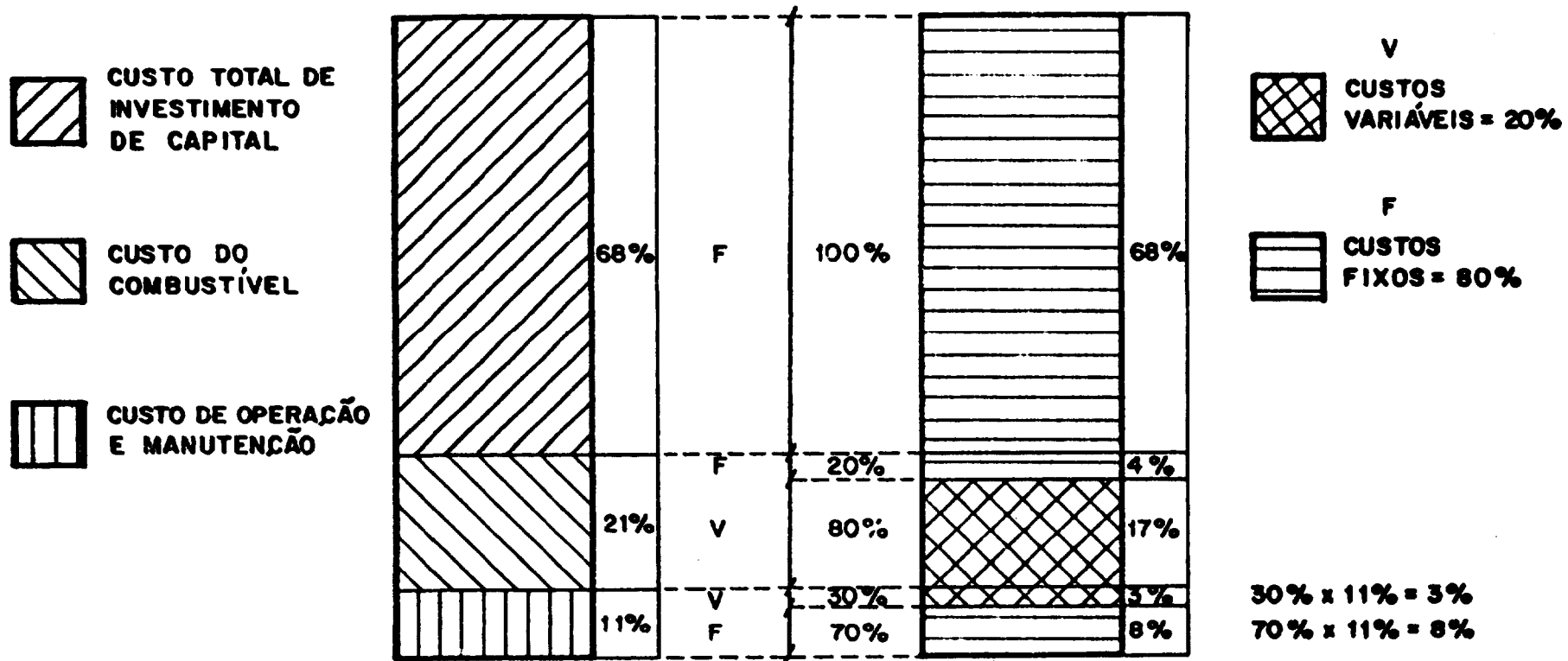


FIG. 3.1-1 - COMPOSIÇÃO DE CUSTO BÁSICO DE INVESTIMENTO



BC/8PT/10

FIG. 4-1 - CUSTO DE GERAÇÃO DE CENTRAL NUCLEAR
 (CUSTOS FIXOS E CUSTOS VARIÁVEIS)

CT_A : CUSTO TOTAL DE GERAÇÃO DA CENTRAL A
 CT_B : CUSTO TOTAL DE GERAÇÃO DA CENTRAL B
 CT_A = 100%

 CUSTO TOTAL DE INVESTIMENTO DE CAPITAL

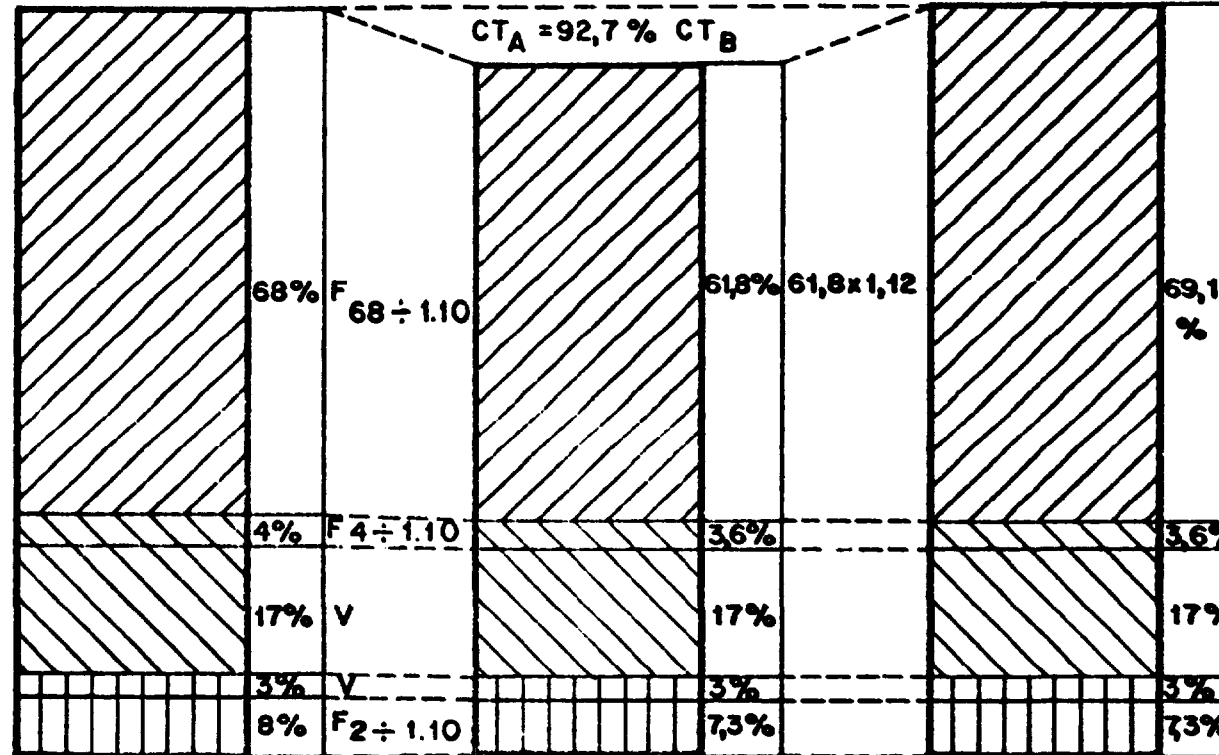
 CUSTO DO COMBUSTÍVEL

 CUSTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

F - FIXO

V - VARIÁVEL

CT_B = 100%



CENTRAL DE REFERÊNCIA B COM DISPONIBILIDADE DE REFERÊNCIA.

CENTRAL A COM DISPONIBILIDADE DE 10% SUPERIOR À CENTRAL B, COM IGUAIS CUSTOS TOTAIS DE INVESTIMENTO DE CAPITAL.

CENTRAL A COM DISPONIBILIDADE 10% SUPERIOR À CENTRAL B, COM CUSTOS DE INVESTIMENTO 12% SUPERIOR AOS CUSTOS DA CENTRAL DE REFERÊNCIA.

FIG.4-2 - INFLUÊNCIA DA DISPONIBILIDADE SOBRE OS CUSTOS TOTAIS DE GERAÇÃO DE UMA CENTRAL NUCLEAR