

## Energia hidrelétrica\*

LUIZ CLÁUDIO DE ALMEIDA MAGALHÃES\*\*

*1. Introdução; 2. Vantagens e desvantagens dos aproveitamentos hidrelétricos; 3. Energia hidrelétrica no Brasil; 4. Programa hidrelétrico brasileiro; 5. Política hidrelétrica nacional; 6. Conclusões.*

### 1. Introdução

O homem, desde seu surgimento na face da Terra, há milênios, vinha fazendo uso quase exclusivo da força animal e de sua própria força para sobreviver.

Há pouco mais de uma centena de anos, graças a sucessivas descobertas e invenções, passou o homem a utilizar, em ritmo crescente, novas formas de energia e máquinas por elas movimentadas.

Podemos delinear este período da história pela íntima correlação entre os índices de desenvolvimento da civilização e, coincidentemente, os índices de consumo de energia.

O conhecimento das atuais fontes econômicas de energia e a busca de novas outras é, portanto, um processo inevitável para a sobrevivência do homem, a fim de assegurar os níveis já atingidos pela civilização e possibilitar alcançar níveis mais elevados de desenvolvimento conforme suas aspirações.

As formas convencionais de produção de energia, que, economicamente, têm utilização em escala industrial, são, principalmente:

- a combustão dos elementos fósseis (minerais): petróleo, carvão, gás natural.
- a utilização dos potenciais hidráulicos.
- a fissão nuclear do urânio.

\* Conferência Pronunciada na Escola Superior de Guerra, em 21 de junho de 1977.

\*\* Ex-presidente das Centrais Elétricas de Furnas S.A.

Outras formas são possíveis, porém em menor escala ou ainda incipientes.

Das formas citadas, vamos ater-nos à que se refere o tema dado para a nossa palestra. a energia hidrelétrica, decorrente da utilização dos potenciais hidráulicos.

Desde os tempos primitivos, o homem utiliza a energia hidráulica em seu benefício, quando verificou que a força natural dos cursos de água, principalmente junto a cachoeiras ou corredeiras, podia girar as pás de uma roda acoplada, por exemplo, a um moinho. Essas aplicações eram evidentemente precárias, uma vez que o uso da energia tinha que ser realizado no próprio local da queda de água e, por outro lado, suas dimensões estavam limitadas pelos processos primários de fabricação da roda e de seu acoplamento (eixos, engrenagens, correias etc.).

Com o advento do uso da corrente elétrica, em fins do século XIX, foi possível transformar a energia hidráulica em uma nova forma de energia que podia ser transportada a grandes distâncias: surgiu, então, a energia hidrelétrica. Essa nova forma de energia, cujo termo híbrido exprime bem a simbiose entre a fonte primária e sua utilização, passou a predominar de tal forma, em consequência da vertiginosa evolução tecnológica, que, hoje em dia, pode-se afirmar que a energia hidráulica só é utilizada, em escala industrial, para a produção de eletricidade. Daí usarem-se, quase sem distinção, os termos energia hidráulica e energia hidrelétrica, indiferentemente, na prática.

De fato, o desenvolvimento dessa tecnologia possibilitou acoplar uma roda de água aperfeiçoada, de alta velocidade, a uma turbina, a um gerador de energia elétrica através de um eixo em instalação compacta, associados aos demais elementos de controle, regulador de velocidade, de tensão etc.

Em última análise, o que se utiliza é a energia potencial de um corpo em queda livre (no caso, um certo volume de água) que, conforme nos ensina a física, é medida pelo produto da massa do corpo pela altura da queda.

Assim, levando-se em conta as perdas hidráulicas e o rendimento do conjunto turbina/gerador, da ordem de 90%, a potência de uma usina hidrelétrica será dada, aproximadamente, pela fórmula

$$P = 0,0086 Q \times h$$

onde,

P = potência da usina em MW

Q = vazão média em m<sup>3</sup>/s

h = queda bruta, ou seja, a diferença entre o nível a montante e o nível a jusante (canal de fuga), em m.

Para facilitar a compreensão do que foi exposto, procuramos dar no anexo deste trabalho algumas noções gerais sobre a energia hidrelétrica, fator de carga, regularização através de reservatórios, etc.

A geração hidrelétrica e a capacidade instalada por região e principais países estão no quadro que se segue.

Tabela 1

*Energia hidrelétrica no mundo*

Regiões e países principais	Recursos hidráulicos (MW) <sup>1</sup>	Capacidade instalada (1971/1972) (MW) <sup>2</sup>	Geração Anual (1971/1972) (GWh) <sup>2</sup>
Europa ocidental	194.414	87.822	366.533
Estados Unidos	186.700	53.404	256.781
Canadá	94.500	32.501	178.169
URSS	269.000	31.500	123.000
Ásia (exceto Japão)	525.708	26.990	115.856
Japão	49.592	19.897	82.270
América Latina (exceto Brasil)	246.744	12.594	50.644
Brasil	120.000*	10.484	59.155
África	437.104	8.154	30.168
Oceania	36.515	7.509	28.897
Europa Oriental (exceto URSS)	20.993	6.176	15.784
<b>Total</b>	<b>2.290.901</b>	<b>307.131</b>	<b>1.307.257</b>

\* Brasil: 150.000MW (MME, 1967), 157.200MW (este trabalho).

Fontes:

<sup>1</sup> World Conference Survey of Energy Resources, 1974.

<sup>2</sup> ONU — World Energy Supplies, 1968/71.

A participação da energia hidrelétrica em alguns dos principais países, em relação à produção elétrica total, é a seguinte:

Tabela 2

*Participação da geração hidrelétrica — 1974*  
(28 países de maior produção de energia elétrica)

Países	%
Noruega	100
Brasil	92
Nova Zelândia	77
Suíça	77
Suécia	76
Canadá	75
Áustria	57
Iugoslávia	52
Finlândia	47
México	41
Venezuela	40
Espanha	38
Índia	34
França	32
Itália	27
Austrália	20
Japão	18
Argentina	17
Romênia	16
EUA	15
URSS	14
Tchecoslováquia	7
República Federal da Alemanha	6
Polônia	3
Reino Unido	2
República Democrática da Alemanha	2
África do Sul	1
Holanda	0

## 2. Vantagens e desvantagens dos aproveitamentos hidrelétricos

### 2.1 Aspectos técnicos e econômicos

Sob o aspecto técnico-econômico, a vantagem mais evidente da energia hidrelétrica (em regiões com condições hidrográficas e de relevo favoráveis, e cujo potencial ainda não foi inteiramente explorado) é o seu baixo custo de geração — a tal ponto que indústrias de alto consumo de eletricidade, em que o preço da energia representa fração importante dos custos de produção, como a de alumínio, da polpa e do papel, dos fertilizantes nitrogenados, tenderam a concentrar-se, desde a primeira metade do século, em áreas ou países de predominância hidrelétrica: Canadá, Noruega, certas regiões dos EUA etc. Essa vantagem é ainda complementada pela flexibilidade de operação e alto nível de confiabilidade característicos das máquinas hidrelétricas, que se refletem diretamente em termos de confiabilidade do sistema e qualidade de serviço.

Mas a energia hidrelétrica tem certas desvantagens técnicas inerentes e que devem ser levadas em conta durante o planejamento e a operação do sistema.

A primeira desvantagem reside no fato de que a usina hidrelétrica deve ser construída junto à fonte e não junto à carga, isto é, não há flexibilidade para deslocá-la, pois os cursos de água estão em locais fixos, onde a natureza os colocou. À medida que os aproveitamentos economicamente viáveis vão sendo construídos, os demais tendem a se afastar cada vez mais do consumo, aumentando o seu custo, acrescidos por linhas de transmissão cada vez mais longas.

As usinas térmicas convencionais ou nucleares podem ser construídas junto à carga, o mais próximo possível do consumo, pois a matéria-prima é economicamente transportável.

A segunda desvantagem está ligada ao longo prazo necessário para a maturação dos investimentos: a construção de uma usina hidrelétrica de grande porte pode estender-se por um período de cinco a sete anos, aos quais se devem acrescentar pelo menos um ou dois anos para o projeto e engenharia e dois ou três de estudos preliminares, o que conduz a um horizonte de planejamento de oito a doze anos.

Outra desvantagem séria, principalmente nos países em desenvolvimento, carentes de capital, é o alto investimento exigido para a construção da usina, do reservatório de acumulação, de linhas de transmissão para interligação ao sistema, e de toda a infra-estrutura necessária (estradas, comunicações, acampamento provisório, vila de operadores etc.). A indústria de energia hidrelétrica é essencialmente de capital intensivo.

A operação de uma usina hidrelétrica, em compensação, envolve custos anuais relativamente pequenos, mas está, por sua vez, sujeita a uma limitação fundamental: a capacidade de geração da usina, em um determinado período, dependerá sempre da quantidade de água afluente ao reservatório, a qual varia de forma aleatória, e não pode ser prevista com precisão. De

uma certa forma, a geração da usina depende dos caprichos da natureza (assim como a produção do parque industrial, que depende dessa energia, e a receita da empresa operadora). Graças, no entanto, aos instrumentos teóricos fornecidos pela hidrologia estatística, pelos métodos de programação matemática e pela teoria da decisão sob incerteza, é possível desenvolver modelos matemáticos, programados em computador, para a operação racional do sistema (utilizando-se a energia acumulada nos reservatórios ou a complementação térmica) que permitem assegurar um nível global de garantia de suprimento pelo menos equivalente ou mesmo superior ao dos sistemas puramente térmicos (onde a maior incerteza deriva da indisponibilidade das instalações, decorrente de acidentes ou falhas de componentes e sistemas).

Pode-se citar que Furnas, como empresa federal de caráter regional, controlando a maior parte da capacidade de armazenamento hidráulico, da complementação térmica e dos sistemas de interligação da Região Sudeste, teve que se preocupar, desde o início de suas operações, com esse problema.

Uma equipe altamente qualificada de especialistas foi reunida e, durante anos, somas consideráveis foram investidas em estudos, pesquisas e desenvolvimento de modelos e programas de computador. Graças a este trabalho pioneiro e à troca de experiência com outras grandes empresas nacionais que realizaram esforço semelhante, Furnas dispõe hoje de um *know-how* próprio, constituído de equipes treinadas e de modelos e programas de computador extremamente sofisticados, em nível equivalente ao de qualquer outra grande empresa elétrica do mundo, e pode assim garantir, no dimensionamento e na operação de seu sistema, a confiabilidade indispensável.

## 2.2. Aspectos ambientais — ecossistema

A produção de energia utilizável pelo homem representa sempre uma ação sobre o meio físico, com inevitáveis modificações, mais ou menos extensas, das condições ambientais e do sistema ecológico. Em alguns casos, tal ação pode provocar um dano ao sistema. Esse dano deve ser minimizado ou, quando possível, evitado; em outros casos, a modificação pode ser benéfica, levando o sistema a uma nova situação de equilíbrio natural mais desejável que a existente antes da ação humana.

De todas as fontes de energia à nossa disposição, o uso indiscriminado da lenha e do carvão vegetal, como praticado atualmente no País, é especialmente danoso, sob o ponto de vista ecológico, por significar a devastação de reservas florestais para uma utilização tão pouco nobre como é a lenha ou o carvão vegetal. O processo de carvoejamento racional, associado ao aproveitamento para uma indústria carboquímica com base em reflorestamento, talvez fosse economicamente viável em competição com o aproveitamento para a indústria de celulose, experiência ainda não realizada no Brasil.

A produção, o transporte e a final utilização dos combustíveis fósseis implicam graves problemas ecológicos: a primeira, porque pode acarretar a destruição paisagística de vastas regiões; o transporte, por congestionar vias de comunicação e envolver riscos ambientais em casos de acidente; e a utilização final, porque pode ocasionar a poluição da atmosfera em face do desprendimento de gases, a poluição térmica das águas pelo calor residual, e a poluição da paisagem pelas cinzas e resíduos da combustão.

A energia nuclear, em vista dos seus riscos inerentes, exige medidas e cuidados especiais, de custo elevado, tecnologia sofisticada e administração altamente especializada, de forma a se ter o elevado grau de segurança exigido pelos organismos internacionais incumbidos de sua fiscalização.

A geração hidrelétrica não apresenta nenhum dos problemas típicos dos processos de combustão, nem os riscos inerentes à energia nuclear, mas a atividade de construção de barragens e usinas e, principalmente, a criação de grandes reservatórios, interfere em maior ou menor grau com o sistema ecológico e com a estrutura sócio-econômica da área.

O nível desta interferência e as modificações induzidas no sistema devem ser avaliados em cada caso, a fim de desenvolver e valorizar as modificações benéficas, e evitar ou minimizar as modificações negativas. A experiência brasileira tem demonstrado que, na maior parte dos casos, consegue-se um balanço final positivo.

Assim, em regiões pouco desenvolvidas, a construção de uma usina hidrelétrica pode desorganizar o antigo sistema sócio-econômico, mas geralmente é um elemento de inovação e dinamização econômica e cultural; em alguns casos, o reservatório pode fazer desaparecer uma queda de água ou outra beleza natural, mas o lago artificial formado oferece amplas possibilidades desportivas e recreacionais e poderá constituir-se em pólo de atração turística (citem-se, como exemplo, o reservatório de Guarapiranga, em São Paulo, e o Plano de Desenvolvimento da área do reservatório de Furnas, realizado em convênio com o Estado de Minas Gerais). Inundam-se terras agrícolas, mas um programa de povoamento do reservatório com peixes, cientificamente planejado (como vem sendo executado, em caráter experimental, na Usina de Furnas) pode levar a uma produção de proteínas capaz de compensar a anteriormente advinda da atividade agrícola ou pastoril, a par dos aspectos de lazer e de turismo decorrentes.

Em reservatórios de grande volume de água existe o risco, muito raro, da ocorrência de tremores de terra, imediatamente após o seu enchimento, devido à acomodação das camadas inferiores do maciço sob o peso da água acumulada; as águas paradas a montante podem ainda propiciar a proliferação de insetos transmissores de doenças, o que, no entanto, é passível de ser controlado.

Deve-se observar, finalmente, que a operação do reservatório, visando à otimização da produção de energia elétrica, levará naturalmente à regularização das vazões do rio, evitando-se os fenômenos de enchentes ou de secas prolongadas e propiciando, portanto, um benefício real e mensurável às populações e mesmo ao ecossistema a jusante.

Em conclusão, pode-se afirmar que a construção de uma usina hidrelétrica e a criação de seu reservatório de acumulação provocam interações importantes com o ecossistema e só a análise pormenorizada dos diversos componentes desta complexa interação permite avaliar, em cada caso, se a resultante global é positiva ou negativa, comparando-se estes custos ou benefícios indiretos com os seus custos e benefícios diretos.

### 2.3 Aspectos estratégicos

Sob o ponto de vista global, é fundamental distinguir as fontes renováveis (cuja utilização implica a valorização de um recurso natural, sem o destruir) e não-renováveis (cuja utilização representa uma redução na herança global que cada geração lega às suas sucessoras; o surgimento de novas tecnologias e mudanças de objetivos poderiam ensejar melhor uso da parcela subtraída).

Uma política energética coerente deve, portanto, visar prioritariamente à utilização de fontes renováveis e, nesse grupo, a energia hidrelétrica ocupa lugar privilegiado, por ser a única acessível, em escala industrial e a baixo custo, com a tecnologia atualmente disponível.

Dentro de um contexto estratégico global, o aspecto da segurança nacional tem, evidentemente, importante consideração na análise de integração de um projeto hidrelétrico ao sistema. A título de exemplo, citaremos os estudos de viabilidade dos projetos de Salto da Divisa/Itapebi, no Rio Jequitinhonha, divisa dos estados de Minas Gerais e Bahia, e o de Ilha Grande (Guaíra) na divisa Paraná/Mato Grosso.

Ambos foram estudados por Furnas e, na escolha da alternativa final, pesaram consideravelmente os aspectos da segurança nacional e da interação usina/meio.

O aproveitamento Salto da Divisa/Itapebi é um projeto estratégico que permitirá interligar os sistemas elétricos das Regiões Sudeste e Nordeste, garantindo o suprimento aos projetos industriais que se estão estabelecendo nessa região, hoje supridos apenas por uma fonte de energia hidráulica proveniente do rio São Francisco; além disto, deverá agir como elemento de dinamização da economia de uma das regiões mais pobres do País, o Vale do Jequitinhonha, no estado de Minas Gerais. A energia que deverá fluir na linha de transmissão Vitória/Itapebi/Salvador é de alto interesse para o grande sistema de interligação nacional.

Os estudos de viabilidade de Ilha Grande, no rio Paraná, indicavam como mais econômica, entre outras, uma alternativa de se construir um único aproveitamento na localidade de Guaíra que, no entanto, provocaria a inundação de mais de 10.000km<sup>2</sup> de terras, criando um lago artificial de 200km no eixo maior e 50km no eixo menor. Optou-se, então, pelo aproveitamento da queda natural em dois projetos — Ilha Grande e Porto Primavera — com dois lagos menores e que permitiam o acesso fácil pelas rodovias e ferrovias das regiões de cada margem. Esse aproveitamento, com um único reservatório, praticamente colocaria o futuro estado de Mato

Grosso do Sul isolado do restante da Região Sul/Sudeste do País, trazendo óbvias implicações negativas quanto aos aspectos sociais, econômicos e políticos. A decisão por dois aproveitamentos, mesmo apresentando certa elevação nos custos do kW instalado, passou a se justificar tendo em vista o interesse global e estratégico do projeto.

### 3. Energia hidrelétrica no Brasil

#### 3.1 Potencial hidrelétrico brasileiro: sua distribuição regional

As informações disponíveis mais recentes permitem estimar que o potencial hidráulico brasileiro, quando totalmente aproveitado, em condições econômicas, poderá representar uma capacidade firme de produção de cerca de 740TWh/ano, correspondentes à instalação de cerca de 160 mil MW em usinas hidrelétricas, operando, portanto, com um fator de capacidade, em período seco, de aproximadamente 0,50.

Tabela 3

*Capacidade firme de geração e capacidade instalada prevista*

	Energia firme (TWh/ano)	Capacidade (GW)
<i>Norte</i>	327,7	72,0
Tocantins-Araguaia	71,4	16,3
Xingu	64,0	14,6
Tapajós	63,6	14,5
Madeira	21,9	5,0
Cotingo	3,9	0,9
Outros afluentes (Amazonas)	67,9	15,5
Bacias costeiras	3,9	0,9
<i>Nordeste</i>	57,3	14,5
São Francisco	54,4	13,9
Bacias costeiras	3,9	0,9

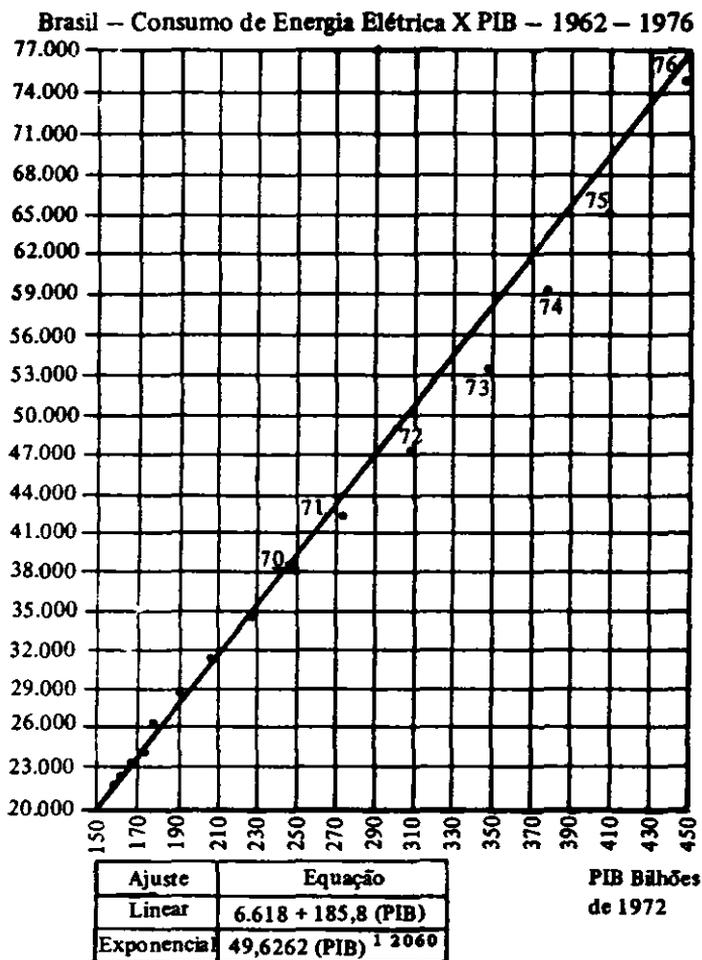
	Energia firme (TWh/ano)	Capacidade (GW)
<i>Sudeste/Centro-Oeste</i>	188,9	44,5
Paraná	58,6	13,3
Paranaíba	37,2	8,8
Grande	34,6	8,0
Doce	14,1	2,7
São Francisco	11,5	2,4
Jequitinhonha	9,7	2,8
Paraíba e bacias costeiras	23,2	6,5
<i>Sul</i>	120,6	26,2
Iguaçu	37,6	9,8
Uruguai	27,3	5,6
Jacuí	5,0	1,1
Outras bacias	3,8	0,8
Trecho internacional Paraná e Uruguai (50%)	46,9	8,9
<i>Brasil</i>	739,5	157,2

### 3.2 Consumo de energia elétrica: mercado

Como vimos anteriormente, existe íntima correlação entre o consumo total de energia e o nível de desenvolvimento industrial dos países. No caso da

energia elétrica, esta correlação mais se acetua; no Brasil, é uma característica básica de nosso processo de desenvolvimento.

Gráfico 1



Fonte: Eletrobrás – DNAEE – FGV

No ano de 1976, cerca de 76% do consumo de eletricidade se concentraram na Região Sudeste, 11% na Região Nordeste e 12% na Região Sul; a Região Norte representou pouco mais de 1% do consumo total.

## Gráfico 2

### Distribuição regional do consumo – 1976



O consumo total, em 1976, atingiu cerca de 75TWh, o que dá um consumo *per capita* de aproximadamente 680kWh/hab./ano, extremamente baixo, quando comparado com a média mundial (1.000kWh/hab./ano).

Se considerarmos isoladamente a Região Sudeste do Brasil, seus índices (1.155kWh/hab./ano) são bastante expressivos e podem comparar-se favoravelmente com a média mundial.

Em uma visão mais dinâmica do problema, no entanto, pode-se observar que o País tem mantido e deverá manter, nos próximos anos, taxas de crescimento do consumo que figuram dentre as mais elevadas do mundo, o que tende a reduzir a sua defasagem em relação aos países mais desenvolvidos.

Tabela 4  
Consumo 1976

Região	TWh	(%)
Norte	1	1,5
Nordeste	8	10,9
Sudeste	57	75,7
Sul	9	11,9
Brasil	75	100,0

### 3.3 *Projeção do consumo: necessidades futuras*

Estudos realizados pela Eletrobrás e suas subsidiárias permitem estimar que o consumo brasileiro atinja mais de 740TWh, no ano 2000. Nessa ocasião, as diversidades regionais de consumo terão sido reduzidas, mas serão ainda acentuadas, e o quadro nacional não será muito diferente do de hoje.

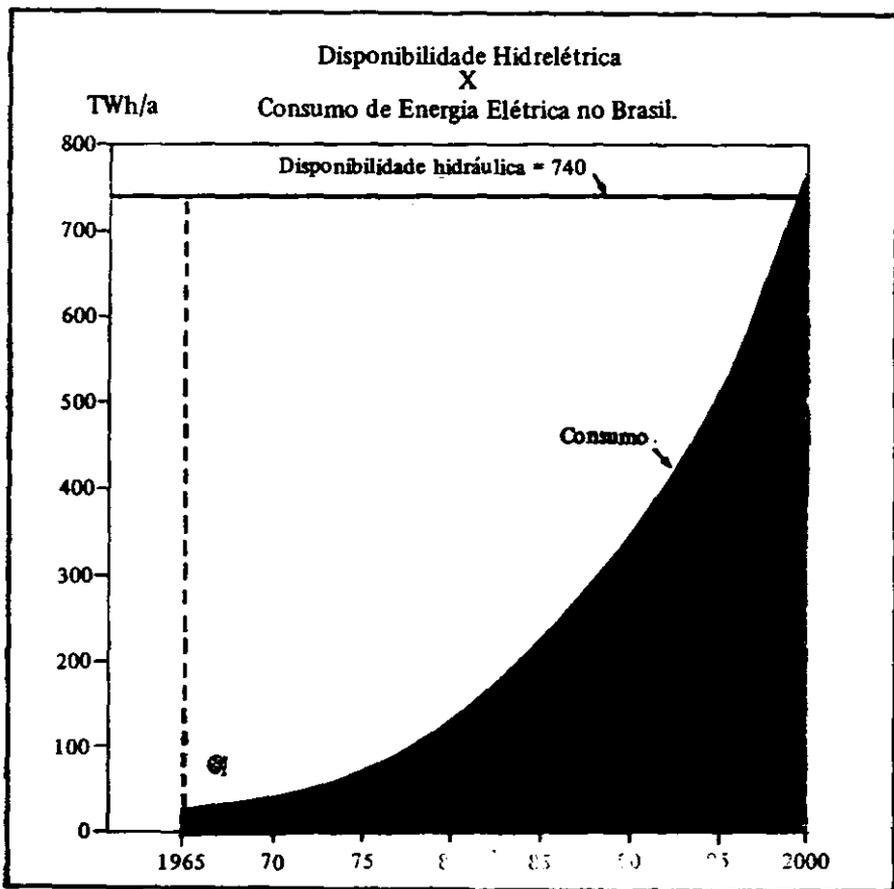
Tabela 5  
Consumo de energia elétrica

N.ºs do DEME — Eletrobrás

Regiões	1976		2000	
	TWh	(%)	TWh	(%)
Norte	1	1,5	42	6
Nordeste	8	10,9	156	21
Sudeste + Centro-Oeste	57	75,7	438	59
Sul	9	11,9	112	15
Brasil	75	100,0	748	100

A comparação do potencial hidrelétrico nacional indicado no quadro, com a projeção do consumo, mostra que, sob um ponto de vista global, todas as necessidades brasileiras em energia elétrica poderiam ser atendidas, até o fim do século, utilizando-se exclusivamente a energia hidrelétrica.

Gráfico 3



A geomorfologia brasileira é tal que os recursos hidráulicos são espalhados por todo o País, com certa predominância na Região Norte, onde se situa a maior bacia hidrográfica do mundo, a do rio Amazonas.

O potencial hidráulico está sendo utilizado de acordo com as necessidades do mercado, levando-se em consideração as distâncias de transmissão até os centros de carga. Esse potencial é, hoje, bem conhecido, excetuados certos tributários do Amazonas e outros rios situados em áreas remotas que

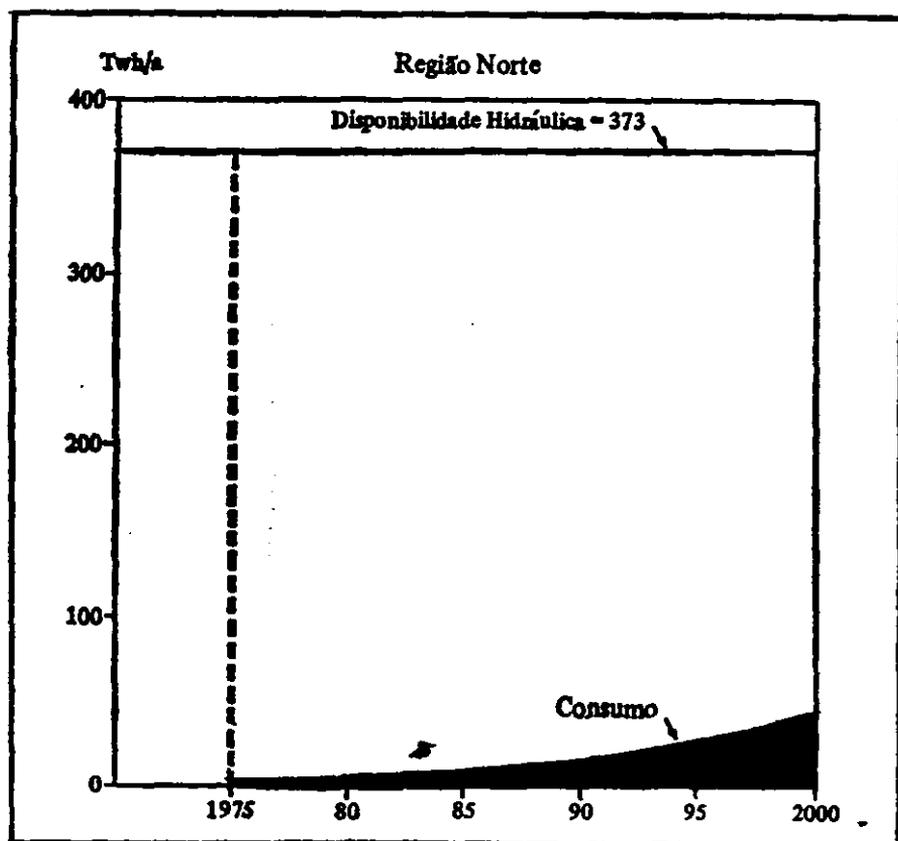
ainda não foram investigadas. Um completo levantamento da Região Norte está sendo realizado atualmente.

Assim, se todos os aproveitamentos fossem executados, a produção de energia hidrelétrica tenderia a estabilizar-se em torno de 740TWh, enquanto o consumo continuaria a crescer, passando o excedente a ser atendido por outras fontes de produção de energia elétrica.

### 3.4 Distribuição regional do potencial e do consumo

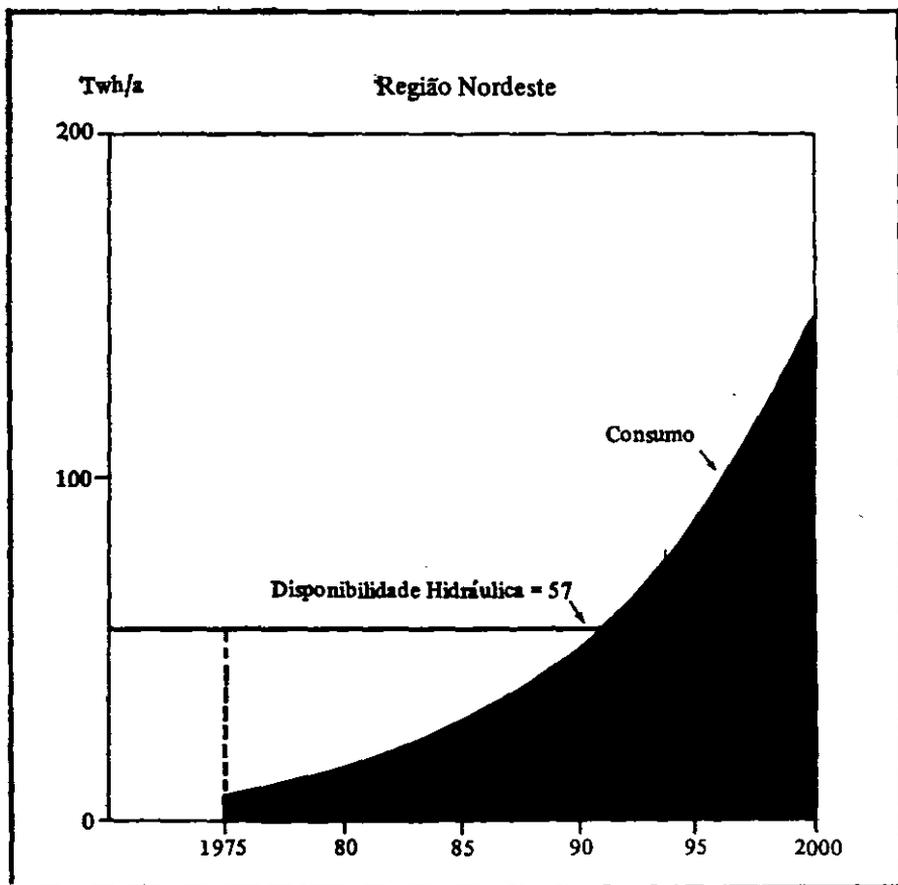
É evidente, porém, que o potencial hidrelétrico deverá ser utilizado de acordo com as necessidades do consumo nas diversas regiões, levando-se em consideração as distâncias de transmissão até os centros de carga e as correlações com o desenvolvimento regional.

Gráfico 4



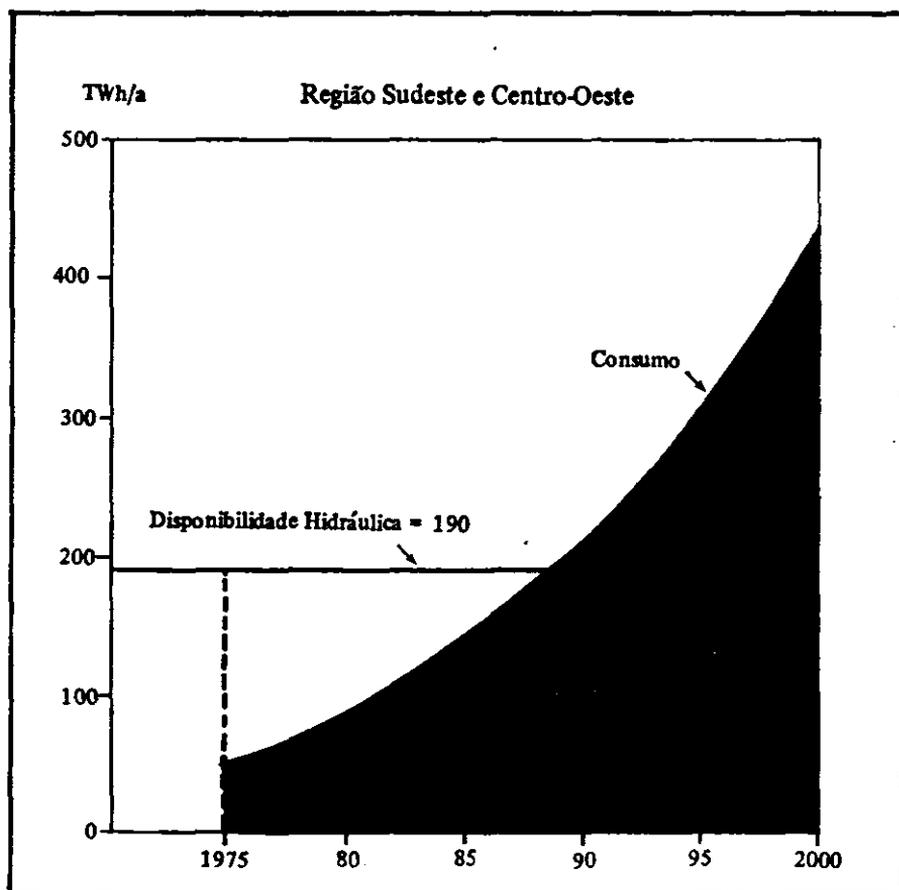
Se nos detivermos a analisar a distribuição geográfica do potencial hidráulico brasileiro, em relação ao consumo de eletricidade nas diversas regiões, poderemos verificar que o ponto fundamental do problema é a concentração do consumo de eletricidade na Região Sudeste, enquanto uma parcela ponderável do potencial hidráulico situa-se no Norte (Amazônia), região de menor consumo do País.

Gráfico 5



Assim, por volta de 1990, as Regiões Sudeste e Nordeste passarão a apresentar um balanço energético deficitário (em relação à geração hidrelétrica local), enquanto o Sul terá ainda certa disponibilidade de recursos no fim do século e a Região Norte terá ainda um balanço energético tranqüilo.

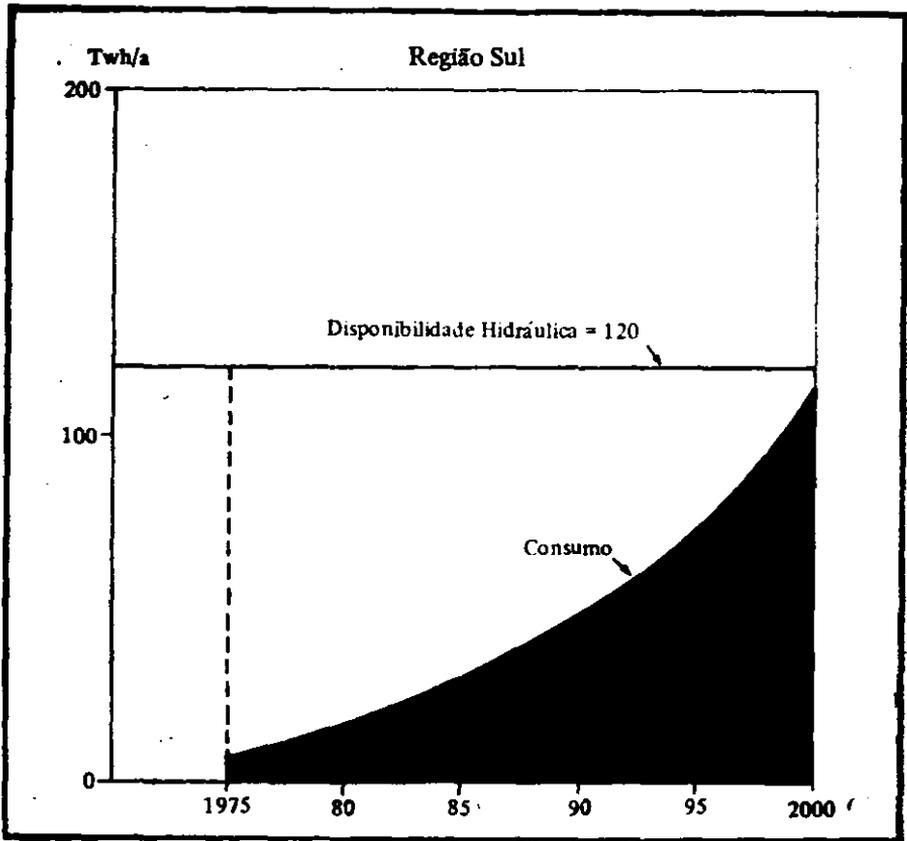
Gráfico 6



O déficit energético das Regiões Sudeste e Nordeste no fim do século teria que ser suprido por meio de investimentos extremamente pesados em linhas de transmissão ligando os centros de carga dessas regiões aos potenciais ainda disponíveis nas Regiões Sul e Norte, investimentos que se tornariam ociosos à medida que se desenvolvesse o consumo nessas regiões. No caso da Região Sul, pode-se prever que todo o excedente de produção seria absorvido pelo seu próprio consumo até o fim do século.

Um programa baseado em uma única fonte de suprimento teria reduzida sua flexibilidade em termos de planejamento e de execução, e seria demasiado vulnerável a eventuais crises setoriais ligadas ao suprimento de matérias-primas ou à prestação de serviços. Finalmente, a falta de complementação termelétrica no sistema, reduzindo a flexibilidade de operação, não permitiria todos os benefícios da operação coordenada.

Gráfico 7



A complementação do programa hidrelétrico por usinas termelétricas é, assim, uma necessidade econômica básica no desenvolvimento do setor.

As reservas conhecidas de carvão, na Região Sul, deverão ser utilizadas mais intensivamente que até agora para atender a essa necessidade, levando-se em conta, ainda, a sua localização, a qualidade do carvão produzido, os custos de produção e as necessidades do programa siderúrgico nacional. Considerando-se que a utilização intensiva do petróleo para a geração de energia elétrica seria totalmente injustificável em face da atual conjuntura internacional, parece evidente que a geração nuclear deverá assumir um caráter prioritário, especialmente na Região Sudeste e, talvez, um pouco mais tarde, na Região Nordeste, como fonte alternativa e complementar para a geração de energia elétrica. Dessa forma, a utilização racional de nosso potencial hidráulico, nos próximos 15 ou 20 anos, exigirá a interligação dos atuais sistemas regionais e transferências importantes de energia entre os mesmos; os novos aproveitamentos hidrelétricos situar-se-ão pre-

dominantemente nas Regiões Sul e Nordeste, no início, e Norte em seguida, afastando-se cada vez mais dos grandes centros de consumo, o que elevará o custo do kW instalado, devido à necessidade de grandes linhas de transmissão (de 1.000 a 2.000km) e a problemas de construção em locais remotos.

#### 4. Programa hidrelétrico brasileiro

##### 4.1 Situação atual

Para se ter uma idéia da evolução da energia hidrelétrica, seria interessante observar a evolução da capacidade instalada no país desde o seu início. Assim, temos a seguinte tabela:

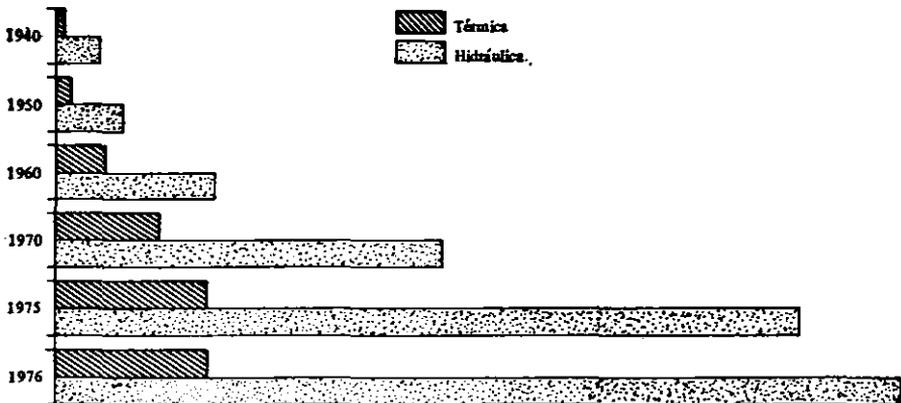
Tabela 6

*Energia elétrica — capacidade instalada — registro histórico*

Ano	Termo MW	(%)	Hidro MW	(%)	Total MW
1900	5	50	5	50	10
1910	33	21	124	79	157
1920	66	18	301	82	367
1930	149	19	630	81	779
1940	235	19	1.009	81	1.244
1950	345	18	1.536	82	1.881
1960	1.158	24	3.642	76	4.800
1970	2.405	21	8.828	79	11.233
1975	3.454	17	16.721	83	20.175
1976	3.454	15	18.954	85	22.408

Gráfico 8

Energia elétrica – capacidade instalada  
Registro histórico



Do total atual de 18.954MW, as principais hidrelétricas em operação (acima de 500MW), são, por região:

Tabela 7

Potência instalada nominal  
MW — 1976

Hidrelétricas			
Regiões	Usinas (Empresas)	MW	MW
Norte			40
Nordeste			1.850
Sudeste/Centro-Oeste	Paulo Afonso (CHESF)	1.524	15.264
	Ilha Solheira (CESP)	2.423	
	Jupiá (CESP)	1.411	
	Marimbondo (Furnas)	1.440	
	Furnas (Furnas)	1.216	
	Estreito (Furnas)	1.050	
Sul			1.800
Total			18.954

Fonte: MME

## 4.2 Novas centrais hidrelétricas e interligação regional

Conforme se viu anteriormente, tudo indica que, nos próximos 20 anos, o programa nacional de eletrificação deverá visar ao objetivo de criação de um sistema interligado em escala nacional, de forma a preparar uma infra-estrutura adequada para um desenvolvimento baseado essencialmente na utilização do potencial hidráulico da Amazônia e na expansão da geração nuclear junto aos centros de carga, complementados por projetos hidrelétricos locais, ainda disponíveis, principalmente para suprimento de ponta e por complementação térmica a carvão.

Os programas, já em execução ou em fase adiantada de projeto, de construção de grandes centrais hidrelétricas, em cada um dos quatro sistemas regionais, representam cerca de 34 mil MW a instalar (a serem comparados com cerca de 22 mil MW já em operação), e constituirão a base de expansão do sistema elétrico brasileiro nos próximos 10 anos.

Tabela 8

*Programa 1978/87 — Aproveitamentos hidrelétricos em construção*

Usina	Capacidade (MW)	Instalada (MW)
<i>Região Norte</i>		4.080
Tucuruí (1ª etapa)	3.960	
Couto de Magalhães	120	
<i>Região Nordeste</i>		3.840
Paulo Afonso IV (1ª Etapa)	2.950	
Sobradinho	890	
<i>Região Sudeste + Centro Oeste</i>		7.917
Divisa/Itapebi	1.157	
São Simão	2.680	
Água Vermelha	1.380	
Itumbiara	2.100	
Emborcação	600	
<i>Região Sul</i>		18.400
Salto Osório	1.050	
Itaúba	500	
Foz do Areia	2.250	
Salto Santiago	2.000	
Itaipu	12.600*	
Total Brasil		34.237

\* 50% desta capacidade, correspondentes à cota do Paraguai, serão adquiridos pelo Brasil enquanto o mercado paraguaio não tiver condições de absorvê-los.

Merece destaque especial, neste programa, o aproveitamento binacional de Itaipu, com 12.600 mil kW, cuja energia será transportada principalmente para a região de São Paulo, a 800km de distância, através de pesados circuitos de 765kV, estando a construção desta linha a cargo de Furnas. Esta usina será a maior hidrelétrica do mundo, e suas linhas de transmissão constituirão o maior projeto deste tipo em construção na época, também no âmbito mundial. Para se dar uma idéia do vulto deste investimento, a ser feito por Furnas, cerca de US\$1,5 bilhão (1976), basta dizer que é equivalente a todo o investimento feito por Furnas desde a sua criação (1957) até 1976.

O primeiro circuito deste sistema entrará em operação em 1981, assegurando a interligação dos sistemas sul e sudeste. No ano seguinte, segundo os programas atuais, poderá entrar em operação o sistema de transmissão associado ao projeto Salto da Divisa/Itapebi, no rio Jequitinhonha, também a cargo de Furnas e que, ligando esta usina a Vitória e a Salvador, realizará a interligação dos sistemas sudeste e nordeste. Como, também, em 1982, o primeiro circuito do sistema de transmissão da Usina de Tucuruí, da Eletronorte, no rio Tocantins, realizará a interligação norte-nordeste, pode-se dizer que, já em 1982, embora ainda de forma embrionária (devido à capacidade ainda restrita de alguns elos dessas interligações), o Brasil estará operando um único sistema elétrico interligado, um dos maiores e mais extensos do mundo, estendendo-se de Belém a Porto Alegre, no sentido norte/sul, e de Vitória a Corumbá, no sentido leste/oeste.

## 5. Política hidrelétrica nacional

A primeira central hidrelétrica brasileira, a Usina Bernardo Mascarenhas, de 250kW, entrou em operação em Juiz de Fora, em 1889, seis anos após a Usina Termelétrica de Campos e dez anos depois de a primeira usina geradora ligada a um sistema elétrico ter sido construída por Edison, em Nova Iorque.

Durante as décadas seguintes, diversos pequenos sistemas locais se desenvolveram, no Brasil, a maior parte através da iniciativa privada ou municipal, e dois sistemas maiores, já de âmbito regional, ambos de capital estrangeiro, o grupo Light, no Rio e em São Paulo, e o grupo AMFORP, nas principais capitais dos estados e nas cidades mais importantes do interior.

Após a II Guerra Mundial, por diversas razões, a iniciativa privada, nacional e estrangeira, começou a se mostrar inapta a manter o ritmo de desenvolvimento que a industrialização acelerada exigia do setor elétrico e a liderança no desenvolvimento do setor foi assumida pelos governos estaduais (destacando-se entre outras a criação da Cemig, em Minas Gerais-1952) e pelo governo federal (CHESF-1945), que procuraram equacionar o crescimento do setor em uma visão mais global, que incluiria sua interação com o processo de desenvolvimento nacional. Essa ten-

dência se ampliou e se afirmou em outras iniciativas federais, destacando-se as de Furnas, em 1957, e da Eletrobrás, em 1961. Destaca-se, também, neste período, a realização do planejamento global do Comitê Coordenador dos Estudos Energéticos do Centro-Sul, em 1962/66, que contou com a colaboração financeira da ONU.

Uma das características deste planejamento global foi a volta à prioridade da construção de grandes usinas hidrelétricas (Paulo Afonso, Três Marias, Furnas) e da interligação dos sistemas, abandonando-se as pequenas usinas térmicas que tinham sido intensivamente utilizadas para suprimento aos sistemas locais.

Simultaneamente, a engenharia nacional absorvia experiência em projeto de instalações hidrelétricas e na execução de todas as obras civis e da montagem eletromecânica; a indústria nacional assumia a fabricação dos equipamentos; as empresas de eletricidade organizavam suas equipes técnicas de construção e operação e sua infra-estrutura administrativa e de apoio; e os órgãos superiores de decisão desenvolviam técnicas de planejamento e controle.

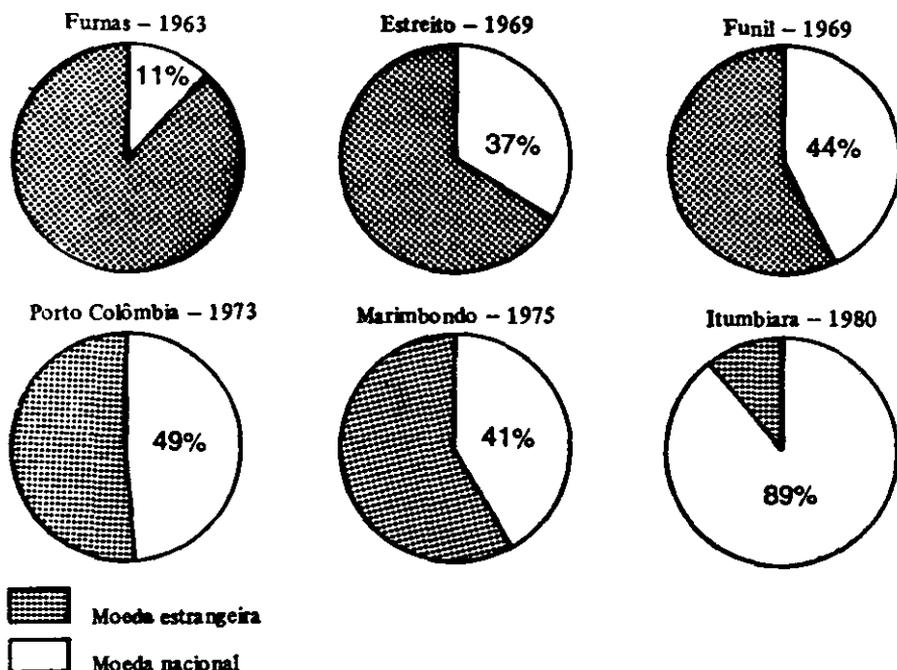
Hoje, a capacidade hidrelétrica instalada no Brasil ultrapassa 18.000MW e 92% da energia elétrica entregue ao consumo são de origem hidráulica. Todo o projeto básico e todos os estudos de consultoria são realizados no Brasil, e as firmas de consultoria brasileiras começam a exportar o seu *know-how*, realizando projetos em outros países da América Latina e da África; as firmas de construção civil brasileiras atingem nível internacional, em relação às suas dimensões e à qualidade de seus serviços, e também participam ativamente de projetos hidrelétricos no exterior; a indústria nacional fornece 90% dos equipamentos de uma usina de grande porte, como Itumbiara; as grandes empresas elétricas brasileiras, como Furnas, Cemig, CHESF e CESP, dentre outras que compõem o Grupo Eletrobrás, são conhecidas e acatadas internacionalmente, pelo elevado nível de suas equipes técnicas, pela competência demonstrada na construção e na operação do sistema, pela eficiência administrativa, pela qualidade de seu planejamento técnico e financeiro.

O crescimento da indústria nacional de equipamentos elétricos e mecânicos pode ser visualizado quando se compara a participação nacional nos equipamentos da Usina de Furnas, inaugurada em 1963, com a correspondente a Itumbiara, que deverá entrar em operação em 1980: em 17 anos, o índice de nacionalização passa de 11% para 90%.

É justo, pois, que a esta altura de nossa exposição, se possa indagar: como se situa, hoje, o Brasil no mundo em relação à sua experiência hidrelétrica?

As tabelas a seguir mostram a relação das 85 usinas hidrelétricas atualmente em operação ou em construção no mundo, com mais de 1.000MW (capacidade final).

**Gráfico 9**  
**Cômpra de Equipamentos**  
**em moeda nacional**



**Tabela 9**

*Usinas hidrelétricas em operação ou em construção*  
 (Capacidade final de mais de 1000 MW)

Usina	País	Capacidade final (MW)	Operação inicial
Itaipu	Brasil/Paraguai	12.600	(*)
Grand Coulee	EUA	9.780	1941
Guri	Venezuela	6.500	1967
Tucuruí	Brasil	6.480	(*)
Sayanskaia	URSS	6.400	(*)
Krasnoyarsk	URSS	6.096	1968
Paulo Afonso	Brasil	6.024	1955

\* em construção.

Usina	País	Capacidade final (MW)	Operação inicial
La Grande	Canadá	5.416	(*)
Churchill Falls	Canadá	5.225	1971
Bratsk	NRSS	4.600	1964
Sukhovo	URSS	4.500	(*)
Ust-Ipimsk	URSS	4.320	1974
Cabora-Bassa	Moçambique	4.000	1975
Ingá	Zaire	3.700	(*)
Rogunsky	URSS	3.600	(*)
Ilha Solteira	Brasil	3.230	1973
John Day	EUA	2.700	1968
Nurek	URSS	2.700	(*)
São Simão	Brasil	2.680	(*)
Volgograd	URSS	2.560	1958
Chicoasen	México	2.400	(*)
Volga	URSS	2.300	1955
WAC Bennet	Canadá	2.270	1969
Foz do Areia	Brasil	2.250	(*)
Assuan	Egito	2.100	1967
Portas de Ferro	Romênia/Iugoslávia	2.100	1970
Bath Coutry (B)	EUA	2.100	(*)
Itumbiara	Brasil	2.100	(*)
Chief Joseph	EUA	2.069	1956
Salto Santiago	Brasil	2.000	(*)
Robert Moses	Canadá	1.950	1961
Salto Grande	Argentina	1.890	(*)
Dinorwic (B)	Grã-Bretanha	1.800	(*)
Ludington (B)	EUA	1.872	1973
St. Lawrence	EUA/Canadá	1.824	1958
The Dalles	EUA	1.807	1957
Karakaya	Turquia	1.800	(*)
Mica	Canadá	1.740	(*)
Beauharnois	Canadá	1.670	1950
Kemano	Canadá	1.670	1954
Blue Ridge (B)	EUA	1.600	(*)
Patia	Colômbia	1.540	(*)
Racoon Mountain (B)	EUA	1.530	1975
Kariba	Rodésia	1.500	1959
Tumut 3	Austrália	1.500	1972
Marimbondo	Brasil	1.440	1975

\* em construção.

Usina	País	Capacidade final (MW)	Operação inicial
Jupiá	Brasil	1.411	1966
McNary	EUA	1.406	1953
Cheboksary	URSS	1.404	1972
Água Vermelha	Brasil	1.380	(*)
Saratov	URSS	1.360	1967
Daniel Johnson	Canadá	1.353	1970
Hoover	EUA	1.345	1936
Wanapum	EUA	1.330	1964
Inguri	URSS	1.300	(*)
Zeya	URSS	1.290	1975
Takase	Japão	1.280	(*)
Priest Rapids	EUA	1.262	1959
Castaic	EUA	1.250	(*)
Nizhne-Kamskaya	URSS	1.248	1973
Malpaso	México	1.245	1968
Keban	Turquia	1.240	1974
Liuchiahsia	China	1.225	(*)
Sir Adam Beck	Canadá	1.224	1954
Kettle Rapids	Canadá	1.224	1970
Furnas	Brasil	1.216	1963
Rocky Reach	EUA	1.215	1961
Kenokowa	Japão	1.212	1974
El Chocon	Argentina	1.200	1973
Toktogul	URSS	1.200	1973
Itaparica	Brasil	1.192	(*)
Maniconagon 3	Canadá	1.176	1973
Vianden (B)	Luxemburgo	1.140	1964
Shintoyone	Japão	1.125	1972
Long Spruce	Canadá	1.105	(*)
Sanmen Hsia	China	1.100	1972
Dworshak	EUA	1.060	1973
Bonneville	EUA	1.059	1941
Bersimis 1	Canadá	1.050	1956
Bhakra	Índia	1.050	1963
Estreito	Brasil	1.050	1969
Helms	EUA	1.050	(*)
Salto Osório	Brasil	1.050	(*)
Lago Delio	Itália	1.016	1971
Maniconagon 2	Canadá	1.015	1965

\* em construção.

Tabela 10

*Usinas hidrelétricas em operação*  
(mais de 1.000 MW instalados)

Usina	País	Capacidade (MW)	Operação inicial
Krasnoyarsk	URSS	6.096	1968
Churchill Falls	Canadá	5.225	1971
Bratsk	URSS	4.100	1964
Ilha Solteira	Brasil	3.230	1973
Volgograd	URSS	2.560	1958
Grand Coulee	EUA	2.161	1941
John Day	EUA	2.160	1968
Assuan	Egito	2.100	1967
Portas de Ferro	Romênia/Iugoslávia	2.100	1970
Cabora Bassa	Moçambique	2.000	1975
Robert Moses	Canadá	1.950	1961
Ludington (B)	EUA	1.872	1973
St. Lawrence	EUA/Canadá	1.824	1958
WAC Bennet	Canadá	1.816	1969
The Dalles	EUA	1.807	1957
Racoon Mountains (B)	EUA	1.530	1975
Paulo Afonso	Brasil	1.524	1955
Marimbondo	Brasil	1.440	1975
Jupia	Brasil	1.411	1966
Cheboksory	URSS	1.404	1972
Saratov	URSS	1.360	1967
Hoover	EUA	1.345	1936
Sir Adam Beck	Canadá	1.224	1954
Furnas	Brasil	1.216	1963
Kurokawa	Japão	1.212	1974
Shintoyone	Japão	1.125	1972
Estreito	Brasil	1.050	1969
Chief Joseph	EUA	1.024	1956
Beauharnois	Canadá	1.021	1950
Lago Oelio (B)	Itália	1.016	1971

Verifica-se que, das 85 em operação ou em construção, 15 são brasileiras (incluindo a usina binacional de Itaipu, a maior do mundo) e, das 30 em operação, seis são brasileiras (Ilha Solteira é a 4ª do mundo).

A distribuição, por países, desses projetos é bastante reveladora:

Tabela 11

*Usinas hidrelétricas com mais de 1000 MW instalados (usinas em operação) ou de capacidade final (usinas em construção):*

País	Em operação	Em construção	Total
EUA	8	10	18
Brasil	6	9	15
URSS	5	10	15
Canadá	5	9	14
Japão	2	1	3
Outros	4	16	20
Total	30	55	85

Pode-se observar que apenas quatro países do mundo possuem uma experiência significativa na construção e na operação de centrais hidrelétricas de grande porte em pé de igualdade: Estados Unidos, Brasil, URSS e Canadá.

A experiência mundial indica que a liderança no desenvolvimento de tecnologia da geração hidrelétrica e da transmissão a longas distâncias (que lhe é, geralmente, associada) foi assumida, desde o início do século, pelos países que realizaram um programa hidrelétrico importante e que, uma vez acumulada a experiência necessária, passaram a exportar tecnologia, serviços e equipamentos para os países que iniciavam a exploração de seu potencial, enquanto mantinham o dinamismo de renovação tecnológica pela realização de seus próprios programas nacionais.

Admitindo-se que esta tendência geral continue a ser mantida, pode-se imaginar que, no futuro próximo, estarão na liderança tecnológica no setor os países que já acumularam uma experiência anterior e que manterão ativos seus programas de construção de usinas hidrelétricas, e serão países importadores os países em desenvolvimento que dispõem de potencial hidrelétrico importante e têm condições de iniciar sua exploração.

A tabela seguinte mostra os 21 países cujo potencial hidráulico (medido pela energia média gerável) ultrapassa 100TWh/ano; excluídos os Es-

tados Unidos, o Canadá, o Japão, a Noruega e a Suécia, que já atingiram, ou estão próximos a atingir a plena utilização de seus potenciais e, portanto, estabilizando sua produção hidrelétrica, todos os demais (com a única exceção da URSS) são países subdesenvolvidos ou em vias de desenvolvimento da América Latina, da Ásia e da África.

Tabela 12

*Países com potencial hidrelétrico conhecido, igual ou superior a 100 TWh/ano (geração média)*

País	Potencial (TW/ano)
China	1.320
URSS	1.095
Brasil <sup>1</sup>	740
EUA	702 <sup>2</sup>
Zaire	660
Canadá	535 <sup>2</sup>
Madagascar	320
Colômbia	300
Índia	280
Burma	225
Vietnã	220
Argentina	191
Indonésia	150
Japão	130*
Equador	126
Papua — Nova Guiné	122
Noruega	121*
Peru	109
República dos Camarões	105
Paquistão	105
Suécia	100*
Total Mundial	7.435

<sup>1</sup> Energia firme.

<sup>2</sup> Países que já atingiram ou estão em vias de atingir a plena utilização de seu potencial hidrelétrico.

Se relacionarmos os países de maior produção hidrelétrica, temos a tabela a seguir:

Tabela 13

*Geração hidrelétrica no mundo — 1974*

País	Geração (TWh)
EUA	304*
Canadá	210*
URSS	132
Japão	82*
Noruega	71*
Brasil	67
Suécia	57*
França	57*
Itália	39*
Espanha	31*
Índia	28
China	26
Iugoslávia	21*
Total Mundial	1.394

\* Países que já atingiram ou estão em vias de atingir a plena utilização de seu potencial hidráulico.

Observe-se que, dos 13 países relacionados, nove já atingiram ou estão atingindo a plena utilização de seus recursos hidráulicos, restando apenas quatro: URSS, Brasil, Índia e China.

Se nosso raciocínio está correto, estes países deverão assumir a liderança mundial nos próximos anos, se souberem utilizar a infra-estrutura já existente para absorver a tecnologia mais moderna dos sete países da lista que já conquistaram a liderança e que, possivelmente, não terão condições de mantê-la, pela paralisação de seus programas próprios (EUA, Canadá, Japão, Noruega, Suécia, França e Itália) nem de criar condições para a renovação tecnológica, de forma a disputar o imenso mercado de exportação que se abrirá, e se expandirá rapidamente, em países como o Zaire, Madagascar, Colômbia, Equador, República dos Camarões, Peru (para citar apenas os países da África e da América Latina de maior potencial para a penetração da tecnologia brasileira).

O Brasil, no mundo ocidental, apresenta-se, praticamente, como o único país a ter grandes massas de energia hidrelétrica (em potencial) a serem transportadas a grandes distâncias (sem sangrias intermediárias), dadas as suas dimensões quase continentais e à distância entre as fontes (potencial hidráulico) e os centros de carga (consumo).

Os demais países ou estão com seu potencial quase totalmente aproveitado, baseando-se o crescimento do mercado em energia de origem térmica convencional ou nuclear que pode ser gerada próxima à carga, ou são nações, como no caso europeu, densamente povoadas, que exigem sangrias nas linhas de transmissão a curtas distâncias. Esta peculiaridade dá ao Brasil, sem dúvida, possibilidades futuras para explorar e desenvolver tecnologias de extra-alta-tensão para correntes alternadas e, de modo especial, também de corrente contínua.

O Brasil afirma-se, assim, como um país de grandes possibilidades para desenvolvimento e exportação de tecnologia, equipamentos e de engenharia de construção para hidrelétricas, a par de seu mercado interno extremamente favorável e dinâmico. Os próximos vinte anos oferecem ao setor elétrico nacional um vasto campo para o desenvolvimento da técnica e da indústria hidrelétricas. A maturidade já atingida pelo setor elétrico encontra agora um novo desafio e um fértil mercado a ocupar. Mais uma vez o setor elétrico nacional saberá corresponder às esperanças e às aspirações dos brasileiros.

## 6. Conclusões

Sempre que houver condições naturais (potencial hidráulico) e econômicas, a energia hidrelétrica, por se tratar de uma fonte renovável, deve ser prioritária em qualquer política energética.

A utilização racional da energia hidrelétrica exige, além dos estudos econômicos ligados à comparação do custo de energia gerada, uma cuidadosa avaliação de suas interações com o meio físico e sócio-econômico, que permita avaliar seus custos e benefícios indiretos.

Durante os próximos 20 anos, tudo indica que a hidreletricidade deverá manter posição dominante nos programas de eletrificação do País e assumir participação crescente no balanço energético global.

O setor hidrelétrico nacional (empresas de engenharia e construção, fabricantes de equipamentos, empresas de eletricidade etc.), demonstrou grande dinamismo e eficiência nos últimos 20 anos e apresenta, hoje, uma infra-estrutura técnica e administrativa extremamente sólida.

O Brasil tem condições de, nos próximos anos, assumir uma posição de liderança mundial no que diz respeito à tecnologia hidrelétrica, caso desenvolva uma política coerente com este objetivo.

## **Bibliografia**

1. Conferência Mundial da Energia. *Survey of Energy Resources*, 1974.
2. Yannacone Jr., V. J. *Energy Crisis*. West Publ. Co., 1974
3. Banque Nationale de Paris. *Guide Statistique de l'Energie*. Paris, 1974.
4. Cotrim, J. R. *O panorama energético brasileiro em face do problema ecológico e da preservação do meio ambiente*, Rio, 1973.
5. Barbalho, A. *Energia hidroelétrica*, Rio, 1975.
6. Almeida Magalhães, L. C. *Problema energético brasileiro*. Rio, 1976.
7. Celestino Rodrigues, E. *Crise energética*. Rio, 1975. José Olympio Editora.
8. Ministério das Minas e Energia. *Balanço energético nacional*. Brasília, 1976.
9. The Japan Dam Foundation. *World dams today '77*. Tokyo, 1977.
10. Eletrobrás. *Relatórios anuais*.
11. Eletrobrás. *Revista Brasileira de Energia Elétrica*.
12. *Energy Policy*.
13. *Electrical World*.
14. Doria, P. R. *Energia no Brasil e Dilemas do Desenvolvimento*. Petrópolis, 1977. Ed. Vozes.
15. *Water Power & Dam Construction*.
16. *L'Houille Blanche*.

## **Anexo**

### **Conceitos energéticos de um sistema hidrotérmico**

A potência de uma usina hidrelétrica pode ser avaliada aproximadamente pela expressão

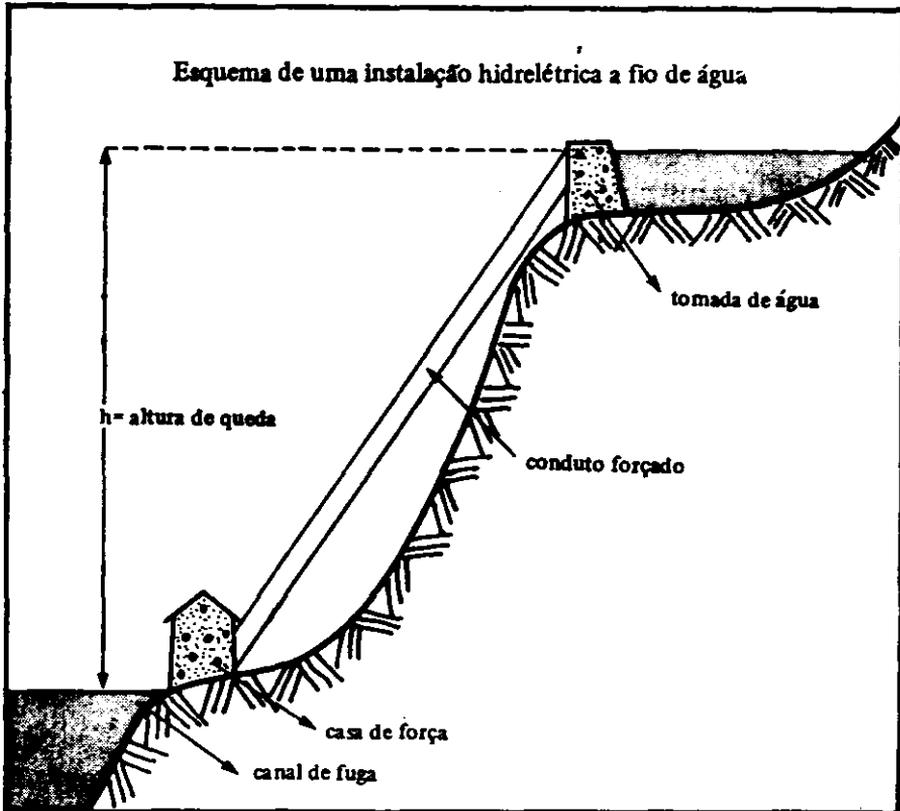
$$P = 0,0086Qh, \text{ onde:}$$

P = potência da usina em MW

Q = vazão média, em m<sup>3</sup>/s

h = queda bruta, ou seja, a diferença entre o nível de montante e o nível de jusante (canal de fuga), em m.

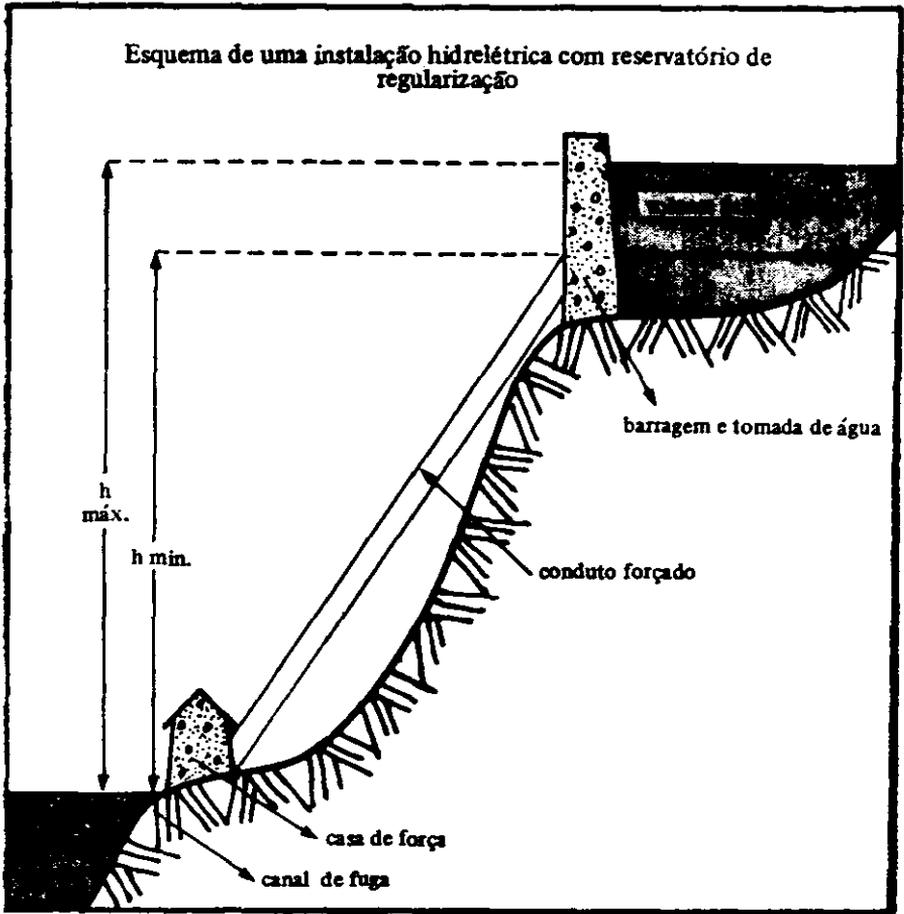
Gráfico 1



Uma usina hidrelétrica poderia ser dimensionada para fornecer sua potência máxima, na hora da ponta do sistema, utilizando a vazão disponível  $Q$ ; neste caso, no entanto, nas demais horas do dia, a descarga turbinada teria que ser reduzida, acionando-se as palhetas que controlam a admissão de água na turbina, e o excesso de água teria que ser descarregado pelos vertedores da usina, o que representaria má utilização dos recursos disponíveis e uma operação evidentemente antieconômica.

Uma solução mais adequada seria elevar a estrutura da tomada de água da usina, construindo-se uma barragem de retenção, de forma a criar um reservatório de acumulação.

Gráfico 2



Desta forma, a água não utilizada durante a madrugada, por exemplo, seria acumulada no próprio reservatório, acima da cota correspondente à tomada de água e, na hora da ponta, esta reserva de água poderia ser usada para aumentar a vazão do rio, aumentando a capacidade de ponta da usina (inclusive porque, durante uma parte do tempo, pelo menos, a água será turbinada sob uma queda bruta maior, conforme mostra o gráfico).

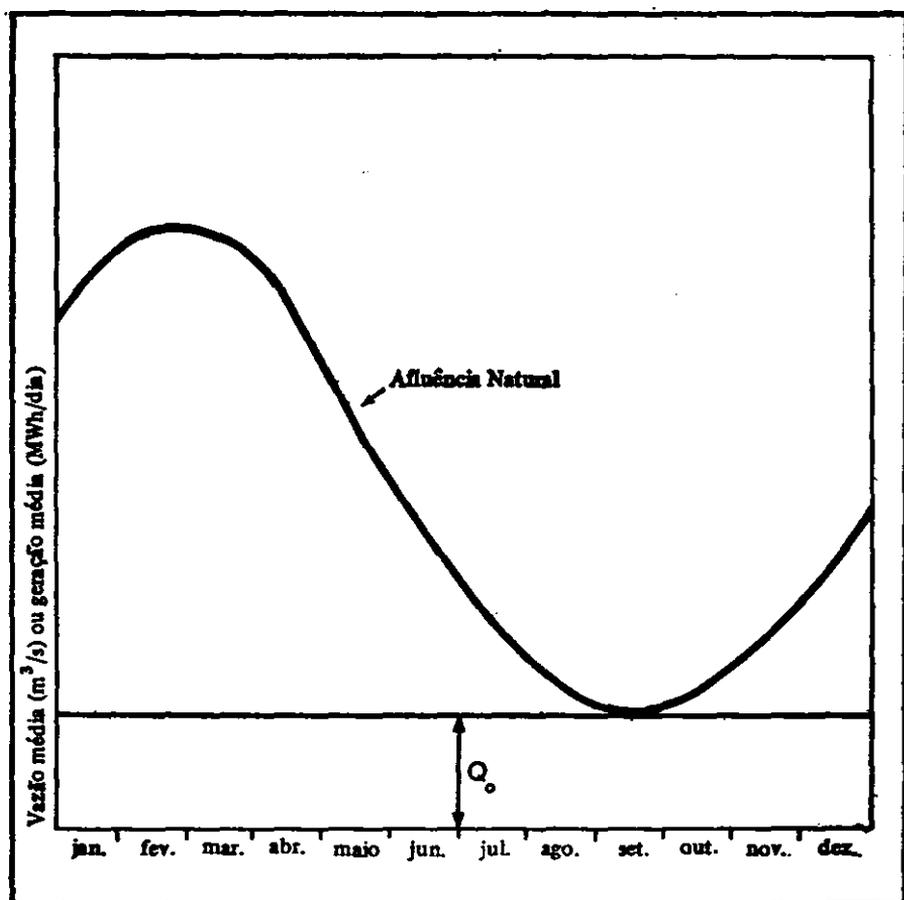
O volume útil necessário, neste caso, é relativamente pequeno: equivale a uma fração do volume de água que passa, por dia, pela usina.

Na maior parte dos casos práticos, no entanto, a vazão afluyente ao reservatório não é constante, apresentando variações intermitentes (segundo a frequência de chuvas e estiagens) ou estacionais (período de cheia

e de seca anuais) ou mesmo interanuais, com possível ocorrência de anos mais secos ou, mesmo, de uma sucessão de anos secos. No caso, por exemplo, das bacias da Região Sudeste, principalmente no planalto central, a variação estacional é muito nítida, com vazões elevadas nos meses de verão, de dezembro a março, e mínimas no inverno, entre junho e setembro; ocorrem, também, com relativa frequência, anos secos; assim, entre 1951 e 1956 registrou-se uma sucessão de seis anos secos com vazões abaixo da média normal.

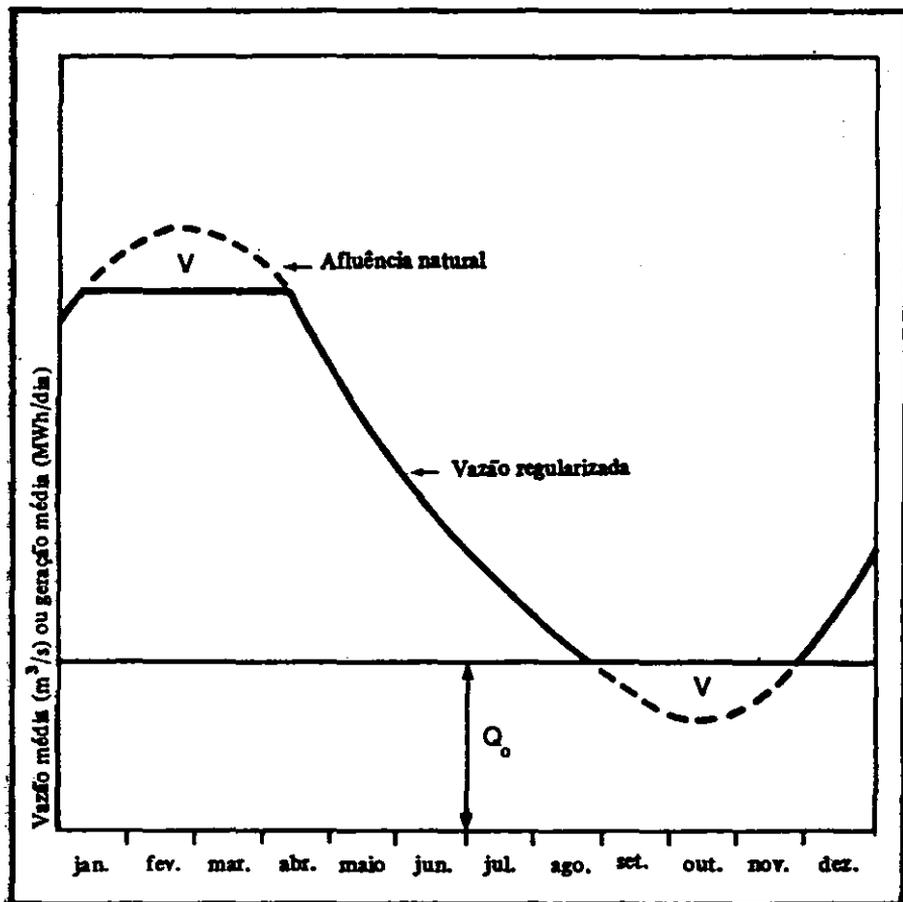
Colocando-se em um gráfico os valores das vazões médias diárias, em um ano (ou um período) típico, tem-se a seguinte figura:

Gráfico 3



A vazão garantida  $Q_0$  será o valor mínimo assinalado na figura, a que corresponde uma potência média  $E_0$  (energia firme). Considerando-se que a eletricidade não pode ser armazenada e que a capacidade de produção tem que estar à disposição do consumidor em qualquer dia do ano, o sistema terá que ser dimensionado de modo que haja um equilíbrio entre a energia firme disponível e o consumo previsto. Como este é, no caso brasileiro, constante, ao longo do ano (descontando-se o crescimento exponencial), isto significa que, durante todo o tempo, excetuados os meses mais secos, haverá uma sobra de capacidade de geração que, a menos que possa ser vendida a consumidores especiais não-garantidos (energia secundária), o que é extremamente raro, não poderá ser comercializada e será desperdiçada pelo vertedor da usina.

Gráfico 4

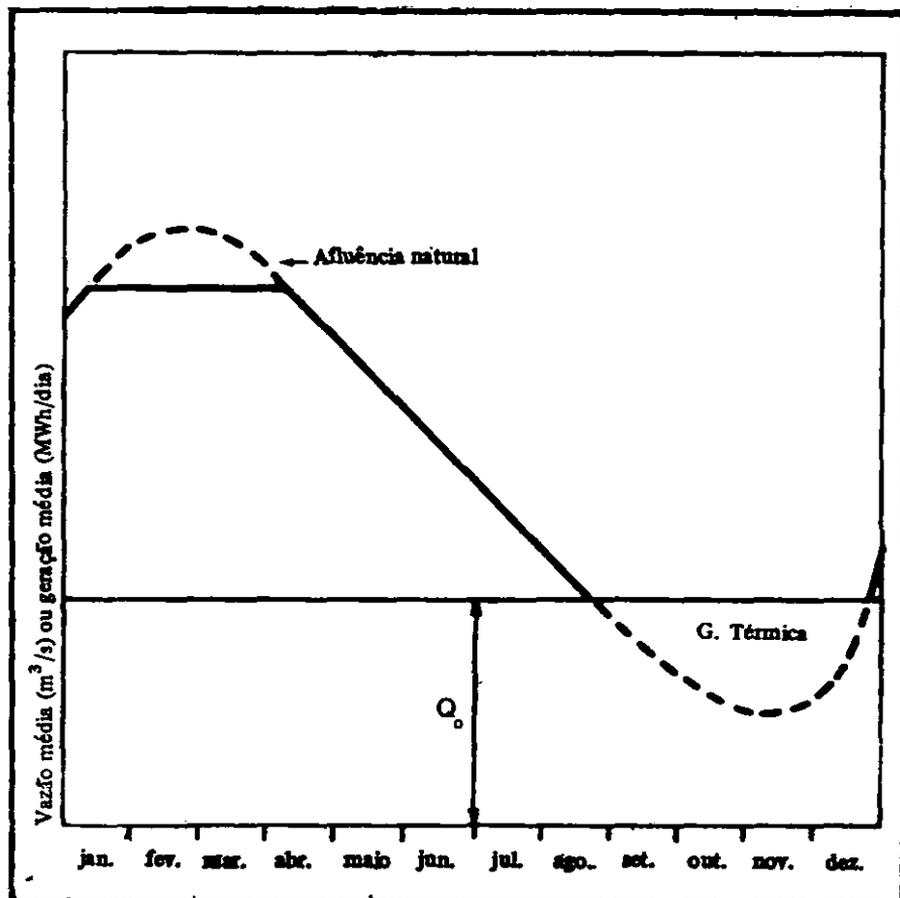


Uma forma de melhorar a economicidade da operação e de conseguir maior eficiência na utilização do recurso natural disponível seria dotar a usina de um reservatório com capacidade suficiente para armazenar água durante os meses chuvosos e liberá-la gradativamente nos meses secos, aumentando a vazão mínima permitida e, portanto, a energia firme.

A construção de um reservatório de regularização plurianual aumenta extraordinariamente o investimento a ser realizado (devido, principalmente, ao custo da própria barragem e da desapropriação de terras, relocação de estradas, ferrovias, pontes e às vezes, cidades inteiras); assim, em cada caso, existe um limite econômico a ser cuidadosamente determinado.

Mesmo após atingido esse limite, a indústria da eletricidade ainda dispõe de um recurso adicional para otimizar seu sistema de produção e reduzir os custos: a diversificação das fontes de geração.

Gráfico 5



Com efeito, se a uma usina hidrelétrica (ou a um sistema de usinas) for integrada uma usina térmica (escolhida por seu baixo custo de investimentos e flexibilidade de operação, mesmo se o custo do combustível for elevado), esta usina poderá ser utilizada no regime dito *de complementação térmica*, operando com máxima capacidade durante o período seco (a fim de *complementar* a geração hidrelétrica) e sendo utilizada apenas na hora da ponta, ou mesmo como reserva durante os períodos hidrologicamente favoráveis. A figura mostra como, nesse caso, pode-se aumentar a capacidade de suprimento do sistema mediante um investimento não muito elevado e com despesas anuais médias de combustível relativamente baixas, pois a usina térmica só é operada durante uma parte do tempo; durante um período maior utilizar-se-á uma parte da energia secundária que era, anteriormente, desperdiçada.

Esta é, exatamente, a situação atual dos sistemas elétricos brasileiros, que não se modificará substancialmente nos próximos vinte anos, pelo menos: predomínio de usinas hidrelétricas, com reservatórios de regularização plurianual, e complementação térmica pequena, mas que tende a crescer a médio e a longo prazos.

## Summary

In this article the author analyzes, from the technical, economical, environmental and strategic points of view, the utilization of hydroelectrical energy showing its advantages (low cost of generation, flexibility of operation, high level of trustability and quality), and disadvantages (the need to build the plant near the generating source and not consumers; long span for maturation of the investments; high costs of the implementation of the project; dependence on climate conditions; proliferation, in the dam reservoirs, of disease transmitting insects).

The author emphasizes the influences of hydroelectrical energy on the ecological system and on the socio-economical structure, given that it works as an element of economical and cultural innovation and dynamization of the area served by it and can avoid floods and prolonged droughts.

In analyzing the Brazilian hydroelectrical program, including the evolution of the capacity installed in the country from its beginning with projections for the next 20 years, the author shows that a program based on only one source of supply will have little flexibility in terms of planning and implementation and will be vulnerable to sectorial crises.

Based on his analysis, the author concludes that:

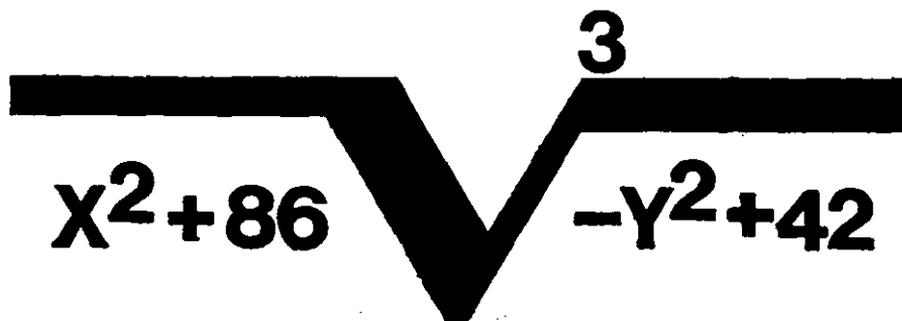
1. The next 20 years will bring to the national electrical sector a large field for development and exportation of technology, equipment and engineering for hydroelectrical plants.
2. Whenever there are natural (hydraulic potential) and economical conditions, hydroelectrical energy, because it is a renewable source, should have priority in any energetic policy.

3. The utilization at a national scale of electrical energy requires, besides economic studies related to the comparison of the cost of generated energy, a careful evaluation of its interactions with the physical and socio-economic environment which permits evaluation of indirect costs and benefits.
4. During the next 20 years, everything indicates that hydroelectrical energy should maintain its dominant position in the electrification programs of the country and should assume increasing participation in the whole energetic balance.
5. The national hydroelectric sector (engineering, electricity, and construction companies, equipment manufacturers etc.), showed great dynamism in recent years and presents today an extremely sound technical and administrative infra-structure.
6. Brazil has the potencial to assume in the near future a world leadership position, relative to hydroelectrical technology if it develops a policy coherent with this objective.

---

**NÓS TEMOS  
MUITAS SOLUÇÕES  
PARA OS SEUS  
PROBLEMAS  
DE ADMINISTRAÇÃO.**

A Fundação Getulio Vargas conhece bem as dificuldades dos que se dedicam à atividade de administrar racionalmente, com inteligência. Para eles, uma oferta constante em livros criteriosamente selecionados, como solução para os seus problemas.



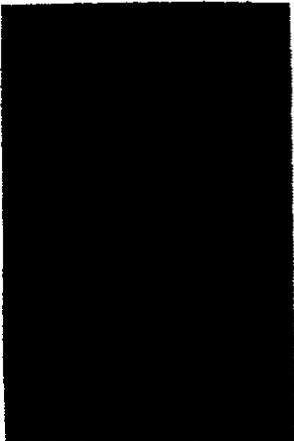
---

# V. NÃO PODE PERDER OS TRÊS ÚLTIMOS LANÇAMENTOS DA EDITORA DA FGV.

---

Para um mundo em constantes transformações, surge a crescente necessidade de informação atualizada, séria, competente. Como os livros da Editora da FGV. Em cada lançamento, a informação que V. não pode perder.

---

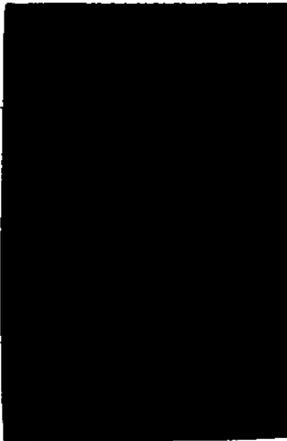


## ESTUDOS SOBRE A CONSTITUIÇÃO DE 1967 E SUA EMEN- DA Nº 1

**Themistocles B. Calvalcanti e outros**

*Uma análise pormenorizada, à luz do direito constitucional, que engloba reflexões sobre aspectos como competência da União e dos estados, funções e atribuições do Congresso, do Executivo e do Judiciário, a reformulação do direito de propriedade.*

**276 páginas**  
**Cr\$ 120,00**



## A AVALIAÇÃO DAS ESCOLAS SUPERIORES

**Paulo Sá**

*Uma obra que trata de problemas atuais do ensino no País, tais como a qualidade das escolas de nível superior, o vestibular, a avaliação do aproveitamento dos estudantes universitários e dos alunos das escolas de nível médio, com valiosas sugestões para a solução desses problemas.*

**80 páginas**  
**Cr\$ 30,00**



## TENDÊNCIAS DO PENSAMENTO JURÍDICO

**Coletânea**

*Neste livro, especialistas do mundo inteiro tratam do mesmo assunto: o pensamento jurídico. A primeira parte aborda o desenvolvimento da ciência jurídica em vários países. Na segunda parte, são estudados diversos temas jurídicos; a terceira parte trata de assuntos polêmicos como as provisões dos "futurólogos" e o papel dos "nativos" e dos "estrangeiros" na pesquisa em países em desenvolvimento.*

**272 páginas**  
**Cr\$ 80,00**

---

Pedidos à

à Editora da Fundação Getúlio Vargas  
Praça de Botafogo, 188 - Cx. Postal 9.052 - ZC-02  
Rio de Janeiro - RJ

---

Em todas as livrarias

---