



São Paulo, 10/15 de abril de 1972

GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA

CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO DE UMA USINA TERMO-
ELÉTRICA NUM SISTEMA PREDOMINANTEMENTE HIDROELÉ-
TRICO

Alberto Azuma
Jurgen K.E. Burr

LIGHT - Serviços de Eletricidade S.A.

1.0 - OBJETIVO

O presente trabalho, tem como objetivo ressaltar a necessidade da presença de usinas termoelétricas no nosso sistema, e também abordar alguns problemas específicos de maior interesse, inerentes à sua operação.

2.0 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Como é de conhecimento geral, uma usina termoelétrica produz energia elétrica através do aproveitamento de combustíveis fósseis,

ou, mais modernamente, combustíveis nucleares, através da utilização de todo um complexo de transformação. Por esta razão, não depende de fatores hidrológicos, o que garante continuidade de operação, mesmo em regiões dotadas de poucos recursos hídricos.

Notamos, mesmo em regiões dotadas de grande potencial hidroelétrico, como no nosso sistema, o aparecimento e ampliação de usinas termoeletricas, motivadas por diversos fatores, entre eles, fatores climatológicos típicos da região, que fazem com que um período de seca mais prolongado, afete os níveis de todos os reservatórios de água do sistema, em maior ou menor grau. Lembramos também que o nosso sistema hidroelétrico, é talvez o maior no mundo, que depende exclusivamente de chuvas, já que não dispõe de reservas glaciais.

A usina termoeletrica é utilizada, no caso particular descrito, como um agente regulador dos níveis dos reservatórios.

3.0 - CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO DE UMA TERMOELETRICA

Modernamente, uma unidade termoeletrica é composta de um conjunto de equipamentos principais, - caldeira, turbina, gerador, - condensador e banco de transformadores - e uma série de equipamentos auxiliares, que têm por função a complementação das necessidades da unidade, para produção de energia elétrica.

Em virtude da necessidade de transformação da energia química latente no combustível, através de diversas etapas sucessivas, - em energia elétrica, a operação de uma termoeletrica é, sem dúvida, mais complexa do que de uma hidroelétrica. As elevadas pressões e temperaturas envolvidas no processo, fazem com que inúmeros cuidados sejam tomados, a fim de assegurar uma operação contínua, com o

mínimo de riscos. Em virtude das condições em que trabalham os equipamentos, surge a necessidade de acomodação de dilatações e de tensões térmicas, muitas vezes elevadas, e, para tal finalidade, - há necessidade de imposição de rígidos limites de operação para - proteção do pessoal e do equipamento. Entre os mais importantes limites de operação, passamos a descrever aqueles que julgamos de maior interêsse para a operação do sistema energético:

3.1 - Tempo de Partida e Elevação de Carga

O tempo necessário de partida de uma unidade termoelétrica, - desde o acendimento da caldeira até o sincronismo, é relativamente longo e depende exclusivamente das condições térmicas iniciais da caldeira, da turbina, e, conforme o caso, do tipo de caldeira.

Isso se deve ao fato de que certas grandezas físicas, tais - como, razão de aquecimento da turbina, razão de elevação de press - são na caldeira, etc., devem ser obedecidas a fim de evitarmos - que danos causados ao equipamento, diminuindo a vida útil do mesmo.

Para facilidade de exposição, classificamos a partida de uma unidade termoelétrica em dois tipos: "partida fria" e "partida - quente". O primeiro caso, corresponde às partidas de uma unidade - que permaneceu parada por 12 horas ou mais, ou na qual a temperatu - ra mais alta dos metais da turbina seja inferior a 550°F (288°C). O segundo caso engloba as outras situações. Normalmente, leva-se - mais tempo na partida, quanto mais "fria" se encontra a unidade. - Vamos expor a seguir, as duas etapas principais para a partida.

a)-Preparação da caldeira:

Antes de iniciarmos a rotação de uma turbina, é necessário - preparar a caldeira, para que o vapor esteja em condições ideais -

de temperatura para ser introduzido na mesma, sem risco de choques térmicos elevados.

a temperatura ideal de vapor que satisfaz esta condição é denominada "temperatura de ajuste" ^{de pressão}

A temperatura de ajuste de duas variáveis: da pressão de vapor que se deseja ter na caldeira e de temperatura dos metais - da turbina.

A pressão de vapor desejável na caldeira depende das condições térmicas iniciais da unidade.

Após a escolha da pressão mais adequada para a caldeira, - pode-se determinar a temperatura de ajuste, pela utilização do gráfico I, para atingir a temperatura de ajuste, pode-se levar de uma a quatro horas, dependendo das condições iniciais da turbina e da caldeira.

b) Preparação da turbina

Determinada a temperatura de ajuste, ou seja após a preparação da caldeira, devemos iniciar a fase de preparação da turbina.

Suponhamos, para efeito de exposição, que a mais alta temperatura na turbina seja 800°F (415°C), ou seja, é uma partida "quente", segundo o exposto na página 3.

Assim pelo gráfico II, temos:

- Tempo mínimo de permanência no "turning gear"⁺....

4 horas. Entretanto, na prática, a turbina é colocada sob a ação do "turning gear" desde a parada. Assim, esse tempo não será computado no total da partida.

- Tempo para atingir a rotação nominal... 0:10min.

Turning-gear - é um dispositivo mecânico que mantém o eixo

da turbina-gerador em baixa rotação, a fim de possibilitar um aquecimento ou resfriamento uniforme do rotor da turbina.

- Tempo de permanência em rotação nominal. -----
- Carga inicial aplicada..... 10% da carga - nominal.
- tempo de permanência na carga inicial aplicada.....
- Razão de elevação de carga após a carga inicial ... 2% da carga nominal por minuto.

Assim, por exemplo, para uma unidade de 100 MW, levaríamos para atingir a plena carga desde o sincronismo, cerca de 50 minutos. Portanto, o tempo total para atingir a plena carga no exemplo exposto seria:

- preparação da caldeira 1 a 4 horas dependendo das condições iniciais da mesma.
- preparação da turbina: 10 minutos.
- tempo desde o sincronismo até plena carga: 50 min.
- tempo total. 02:00 horas a 05:00 horas.

3.2 - Operação Contínua Limitada em Baixas Cargas:

Uma unidade térmica tem limite inferior de geração contínua em baixas cargas.

Este limite é estabelecido em função de algumas condições operacionais da caldeira, turbina e do próprio ciclo térmico.

Se uma unidade térmica trabalhar por longo período abaixo deste limite, poderemos ter instabilidade da combustão na caldeira, diferença de temperatura entre superfície interna e externa das carcaças acima dos limites permissíveis de operação, abaixamento do rendimento global do ciclo térmico, operação deficiente do desaerador⁺, provável erosão dos últimos estágios da turbina provocada por vapor úmido, etc.

→ ver pág. seguinte

Apesar do sistema ser predominantemente hidroelétrico, uma usina termoeleétrica pode controlar a frequência do sistema, como - aliás já foi feito algumas vezes, desde que, determinados cuidados sejam tomados.

A unidade termoeleétrica pode acompanhar variações bruscas de carga numa determinada faixa, sem maiores dificuldades. Por exemplo, no caso da Usina Piratininga, esta faixa é de até 20 MW para cada unidade.

Variações bruscas que excedam esta faixa, podem acarretar - problemas na caldeira, afetando como consequência a turbina.

Tais problemas são:

a) - instabilidade de combustão, ocasionando variações indesejáveis na pressão e temperatura do vapor:

.....

Desaerador⁺ - é um trocador de calor aberto (contato direto entre água e vapor), através do qual se eliminam os gases existentes na água de alimentação da caldeira.

b) - variação do nível d'água no tambor da caldeira.

As principais consequências na turbina são as tensões térmicas eventualmente elevadas e possível aparecimento de vibrações anormais provocadas pela variação na temperatura do vapor.

A título de ilustração, apresentamos a seguir um procedimento levado a efeito na Usina Piratininga, tendo em vista o controle de frequência.

Através de uma série de testes de combustão acompanhados de variação de carga, determinamos uma série de faixas de operação - permissíveis em função do número de maçaricos acesos na caldeira.

O gráfico III ilustra os resultados obtidos para as unidades

1 e 2 desta usina.

Em controle de frequência, procura-se manter o nº de máquinas mais adequado para que a caldeira possa atender às variações de carga dentro da faixa.

3.4 - Operação em Baixa Frequência:

Os sistemas energéticos, são projetados de tal maneira a terem uma reserva girante, suficiente para cobrir uma eventual saída de uma unidade geradora, sem que a frequência seja afetada.

Muitas vezes, no entanto, ocorrem sérias perturbações no sistema, que acarretam o desligamento de usinas de grande porte e tendo como consequências uma queda brusca na frequência, por falta de reserva girante, suficiente para cobrir as perdas.

Em alguns instantes, no sentido de manter a carga num nível em que possa ser atendidas pelas usinas geradoras restantes, foram introduzidos dispositivos de rejeição de carga

No entanto, se a perda de geração for muito grande e a rejeição de carga insuficiente, fatalmente, por um certo período de tempo, as unidades geradoras restantes trabalharão em baixa frequência.

Dependendo do nível da frequência, a permanência desta situação terá uma série de inconvenientes à operação de uma unidade térmica.

Dentre os inconvenientes que podem ocorrer, temos:

3.4.1 - Perda de Eficiência Parcial ou Total do Equipamento

Auxiliar

Em baixa frequência, os equipamentos auxiliares perdem sua eficiência, principalmente as bombas de alimentação da caldeira, - bombas de óleo combustível, ventiladores, etc. Caso um deles seja perdido, poderá ocorrer o apagamento da caldeira, perda de nível - no tambor da caldeira, etc., e um tempo considerável será necessário para restabelecimento da unidade. Por isso, é, muitas vezes,

interessante desligar a unidade do sistema, a fim de manter intacto o equipamento auxiliar, embora sejamos favoráveis à tese de que a unidade deve permanecer no sistema o tanto possível e ajudar a restabelecê-lo.

3.4.2 - Vibração nas Pás do Último Estágio da Turbina:

Como se sabe, as pás de uma turbina estão sujeitas à três - forças, a saber:

- a) - força centrífuga
- b) - carga do vapor
- c) - excitação vibratória

Para efeito deste tópico, não levaremos em consideração as duas primeiras, por serem esforços constantes.

A excitação vibratória é proveniente das variações do fluxo de vapor.

Essa variação provoca uma onda com frequência fundamental i gual à rotação normal de operação da turbina e também diversos harmônicos.

A maioria das pás são projetadas para operar sem levar em conta a ressonância, excessão feita às pás dos últimos estágios de baixa pressão da turbina, que podem vibrar e dependendo da rotação da máquina, em três modos principais diferentes. O gráfico IV anexo, dá uma idéia da situação.

As características de frequência típicas dos 1º, 2º e 3º modos de vibração de pás longas de baixa pressão são aí mostradas. A largura dessas faixas quase horizontais, indica a dispersão e variação de frequência natural de vida às tolerâncias práticas de fabricação. As linhas radiais harmônicas são múltiplos da rotação de operação da máquina e representam frequência das forças de excita-

ção do vapor. Uma intersecção de uma linha de frequência natural com qualquer das linhas radiais dos harmônicos, representa uma condição de ressonância.

Como se vê pelo gráfico IV, a faixa de frequência de 58,5 a 60Hz é livre de ressonância para os modos importantes de vibração.

Abaixo deste nível, há maior probabilidade de ressonância e as tensões de vibração podem aumentar a um ponto onde fissuras, devido à fadiga, possam ser produzidas.

O fenômeno de fadiga é o resultado do decréscimo da resistência do material devido às reversões das tensões repetidamente e, portanto, tais períodos são cumulativos e reduzirão a vida das pás. Os períodos de operação a baixa frequência, devem ser reservados para os casos em que tais condições contribuam materialmente para a melhoria da operação do sistema.

Tendo em vista os itens 3.4.1 e 3.4.2 citados, é de todo conveniente dotar o sistema de recursos suficientes para evitar a possibilidade de operação em baixos níveis de frequência.

4.0 - NECESSIDADE DAS USINAS TERMOELETRICAS

Como já foi dito no item 2.0, as usinas termoelétricas funcionam como um regularizador dos níveis dos reservatórios, e como tal, representam uma necessidade, mesmo dentro de um sistema como o da região centro-sul, que dispõe de grande potencial hidráulico.

Nesse sistema, a operação de uma usina termoelétrica pode variar, dependendo das circunstâncias, desde simplesmente o atendimento aos picos de carga até o funcionamento em carga-base.

a) atendimento aos picos de carga:

Em períodos de chuvas, quando a disponibilidade de água é suficiente, as usinas hidroelétricas, trabalham como carga-base. O gráfico IX, ilustra uma tal situação simplificada, onde observamos

a operação das usinas hidroelétricas a fio d'água e também as de acumulação ou seja, que dependem de reservatórios de água, como usinas de base e as usinas termoelétricas, atendendo às variações de carga⁺, e suprimindo as demandas de pico. Cabe observar que em casos como este, quando mais de uma usina termoelétrica estiver presente no sistema, a sincronização das unidades para atendimento às demandas de pico, seria feito sucessivamente, na ordem decrescente dos rendimentos térmicos, dese que outros fatores não impeçam este procedimento, que seria o mais econômico em termos de produção (custo).

b) operação de carga-base

No mesmo gráfico IX, na parte inferior, podemos visualizar a situação inversa correspondentes a um período de seca prolongada. Nessas condições, a carga base seria suprida por usinas termorlétricas, de modo a poupar as reservas das usinas hidroelétricas, de acumulação, permitindo o controle da queda de nível nos reservatórios. As usinas a fio d'água operariam ainda como base, porém, devemos levar em conta que a vazão disponível de água estará reduzida em épocas de seca, reduzindo como consequência a produção.

Dentro desses dois extremos, ocorrem situações intermediárias de secas pouco pronunciadas, nas quais um planejamento adequado indicará a utilização ótima da disponibilidade termoelétrica.

Variações de carga⁺ - Não nos referimos, necessariamente, as flutuações de carga decorrentes de uma situação de controle de frequência poderá ser efetuado pelas hidroelétricas.

Podemos exemplificar o exposto, através dos gráficos: V, VI, VII, e VIII, que representam as variações anuais de carga nos anos.

de 1968 a 1971, para a Usina Termoelétrica Piratininga. Durante o ano de 1968, ocorreu uma seca pronunciada, que obrigou a Usina Piratininga operar em carga-base a partir de meados do ano. No ano seguinte, quando se esperava melhoria da situação, a seca continuou, praticamente durante o ano todo, reduzindo drasticamente a disponibilidade de água nos reservatórios. Durante esses anos, o sistema pôde ser mantido, graças à contribuição das usinas termoelétricas. Nos anos de 1970 a 1971, verificou-se uma situação hidrológica bastante favorável, razão pela qual a produção da Usina Piratininga foi mantida num mínimo necessário como complementação da energia hidroelétrica, com excessão dos meses de Março a Outubro, quando a produção foi novamente aumentada, para atender a necessidade de uma concessionária de outra área.

No caso do norte: nordeste do Brasil, onde os recursos hídricos para efeito de aproveitamento energéticos são escassos, as usinas termoelétricas seriam uma solução adequada para suprir as necessidades crescentes da região. Aliás, nas localidades cujo acesso é difícil por vias terrestres, o pequeno volume representado por combustíveis nucleares, favorecendo sobremaneira o transporte, sugere a conveniência da implantação de usinas termoelétricas, utilizando a energia atômica.

De outra parte, no extremo sul do país, usinas termoelétricas de pequeno porte, foram construídas nas proximidades das minas de carvão, com finalidade de consumir o "carvão vapor" obtido no processo de depuração do carvão metalúrgico. Desta forma, além de resolver o problema do consumo de um sub-produto de difícil aproveitamento, contribui sensivelmente para o suprimento energético - daquela região

5.0 - CONCLUSÃO

Ao lado do crescente aproveitamento do enorme potencial hidroelétrico de que dispõe o nosso país, notamos, através do desenvolvimento do trabalho, que a energia termo-elétrica representa algo de indispensável no balanceamento do suprimento de energia elétrica.

Mesmo a desvantagem representada pela necessidade do consumo de um combustível por vezes custoso, é perfeitamente superada - pelas indiscutíveis vantagens advindas de sua gradativa implantação como complementação da energia hidroelétrica.

São Paulo, Fevereiro de 1972

TEMPERATURA DE AJUSTE

TEMPERATURA DO VAPOR PRINCIPAL X TEMPERATURA DO METAL NA TURBINA DE ALTA PRESSÃO PARA VÁRIOS VALORES DA PRESSÃO DO VAPOR PRINCIPAL

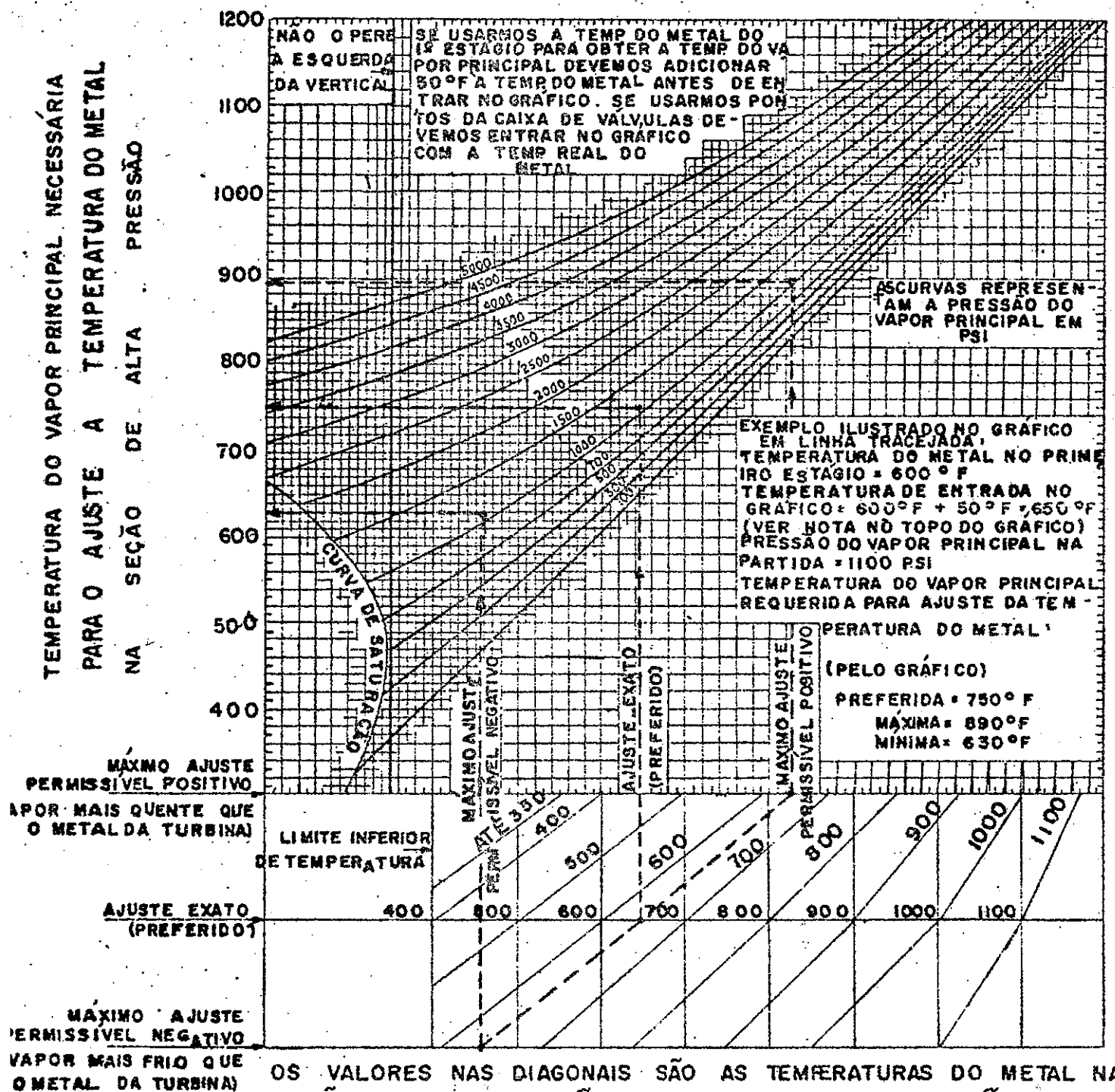


GRÁFICO I

TEMPOS DE PARTIDA RECOMENDADOS EM FUNÇÃO DA MAIS ALTA TEMPERATURA DO METAL DO ESTÁGIO DE ALTA PRESSÃO

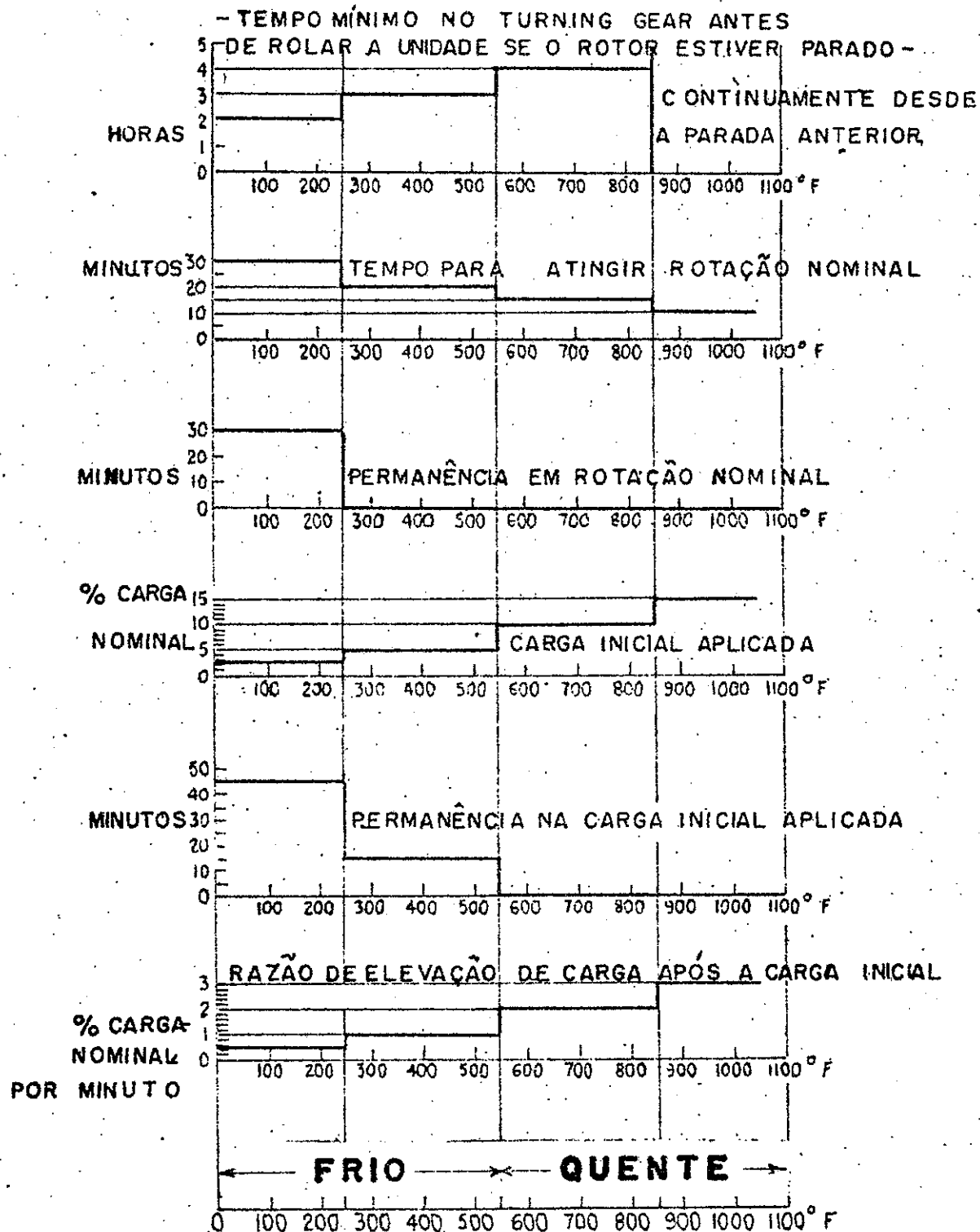


GRÁFICO I

Unidade 1 e 2

Faixas de nº de Maçaricos X Carga

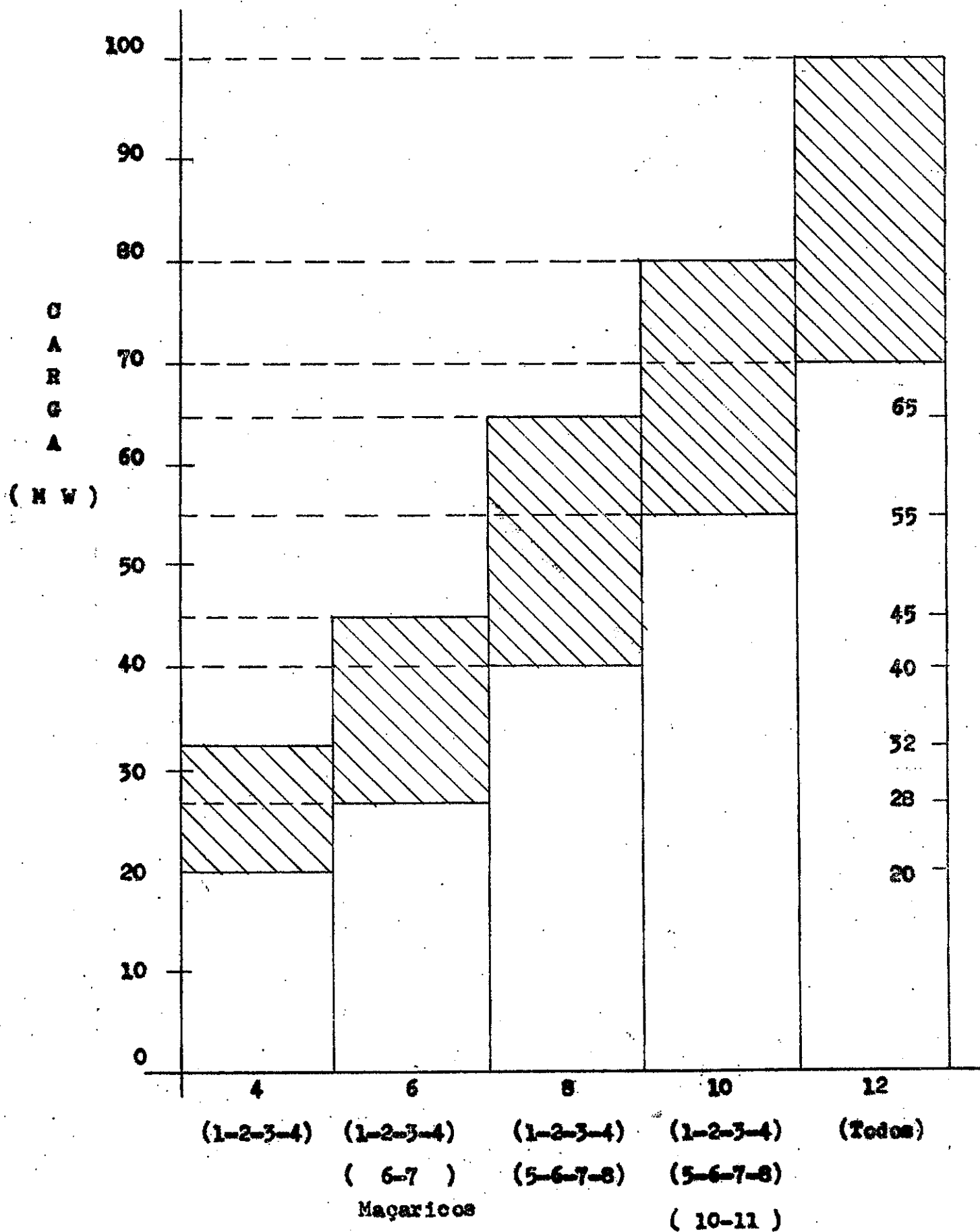


GRÁFICO III

LIMITES DE BAIXA FREQUÊNCIA

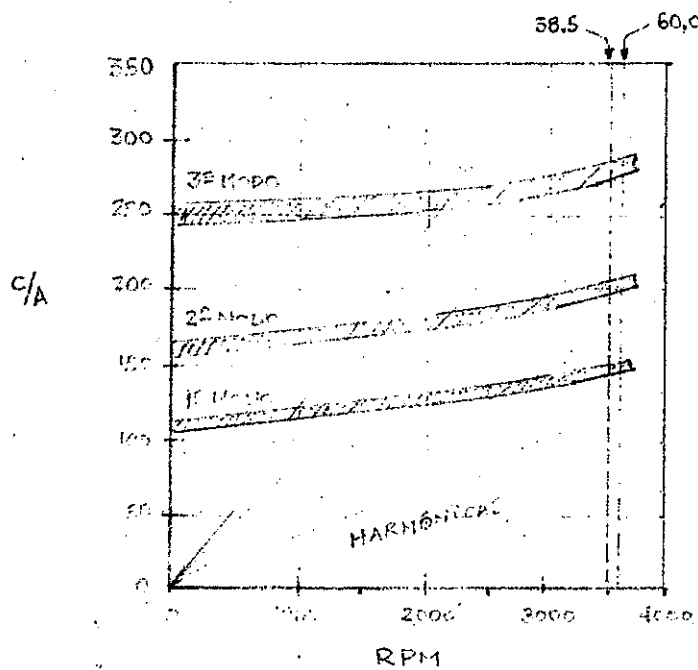


GRÁFICO IV

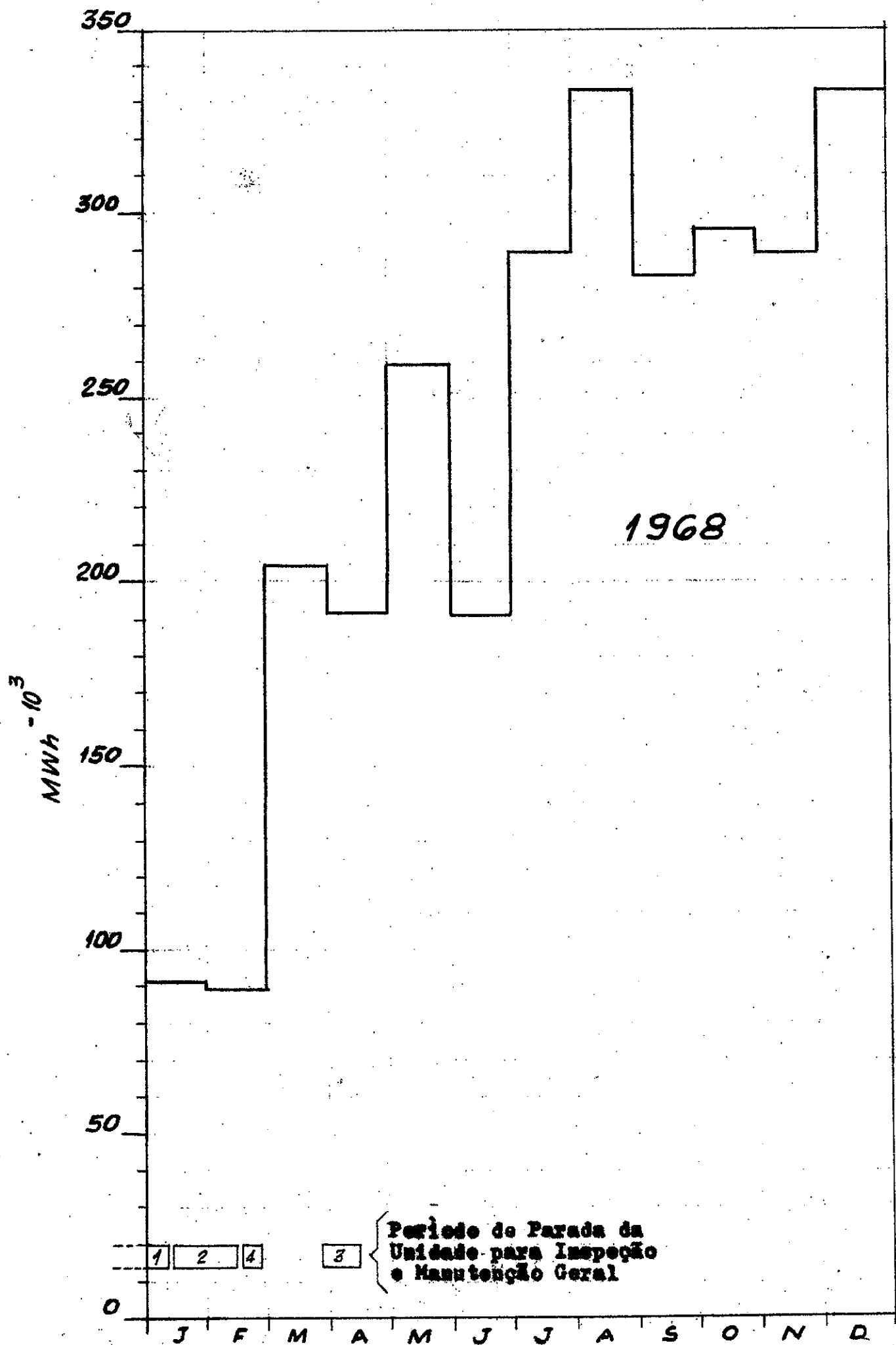


GRÁFICO V

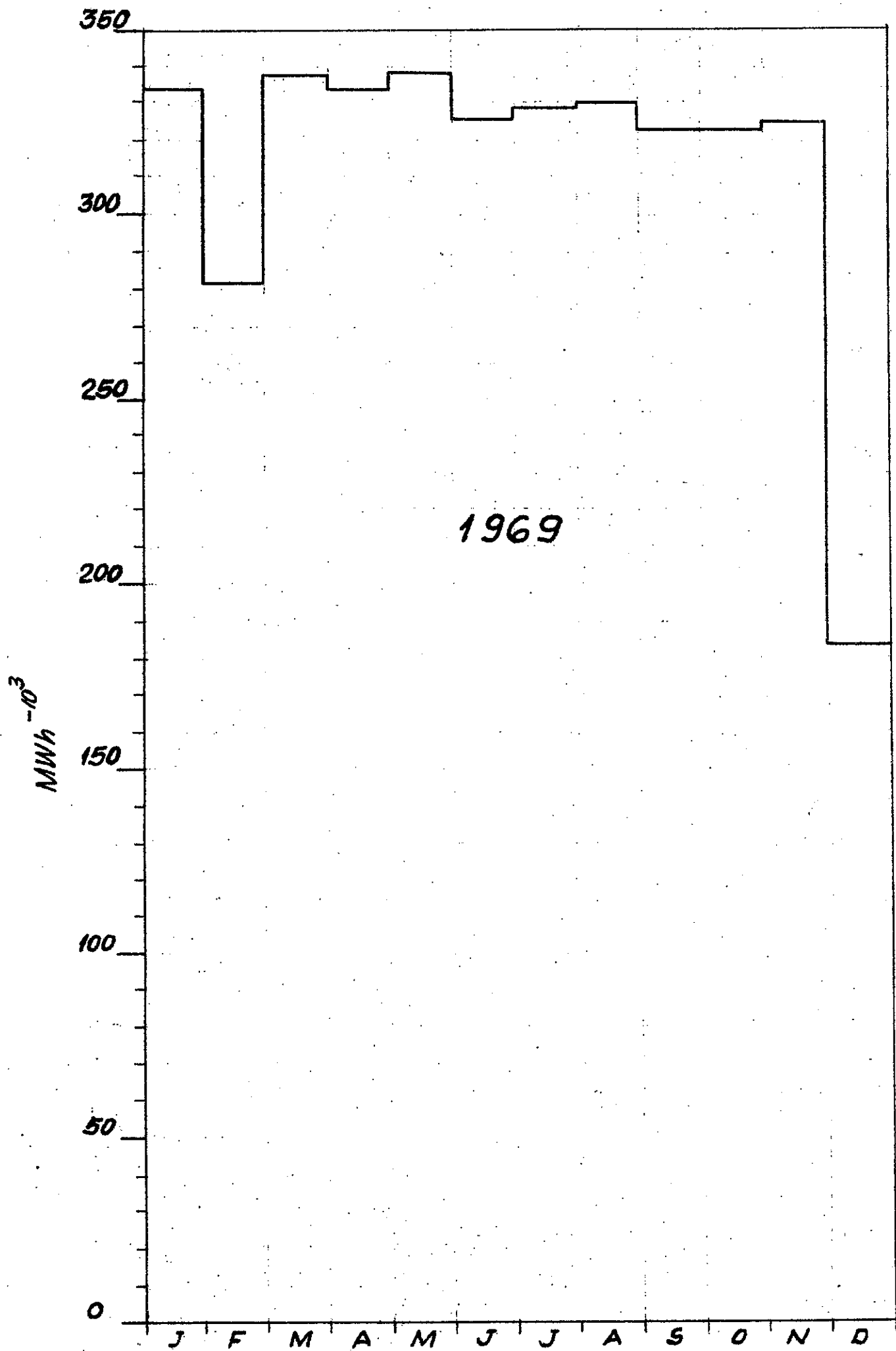


GRÁFICO VI

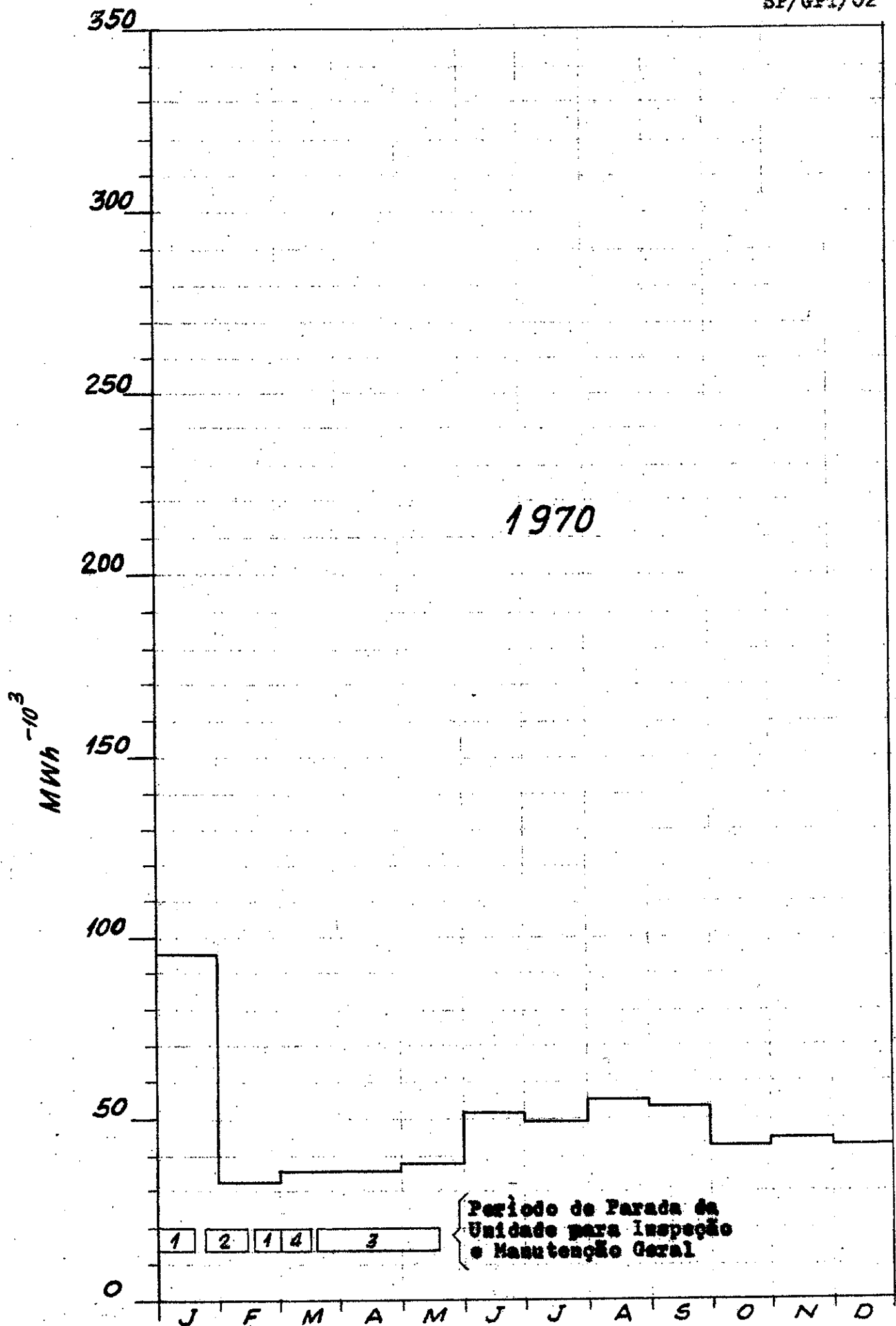


GRÁFICO VII

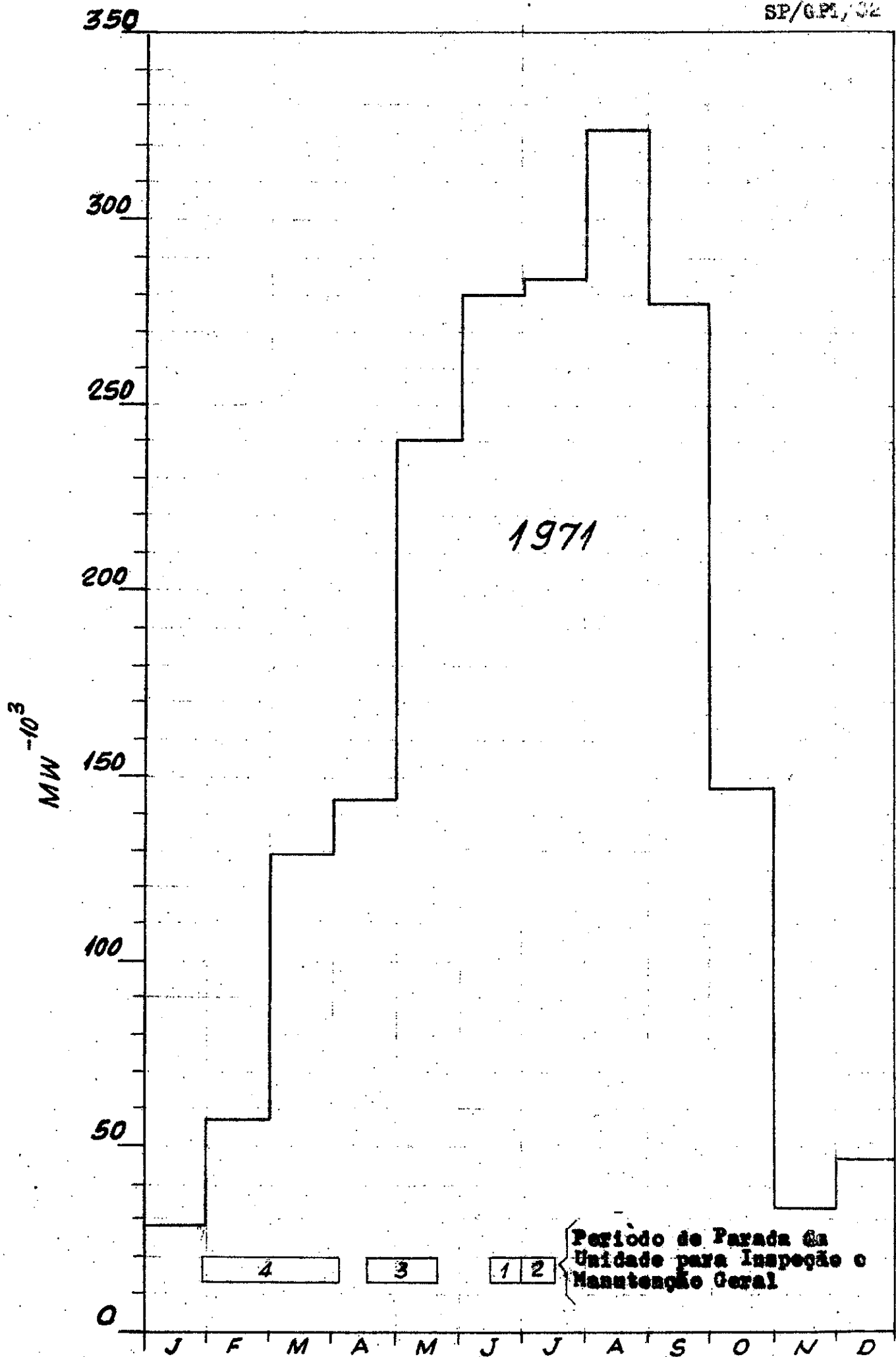


GRÁFICO VIII

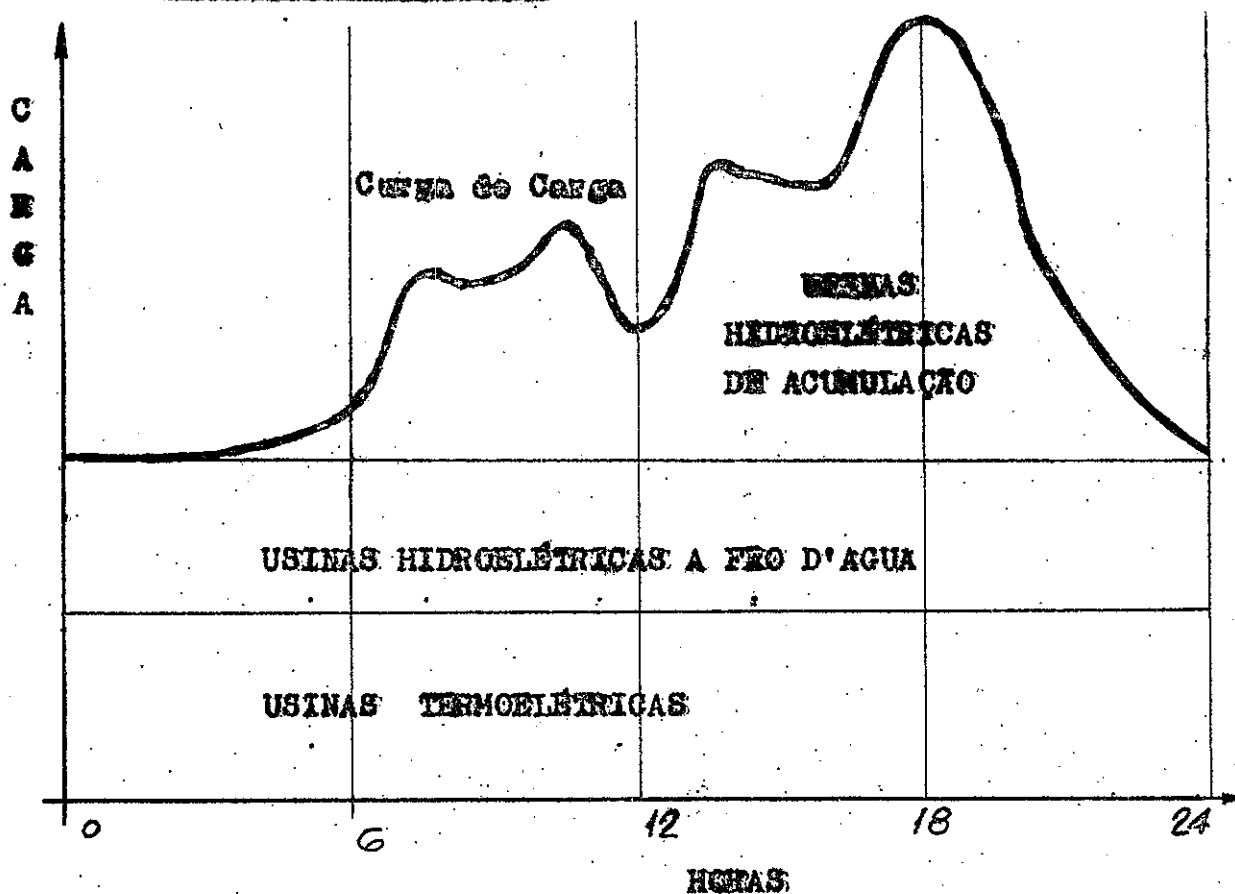
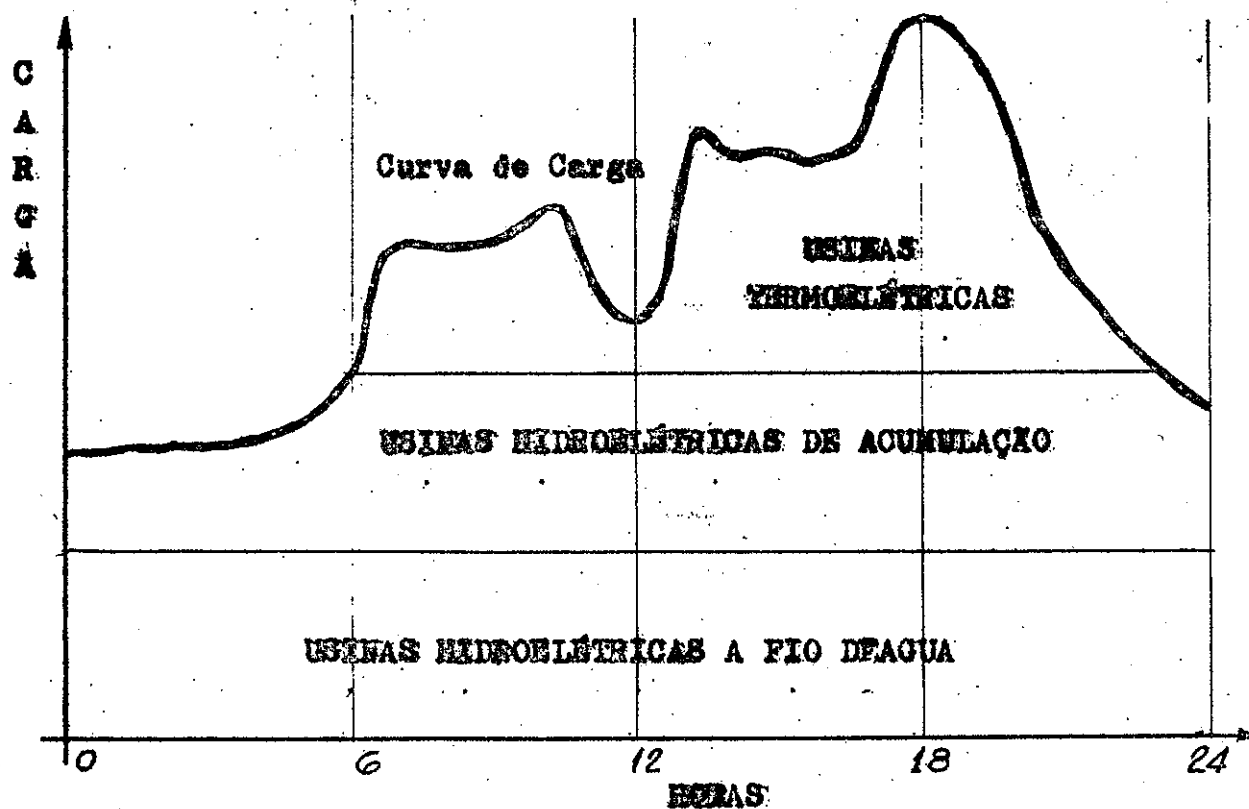


GRÁFICO IX