



São Paulo, 10/15 de Abril de 1972

---

GRUPO DE ESTUDOS DA TRANSMISSÃO

BATERIAS PARA CENTRAIS E SUBESTAÇÕES  
ELÉTRICAS

Engº José Eduardo Debatim Cardoso

Engº Luiz Alberto D. Concli

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SÃO PAULO S.A. - CESP

## BATERIAS PARA CENTRAIS E SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS

### 1.0 OBJETIVO

Este trabalho visa comparar técnica e economicamente os diversos tipos de bateria utilizados para alimentar serviços auxiliares de corrente contínua em Centrais Geradoras e Subestações Elétricas.

Por outro lado, também serão apresentados históricos e características básicas dos diversos tipos de baterias analisados.

### 2.0 TIPOS DE BATERIA

Em Centrais e Subestações Elétricas, a bateria do tipo estacionário é fornecida como parte de um conjunto de equipamentos para fornecimento de energia elétrica, como fonte independente e confiável. Desta forma, a bateria evita a interrupção dos serviços auxiliares essenciais da Usina ou Subestação.

Para atender sua finalidade a bateria deverá funcionar em regime de flutuação, serviços cíclicos e picos de carga. - As baterias normalmente utilizadas para cobrir estes requisitos são as de níquel-cádmio e as de chumbo-ácido.

As baterias níquel-cádmio são geralmente selecionadas para uma capacidade nominal de 5 horas de descarga e as de chumbo-ácida são do tipo Planté ou de placa positiva tubular, para uma capacidade de descarga de 10 horas.

### 3.0 HISTÓRICO DAS BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO

O primeiro acumulador recarregável, comercialmente bem sucedido, foi introduzido por Gaston Planté em 1859. Até seu desenvolvimento não tinha sido possível encontrar nenhuma capacidade aproveitável em um acumulador.

Planté resolveu o problema fundindo a placa positiva de

chumbo tornando-a profundamente ondulada. Uma corrente na direção de carga foi então passada e a superfície do chumbo foi moldada com dióxido de chumbo. A função da superfície ondulada era fornecer uma grande superfície de material ativo e a ondulação foi feita para dar uma área superficial igual a sete (7) vezes a superfície aparente da placa.

Durante muitos anos este projeto forneceu a base para todas as baterias estacionárias de chumbo-ácido, porém com uma grande desvantagem. Durante os ciclos de descarga e carga, devido ao dióxido de chumbo se transformar em sulfato de chumbo e reverter novamente, a expansão e contração produz uma película de dióxido de chumbo que se desprende da placa e é convertida em depósito.

O processo é repetido em cada ciclo de descarga e carga e acaba por desgastar a placa e simultaneamente constituir depósito no fundo do elemento. Na bateria estacionária do tipo Planté convencional, isto é resolvido deixando-se um grande espaço abaixo das placas para acomodar o depósito crescente e empregando-se uma placa de chumbo bastante espessa (12 mm) de modo a compensar a erosão progressiva durante sua vida.

Devido ao fato da placa ficar progressivamente mais fina, torna-se mecanicamente mais fraca e tende a empenar e a alongar sob a ação de seu próprio peso.

A bateria Planté convencional foi aperfeiçoada posteriormente usando uma placa positiva de secção mais fina (8 mm) com uma placa negativa do tipo empastado de maneira a permitir que mais placas sejam usadas em um dado elemento e fornecendo uma superfície de área total duas vezes maior do que o velho padrão Planté.

Por causa da maior deterioração da bateria do tipo Planté convencional, resultante da perda de material ativo da superfície da placa, tornou-se lógico procurar meios de evitar esta perda.

Várias formas de retentores foram experimentados. Uma com algum grau de sucesso foi um tubo de ebonite perfurado para permitir a passagem do eletrólito.

Mais tarde, foi descoberto que usando-se um tubo de p.v.c. perfurado com um diâmetro de perfuração maior, permitindo amplo contato entre o material ativo e o eletrólito. Aliado com um armazenamento em fibra de vidro trançado, o material ativo poderia satisfatoriamente ser retido mesmo durante períodos razoáveis de sobrecarga e descarga exaustiva. Esta construção proporciona praticamente retenção completa do material ativo durante as condições de operação normal por muitos anos.

A bateria tubular plástico/vidro encontrou agora grande aceitação para serviços estacionários em toda a Europa. A primeira destas baterias foi instalada em uma importante central telefônica de um correio na Suécia há 17 anos atrás e ainda está funcionando satisfatoriamente.

O depósito neste tipo de bateria é mínimo no final de sua vida útil normal, não havendo qualquer perigo de curto-circuito. Como o material ativo da placa é alojado dentro do tubo, não existe nenhum ponto que permita exame visual, o que aliás hoje é considerado um dos métodos menos confiáveis de avaliar a condição da bateria.

O projeto multi-tubular plástico/vidro tem sido adotado pelas autoridades do Correio para serviço de telecomunicações na Suíça, Suécia, Índia e é usada extensivamente na Alemanha Ocidental. O Correio Britânico e a Usina Nuclear-Hartlepool serão equipados completamente com baterias deste tipo.

A faixa de baterias estacionárias do tipo plástico/vidro se estende desde 94 Ah até 2.128 Ah.

#### 4.0 HISTÓRICO DAS BATERIAS ALCALINAS DE NÍQUEL-CÁDMIO

As baterias de níquel-cádmio surgiram em 1899 com os trabalhos do professor sueco Waldemar Jungner. Ele construiu o

primeiro acumulador alcalino utilizando como eletrólito o hidróxido de potássio e eletrodos de níquel e cádmio.

Podemos classificar as baterias de níquel-cádmio da seguinte forma:

- a) Baterias seladas ou hermêticamente fechadas
- b) Baterias abertas
  - b<sub>1</sub>) placas sinterizadas
  - b<sub>2</sub>) placas tubulares
  - b<sub>3</sub>) placas de bolsa

As baterias alcalinas seladas surgiram em 1940 na França - construídas por Neumann e Gottesman. Nestas baterias os gases libertados durante a operação normal são recombinados, permitindo perfeita hermeticidade. As baterias seladas tiveram grande aceitação aplicadas em equipamentos portáteis. Em usinas e subestações este tipo de bateria somente é utilizado em alguns equipamentos especiais de comunicação e foge ao objetivo deste trabalho.

As baterias alcalinas de placas sinterizadas surgiram em 1930 na Alemanha e possuem algumas vantagens em relação aos outros tipos de baterias alcalinas, tais como: menor tamanho, menor resistência interna e vida mais longa.

O custo elevado desta bateria limitou sua aplicação a equipamentos de aeronáutica, marinha, fins militares, etc.

As baterias alcalinas tubulares se equivalem às de placa de bolsa em suas aplicações e possuem algumas vantagens sobre as mesmas tais como maior resistência à deformação e vida útil maior.

Seu custo mais elevado que as baterias de placas de bolsa tornou sua fabricação bastante reduzida.

As primeiras baterias recarregáveis de níquel-cádmio, usavam material ativo em pó, prensada e alojada em bolsas de aço perfuradas. Este princípio de construção permanece -

inalterado até hoje.

A longa vida em regime de flutuação e o custo baixo das baterias de placa de bôlsa em relação às outras baterias - alcalinas mencionadas, as tornam adequadas às aplicações - em estudo. Por êsse motivo, será levado em consideração sômente êsse tipo de bateria alcalina na análise que se segue.

#### 5.0 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO

Após a descrição do histórico das baterias de chumbo-ácido, apresentamos a seguir um resumo das principais vantagens das baterias de placas tubulares em relação às do tipo Planté:

- a) Menor volume para a mesma capacidade.
- b) Não requerem montagem no local. A bateria tipo Planté é fornecida tôda desmontada, sendo necessário o envio de montadores para o local de utilização.
- c) São sêco-carregadas, podendo assim serem armazenadas durante vários anos, antes do início de funcionamento.
- d) Possuem válvulas retentoras que evitam a presença de gases corrosivos.
- e) Maior espaço reservado para o eletrólito acima das placas.
- f) Não há desprendimento da massa ativa das placas positivas.
- g) As placas positivas é de liga de chumbo, material mais econômico.
- h) Comercialmente são mais baratas.
- i) Podem ser recarregadas com baixa tensão (abaixo de 2,40 volts/elemento), praticamente sem desprendimento de gases. Dentro de um tempo determinado, a perda de água do eletrólito é insignificante.

- j) Não existe o fenômeno do "envenenamento" de antinômio - que se desprende da placa positiva e passa para a placa negativa durante a vida útil da bateria (Tipo Demi-Plan<sub>té</sub>).
- l) A liga de chumbo diminui enormemente a eletrocorrosão - normal das grades, proporcionando ainda uma melhoria na estrutura mecânica e conseqüentemente maior vida útil.

Deixamos de analisar a bateria do tipo chumbo-cálcio, propositadamente, pois ela somente pode atuar em regime de flutuação, e não se presta ao tipo de aplicação abordado.

## 6.0 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO DO TIPO TUBULAR E ALCALINA DE PLACA DE BÔLSA

### 6.1 - Generalidades

Do estudo anterior verificamos que, entre as baterias do tipo chumbo-ácida, a de placas tubulares é a que reúne maiores vantagens técnicas. Por outro lado, a bateria alcalina de placa de bôlsa, segundo histórico feito, é, entre as alcalinas, a que melhor se adapta ao caso de Usinas e Subestações Elétricas.

Complementando este trabalho, apresentamos a seguir uma análise comparativa entre bateria chumbo-ácida do tipo tubular e alcalina de placa de bôlsa.

### 6.2 - Tabela dos Dados Técnicos Principais

Vide quadro 6.2-1.

### 6.3 - Características Gerais das Baterias Analisadas

#### 6.3.1- Confiabilidade

A confiabilidade é um dos pontos fundamentais do desempenho de uma bateria, quando aplicada nos sistemas de proteção de uma Usina ou Subestação.

Analisando a densidade do eletrólito de uma bateria chumbo-ácida, verificamos que ela varia entre 1,30 e

1,15 g/cm<sup>3</sup> a 25°C, aproximadamente, quando a bateria passa do estado de carga completa a descarga completa. Isto pode ser explicado pela formação de água durante a descarga da bateria. A água é menos densa que a solução de ácido sulfúrico e o sulfato de chumbo tende a cristalizar-se nas placas.

Portanto, sob o aspecto de confiabilidade, a medição de densidade do eletrólito da bateria chumbo-ácido nos fornece uma informação segura do estado de carga da bateria, principalmente se a compararmos com a medição anterior. Nas baterias alcalinas isto não é possível porque a densidade do eletrólito não varia para qualquer estado de carga da bateria, havendo - necessidade de se proceder uma descarga para verificar a condição da bateria ou seu estado de carga.

#### 6.3.2 - Vida útil

A bateria alcalina possui vida útil maior que a bateria ácida.

A vida útil da bateria alcalina é cerca de 20 anos - enquanto que a de chumbo-ácido é de 12/15 anos, considerando descargas diárias de 10%.

Existem no Brasil baterias de placas positivas tubulares com 15 anos de utilização, demonstrando assim, ser sua vida útil próxima a da alcalina.

#### 6.3.3 - Variação da Tensão de Saída

A variação da tensão de saída é um aspecto importante para as baterias instaladas em usinas e subestações, funcionando normalmente em regime de flutuação ou alimentando cargas leves. A variação da tensão da fonte de corrente contínua deverá ser a menor possível para o bom funcionamento dos equipamentos por ela alimentados. Variações sensíveis da tensão de saída da fonte, em relação a tensão nominal, acarretarão maiores exigências construtivas nos elementos-

que constituirão sua carga.

Neste item, a bateria chumbo-ácida possui uma vantagem nítida sobre a bateria alcalina, sob dois aspectos:

a) Descarga

A variação percentual da tensão por elemento da bateria ácida é menor que a da bateria alcalina - de níquel-cádmio.

A bateria de chumbo-ácido ao passar da condição - de plena carga para descarga completa, a tensão - em cada um de seus elementos varia de 2,0 a 1,8 v com uma tensão média de descarga de 1,9 v. Nas mesmas condições a tensão nos elementos da bate - ria alcalina varia entre 1,3 a 1,1 v com tensão - média de descarga de 1,2 v.

Adotando as tensões médias de descarga como nomi - nais, calcula-se a variação percentual da tensão - por elemento na descarga para ambos os tipos de baterias:

$$\text{bateria ácida} \quad \Delta v\% = \frac{2,0 - 1,8}{1,9} \times 100 = 10,5\%$$

$$\text{bateria alcalina} \quad \Delta v\% = \frac{1,3 - 1,1}{1,2} \times 100 = 16,7 \%$$

A maior variação percentual da tensão por elemen - to faz com que a bateria alcalina apresente varia - ções da tensão de saída bem maiores que a bateria chumbo-ácida.

b) Tensões de Funcionamento

As tensões de trabalho das baterias chumbo-ácidas se situam dentro de uma faixa mais estreita do que as alcalinas, e o número de elementos é me - nor.

Tomemos como exemplo uma bateria de 400Ah/5h para alimentar os serviços auxiliares em  $125 \pm 10\%$  de uma subestação.

A comparação entre as duas baterias possíveis nos levam aos seguintes resultados que constam no quadro 6.3.3.-1.

A menor variação de tensão da bateria chumbo-ácida possibilita uma simplificação do carregador, - podendo inclusive seu custo de aquisição ser menor.

#### 6.3.4 - Manutenção

A bateria alcalina exige menor manutenção do que a ácida, embora sob o aspecto "quantidade de mão de obra", este fator nada influi. O acréscimo de trabalho dificilmente acarretará horário extra por parte da manutenção.

A bateria chumbo-ácida, trabalhando em condições normais, necessita, uma vez por ano, uma carga de equalização com a tensão de carga adequada. É rotina de manutenção, verificar os níveis dos vasos e a densidade de um elemento denominado pilôto, pelo menos, uma vez por semana.

A bateria alcalina necessita de troca de eletrólito em períodos de 12 a 18 meses havendo necessidade de se prever local para troca do mesmo, redundando em custo maior de instalação e gasto de material.

O custo de manutenção em relação ao investimento é 40% menor na bateria chumbo-ácida comparada com a alcalina.

#### 6.3.5 - Rendimento

A bateria ácida, para os regimes de carga e descarga contínua, possui melhor rendimento que a alcalina em

W x h e A x h, a menos que a temperatura esteja muito abaixo de 0°C (-20°C por exemplo) onde a situação se inverte. Em regime de descargas curtas os rendimentos se aproximam.

#### 6.3.6 - Gases Corrosivos

A bateria alcalina possui a vantagem de não exalar gases corrosivos.

O desprendimento de gases de uma bateria chumbo-ácida é mínimo, não sendo perceptível numa sala dotada de ventilação adequada.

Esta condição também é bastante minimizada atualmente com o emprego de baterias ácidas com vedação especial. Além disso não é aconselhável a instalação de outros equipamentos na sala de baterias, sejam elas alcalinas ou chumbo-ácidas.

#### 6.3.7 - Gases Explosivos

Este fator existe para ambos os tipos de bateria. - Durante a carga exalam hidrogênio que pode formar, - com ar, mistura explosiva.

Este fator é facilmente contornável por medidas de segurança adequadas sendo bastante raro a ocorrência de explosões em salas de baterias.

#### 6.3.8 - Resistência Mecânica

As baterias alcalinas possuem resistência mecânica maior que as ácidas. Este argumento poderia ser decisivo em favor das baterias alcalinas para aplicação em aparelhos portáteis, aviões, trens, navios, etc., - onde as condições mecânicas são rigorosas. No entanto, para aplicação em subestação onde as baterias não são sujeitas a esforços ou trepidações, o fator resistência mecânica praticamente nada influirá na escolha.

### 6.3.9 - Armazenagem

Antes de entrar em operação, as baterias chumbo-ácidas sêco-carregadas podem ser armazenadas em lugares sêcos durante um tempo de aproximadamente 3 anos.

Depois da entrada em operação, as baterias alcalinas podem ser mais fãcilmente armazenadas por mais tempo do que as chumbo-ácidas.

### 6.3.10 - Auto Descarga

A auto descarga dos acumuladores de chumbo-ácido, durante 24 horas, entre as temperaturas de 0º e 30ºC - atinge até 1% da capacidade nominal. Abaixo de 0ºC a auto descarga dos acumuladores de chumbo é muito lenta.

A auto descarga nas baterias alcalinas é bem menor - que nas de chumbo. Para as baterias de níquel-cádmio a perda durante 30 dias, entre 0º e 30ºC, é da ordem de 15 a 20%.

Numa temperatura ambiente média de 20ºC a auto descarga dos acumuladores alcalinos é mais rápida no início, e depois bem mais lenta. Assim, nas baterias de níquel-cádmio a auto descarga cessa quase por completo depois de 1,5 a 2 meses.

Para a aplicação em Usinas e Subestações, onde as baterias trabalham em regime de flutuação, a auto - descarga pode ser negligenciada.

### 6.3.11 - Resistência Interna

A bateria ácida possui resistência interna menor que a alcalina, permitindo correntes de curta duração de maior intensidade. Também exige uma proteção adequada dos fusíveis, mas sem que isso vá onerar o custo da instalação.

### 6.3.12- Custo de aquisição

O preço de aquisição de uma bateria alcalina é pelo menos o dôbro de uma bateria chumbo-ácida do tipo tubular. Este fator se acentuará se considerarmos a aquisição de baterias de reserva.

A redução do custo inicial é importante, porque o investimento em usinas e subestações começa a ser rentável após alguns anos de funcionamento. Também os juros incidem sobre um investimento inicial menor.

### 6.4 - Quadro Resumo das Características Gerais das Baterias Estudadas

Vide quadro 6.4-1.

## 7.0 CONCLUSÃO

Em algumas usinas e subestações nacionais foram utilizadas baterias alcalinas, pois apresentavam menos problemas de manutenção que as ácidas do tipo Planté, até então existentes. No entanto com o advento da bateria ácida tubular de tecnologia recente a maioria dos problemas foram sanados - não se justificando mais o emprêgo de baterias alcalinas.

Tendo em vista as vantagens técnico-econômicas significativas da bateria chumbo-ácida de placa tubular em relação aos demais tipos de baterias ácida ou alcalina, recomenda-se para aplicações em Centrais e Subestações Elétricas, o uso dêste tipo de bateria.

APÊNDICEI - Recomendações nas instalações de baterias

1. Toda cablagem deverá ser aérea e a uma altura não inferior a 1 metro do piso.
2. O chão deverá ser recoberto de material resistente ao ataque do eletrólito e provido de canaletas e ralos para escoamento rápido.
3. Nenhum interruptor ou tomada elétrica poderá existir na sala de baterias. Deverão ser externos.
4. Não deverá incidir luz solar diretamente sobre os vasos, principalmente se estes forem transparentes. A iluminação deverá ser com lâmpadas incandescentes e com proteção.
5. A sala de baterias deverá ser bem arejada e localizada de preferência nos cantos da casa de comando, de forma a receber ventilação por duas faces.  
Dependendo da instalação deverá ser providenciada uma ventilação forçada.
6. Nenhum outro equipamento deverá ser colocado na sala de baterias a não ser os acessórios destinados a manutenção das mesmas, tais como: densímetros, termômetros, etc.
7. Deverão ser afixados avisos "PROIBIDO FUMAR" na porta da sala de baterias.
8. O acesso a sala de baterias deverá ser feito de preferência pelo lado de fora da casa de comando, evitando comunicação com outras dependências da usina ou subestação.  
Se por algum motivo especial, o acesso à sala de baterias não puder ser feito pelo lado externo recomenda-se os seguintes cuidados:
  - a) Porta dupla com ante-câmara para evitar a difusão de

hidrogênio ou vapores corrosivos, pelas outras dependências.

- b) A soleira da porta da sala de baterias deverá possuir ligeiro ressalto, evitando que o eletrólito se espalhe em casos de acidente.

Este ressalto deverá ter bordas inclinadas para permitir o uso de carrinhos-de-mão no transporte e também para evitar acidentes com o pessoal.

9. Os vasos dos elementos das baterias podem ser construídos com vários materiais como: ebonite, vidro, madeira revestida com chumbo (sômente para baterias ácidas), aço niquelado (sômente para baterias alcalinas) e vários outros tipos de plásticos.

Os vasos de ebonite sofrem o risco de estufarem, principalmente nas baterias de grande porte.

Os vasos de madeira revestidos com chumbo são usados para baterias de alta capacidade com elementos de grande porte. Apresentam boas qualidades mecânicas mas são pesados e exigem maior manutenção.

Os vasos de vidro ou materiais transparentes possuem a vantagem da inspeção visual, direta dos níveis do eletrólito do empenamento das placas ou da formação de depósitos no fundo do vaso.

Os vasos de vidro podem não ser econômicos principalmente para baterias de grande porte e exigem cuidados especiais no transporte.

BIBLIOGRAFIA

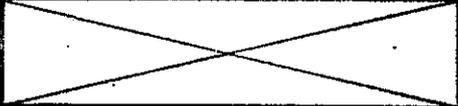
1. El Electricista de Acumuladores - L.G. Semionov
2. Standard Handbook For Electrical Enginners - Fink e Carroll  
10ª Edição
3. Estações Transformadoras - Zopetti
4. Estudo Comparativo dos Diversos Acumuladores Chumbo-Ácido -  
para Fins Estacionários - Édio Vieira de Azevedo - 1969
5. Bateria de Acumuladores Elétricos Para Centrais e Subesta  
ções Elétricas - Édio Vieira de Azevedo - 1969
6. Acumuladores Elétricos - Édio Vieira de Azevedo - 1969
7. Plastic/Glass Tubular Design Brings Advances in Stationary  
Batteries - Heatlie - Jackson - Electrical Review - 18/06/ -  
/1971
8. Catálogos Diversos - Nife
9. Catálogos Diversos - Exide

São Paulo, fevereiro de 1972.

QUADRO 6.2 - I

| CARACTERÍSTICAS      | CHUMBO — ÁCIDA<br>PLACAS TUBULARES | NIQUEL — CÁDMIO<br>PLACAS DE BÔLSA |
|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| CAPACIDADE (Ah / Kg) | 16                                 | 16                                 |
| CAPACIDADE (Ah / l)  | 42                                 | 35                                 |
| CAPACIDADE (Wh / Kg) | 26                                 | 20                                 |
| CAPACIDADE (Wh / l)  | 55                                 | 44                                 |
| TENSÃO NOMINAL (V)   | 2,00                               | 1,25                               |
| RENDIMENTO (Ah)      | 85%                                | 75%                                |
| RENDIMENTO (Wh)      | 75%                                | 60%                                |
| VIDA ÚTIL (ANOS)     | 12-15                              | 15-20                              |

QUADRO 6.3.3-1

|  | TENSÃO MÍNIMA<br>(V) | TENSÃO DE FLUTUAÇÃO<br>DA BATERIA (V) | TENSÃO MÁXIMA<br>(V) |
|---|----------------------|---------------------------------------|----------------------|
| SUBESTAÇÃO  | 112,5                | —                                     | 137,5                |
| CHUMBO-ÁCIDA 60 ELEMENTOS   | 112,8                | 129                                   | 139,8                |
| ALCALINA 96 ELEMENTOS   | 112                  | 134,4                                 | 163,2                |

QUADRO 6.4 - I

| DISCRIMINAÇÃO               | CHUMBO-ÁCIDA<br>(PLACAS TUBULAR) | ALCALINA<br>(PLACA DE BÔLSA) |
|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| CONFIABILIDADE              | MAIOR                            | MENOR                        |
| VIDA ÚTIL                   | MENOR                            | MAIOR                        |
| CUSTO DE AQUISIÇÃO          | MENOR                            | MAIOR                        |
| VARIAÇÃO DA TENSÃO DE SAÍDA | MENOR                            | MAIOR                        |
| MANUTENÇÃO                  | MAIOR                            | MENOR                        |
| CUSTO DE MANUTENÇÃO         | MENOR                            | MAIOR                        |
| RENDIMENTO                  | MAIOR                            | MENOR                        |
| GASES CORROSIVOS            | MÍNIMO                           | NENHUM                       |
| GASES EXPLOSIVOS            | MÍNIMO                           | MÍNIMO                       |
| RESISTÊNCIA MECÂNICA        | MENOR                            | MAIOR                        |
| ARMAZENAGEM                 | DIFÍCIL                          | FÁCIL                        |
| AUTO-DESCARGA               | MAIOR                            | MENOR                        |
| RESISTÊNCIA INTERNA         | MENOR                            | MAIOR                        |