



## **COORDENAÇÃO DE PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE EM INSTALAÇÕES COM MOTOR DE INDUÇÃO COMO CARGA PREDOMINANTE**

*Paulo José Stival Coelho<sup>1</sup>; Antônio Manoel Batista da Silva<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Universidade de Uberaba - UNIUBE, Uberaba - Minas Gerais*

*<sup>2</sup>Universidade de Uberaba - UNIUBE, Uberaba - Minas Gerais e Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, Barretos - São Paulo  
paulojstival@gmail.com;antonio.manoel@uniube.br*

### **Resumo**

A análise da coordenação da proteção de sobrecorrente em instalações elétricas, que contêm máquinas de indução como cargas predominantes, se faz necessária para que seus circuitos não sejam retirados de serviço durante a partida desses motores. De fato, os motores de indução solicitam elevada corrente durante a partida, naturalmente. Essa alta corrente pode sensibilizar a proteção de sobrecorrente e quando ela atua de forma indevida pode causar danos materiais e prejuízos financeiros para as instalações em questão. Para reduzir a corrente de partida desses motores existem várias técnicas, porém se a carga do motor exigir alto torque inicial, a redução de tal corrente às vezes não é suficiente para adequar sua magnitude aos limites exigidos. Neste contexto, o presente trabalho tem o objetivo de propor uma possível solução para esta adversidade. Para sua realização, uma unidade com proteção por meio de um relé secundário e um motor de 600 CV como carga predominante foi considerada. O estudo de coordenação foi realizado utilizando como ferramenta, o programa Excel para elaboração dos gráficos. Após um embasamento teórico por meio de artigos científicos, livros e normas da área, os gráficos com as curvas do sistema coordenado e não coordenado são apresentados. Com a análise realizada constatamos que para o sistema permanecer coordenado deve se ajustar o dial de tempo [dt] até que a curva do relé não cruze com a curva de partida do motor.

**Palavras-chave:** Excel. Coordenograma. Corrente de Partida. Relé Secundário.

### **1 Introdução**

O acesso à energia elétrica pelos consumidores se dá por meio das concessionárias de energia. Assim sendo, as unidades consumidoras com o intuito de acessar o sistema elétrico devem atender as normas e exigências impostas por elas. Uma dessas exigências refere-se à tensão de fornecimento. As unidades consumidoras com carga instalada maior que 75 kW, devem ser alimentadas diretamente pela rede de energia de média tensão de 13,8 kV, 22 kV ou 34,5 kV, (Cemig, 2015).

Pode-se verificar também que existem alguns padrões definidos em relação à proteção. Qualquer unidade consumidora com capacidade instalada maior que 300 kVA deve ter exclusivamente proteção por meio de relé secundário e disjuntor em média tensão, (ABNT, 2005).

Em casos de proteção por meio de relé deve se apresentar a concessionária um coordenograma. Este coordenograma é um gráfico contendo as curvas dos dispositivos de proteção como do relé secundário e de disjuntores. Caso necessário deve conter também as curvas e pontos críticos dos equipamentos do sistema.

As demandas maiores são consumidas majoritariamente em unidades industriais que apresentam principalmente cargas como as de motores de indução.

No campo dos acionamentos industriais avalia-se que de 70 a 80% da energia elétrica consumida pelo conjunto de todas as indústrias seja transformada em energia mecânica por motores elétricos (Fanchi, 2008).

## 9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015

Apesar do uso em larga escala, os motores de indução apresentam uma desvantagem devido à alta corrente no momento da partida necessária para retirá-lo da inércia. Esta corrente pode alcançar de seis a dez vezes a corrente nominal do equipamento (Mamede Filho, 2010).

No entanto, essa desvantagem pode ser minimizada, pois existem várias técnicas empregadas para diminuir a corrente de partida. Algumas delas são: partida com chave estrela-triângulo, partida com chave compensadora e com chave eletrônica de partida suave também conhecida como *softstarter*.

Devido às características de partida é necessário incluir a corrente do motor na análise de coordenação. Pois esta corrente pode sensibilizar o relé de sobrecorrente que provocaria a abertura do disjuntor geral, retirando de serviço a unidade consumidora sem a real necessidade. Caso ocorra este problema, à unidade consumidora, caracteriza que o sistema de proteção não está em coordenação.

Posto que a “coordenação é uma estratégia de proteção, onde para qualquer corrente de curto circuito, há uma escada de tempo no sentido do relé de vanguarda para os relés de retaguarda, de modo a garantir e permitir seletividade no desligamento do sistema” (Kindermann, 1999).

No caso da ausência de energia de forma indevida, o consumidor pode sofrer prejuízos. Para unidades consumidoras que usam energia em sua linha produção, esta ausência pode acarretar perdas financeiras. No caso de unidades consumidoras que possuem equipamentos sensíveis a variações bruscas de tensão, estas podem sofrer danos materiais devido à queima de equipamentos. Portanto, "em nenhum momento a proteção deve atuar se não existe defeito" (Caminha, 1977).

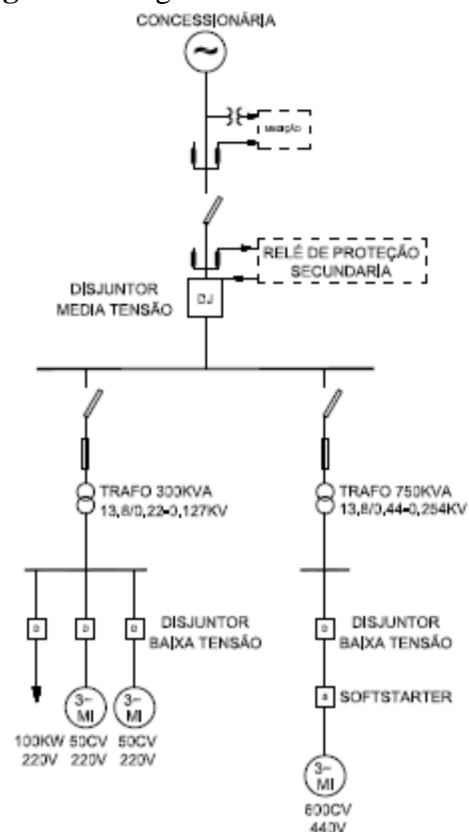
Dentro dessa perspectiva, o objetivo deste trabalho é apresentar uma possível solução para que o sistema analisado permaneça coordenado durante a partida de um motor de maior porte. Mantendo assim, a unidade

consumidora energizada durante e após este acontecimento.

### 2 Instalação com motor de indução como carga predominante

O sistema investigado representado na figura 1 por seu diagrama unifilar apresenta, na média tensão, proteção por um relé secundário e por um disjuntor. Ele contém dois transformadores. Um deles é de 300 kVA, 13,8 kV/220-127 V e o outro é de 750 kVA, 13,8 kV/440 V, sendo estes com  $Z=4,5\%$ . O transformador de 750 kVA alimenta um motor de indução trifásico de 600 CV com partida à chave eletrônica e proteção individual por disjuntor. Este motor tem corrente nominal de 700 A e corrente de partida de 7,5 vezes esse valor. O transformador de 300 kVA alimenta dois motores de 50 CV e demais cargas de potência 100 kW.

**Figura 1:** Diagrama unifilar do sistema



A demanda contratada pela unidade consumidora é de 700 kW. Com essa demanda contratada determina-se a corrente nominal

[www.uniube.br/entec](http://www.uniube.br/entec) - UNIUBE Campus Aeroporto – Uberaba/MG

## 9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015

empregando a equação 1. Onde a demanda contratada é dada em kW e a tensão nominal entre fases em kV. A corrente de partida do relé secundário é 1,05 vezes a corrente nominal. Portanto, a corrente de partida do relé é 33,46 A.

$$I_n = \frac{KW}{1,73 \times KV \times 0,92} \quad (1)$$

Uma carga para o motor de 600 CV com torque inicial alto foi considerada. Devido à necessidade de se limitar a corrente de partida foi utilizado o controle por rampa de corrente. Este tipo de controle é utilizado para adequar a corrente de partida aos limites de capacidade da rede de alimentação, (Weg, 2015).

A rampa de corrente da chave de partida do motor apresenta os seguintes parâmetros: 500% da corrente nominal com tempo de 0 a 4 segundos e 400% da corrente nominal a partir de 4 até 8 segundos.

Para proteção dos circuitos de baixa tensão, utilizam-se disjuntores ou fusíveis. Devido a suas características o disjuntor apresenta vantagens operacionais em relação aos fusíveis. Hoje em dia, nas instalações elétricas de baixa tensão, os disjuntores são muito mais usados que os dispositivos fusíveis (Cotrim, 2003).

O disjuntor do circuito do motor adotado foi o disjuntor de caixa moldada DWA1600-E da Weg de corrente nominal  $[I_n]$  igual a 1250A, com proteção eletrônica ajustável (Weg, 2015). As proteções do disjuntor são conhecidas como LTD (*long time delay*) com ajustes de corrente  $[I_r]$  e temporização  $[t_r]$ , STD (*short time delay*) com ajustes de corrente  $[I_s]$  e temporização  $[t_s]$  e instantânea com ajuste de corrente  $[I_i]$ , como mostrado na tabela 1.

O disjuntor utilizado apresenta a propriedade de  $I_2t$  para o STD, que quando ligada ( $I_2t$  on) garante a característica de tempo inverso a este trecho da curva. Sendo que, a intenção é melhor coordenar a curva do disjuntor com dispositivos situados a jusante,

tais como fusíveis e/ou correntes de partida de motores (Madergan, 2010).

**Tabela 1 - Ajustes do disjuntor.**

Proteção	Ajuste
$I_r$	$0,7 \times I_n$
$t_r$	3s
$I_s$	$5 \times I_r$
$t_s$	$0,1s(I_{2ton})$
$I_i$	$6 \times I_n$

Para a proteção da subestação da unidade consumidora foi utilizado o relé de sobrecorrente, com característica de tempo inverso. Tal relé é conhecido por suas curvas, onde quanto maior a magnitude da corrente menor é o tempo de atuação (Mason, 1956). As curvas são padronizadas em normas como IEC (*Internacional Engineering Consortium*), IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) e ANSI (*American National Standards Institute*). E alguns fabricantes de relés têm suas próprias curvas de atuação como a fabricante de relés *General Electric*.

As curvas características dos relés apresentam diferentes inclinações. A norma IEC apresenta quatro diferentes inclinações: curva inversa, moderadamente inversa, muito inversa e extremamente inversa. Todas estas curvas são regidas pela seguinte equação:

$$t = dtx \left( \frac{K}{M^{\alpha-\beta}} \right) \quad (2)$$

Sendo  $[t]$  o tempo de atuação do relé,  $[dt]$  o dial de tempo,  $[M]$  o múltiplo da corrente de ajuste do relé,  $[K][\alpha][\beta]$  constantes da equação (tabela 2).

**Tabela 2 - Constantes da Expressão 1.**

Tipo de curva	K	$\alpha$	$\beta$
Curva Inversa	0,14	0,02	1
Moderadamente Inversa	0,05	0,04	1
Muito Inversa	13,5	1	1
Extremamente Inversa	80	2	1

## 9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015

A inclinação definida pela norma da concessionária para o relé de sobrecorrente utilizado na subestação é a extremamente inversa. Isto se deve ao fato de os fusíveis utilizados na subestação e na rede da concessionária apresentarem a mesma característica. Assim sendo, ao se utilizar a mesma característica para o relé favorece-se a coordenação entre os dispositivos de proteção.

Com o propósito de verificar a coordenação do sistema, as curvas foram representadas por meio de gráficos. Sabe-se, que estes gráficos devem possuir escala logarítmica. Portanto, foi utilizado como ferramenta o programa Excel, devido à possibilidade de se obter um gráfico com tal escala.

Os dados da chave eletrônica de partida foram utilizados a fim de se determinar a curva de corrente do motor. Por outro lado, a curva do disjuntor foi retirada do catálogo do fabricante, obedecendo aos ajustes da tabela 1. Para a curva do relé adotou-se a equação 2.

O ajuste da curva do relé foi realizado variando o dial de tempo. Primeiramente o valor do dial de tempo foi ajustado em 0,1 que é sugestão da norma da concessionária. Após este primeiro ajuste o dial de tempo foi calculado. A finalidade do cálculo foi determinar o melhor ajuste da curva do relé para que sistema permaneça coordenado durante a partida do motor. Entretanto foi considerado também que o relé deve proteger os equipamentos a jusante. Logo o menor dial de tempo encontrado para atender as exigências descritas acima foi 1,2.

Salienta-se que o motor pode suportar a corrente de partida pelo tempo de rotor bloqueado a quente. Sendo assim, foi considerada uma corrente de partida de 5250 A e um tempo de rotor bloqueado 16 segundos. Além disso, para a suportabilidade do transformador foi considerado o ponto ANSI, onde  $I_{ANSI} = 698 \text{ A}$  (equação 3), com o tempo de 3 segundos (Cemig, 2015).

$$I_{ANSI} = \left( \frac{100}{Z\%} \right) \times I_n \quad (3)$$

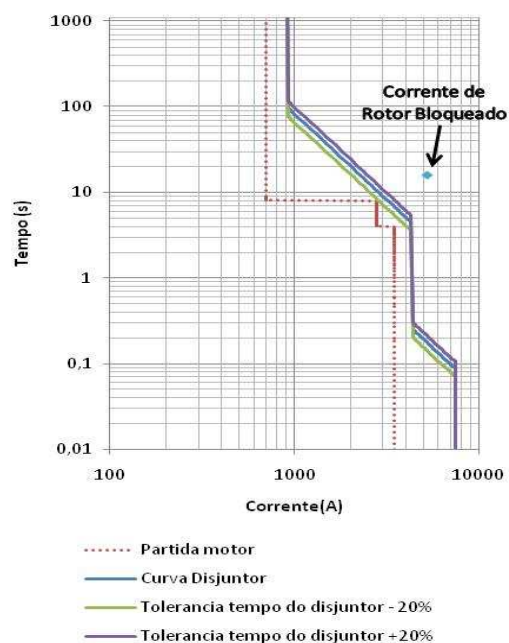
A análise dos gráficos foi executada utilizando como premissa que as curvas não deveriam se cruzar, pois neste caso o sistema não estaria coordenado. Foram também verificados os pontos de suportabilidade dos transformadores e do motor de 600 CV. A curva do relé deve ficar abaixo dos pontos dos transformadores e do motor. Além disso, a curva do disjuntor de baixa tensão deve também estar abaixo do ponto de suportabilidade do motor.

### 3 Resultados

A partir dos dados obtidos do sistema analisado e das equações foi possível representar as curvas por meio de gráficos utilizando o programa Excel.

Primeiramente apresenta-se o gráfico com a corrente de partida do motor e com a curva do disjuntor de baixa tensão. Neste gráfico, as correntes são referidas para o lado do transformador em 440 V.

**Figura 2:** Curva corrente motor + disjuntor



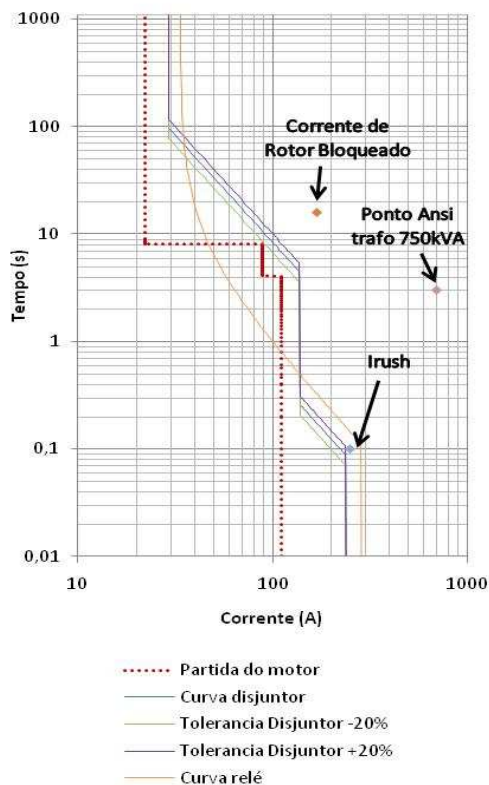
Este gráfico representa somente o trecho do circuito que contém o disjuntor e o motor de 600 CV. As curvas estão próximas em alguns pontos, porém não se cruzam, evidenciando assim que o disjuntor não atua durante a partida do motor. Nota-se que o ponto com a

## 9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015

corrente de rotor bloqueado está acima da curva do disjuntor, portanto o motor está protegido, caso falhe as proteções específicas deste equipamento (figura 2).

Em seguida é apresentado o gráfico com a corrente de partida do motor, a curva do disjuntor e a curva do relé secundário. Neste caso é usado para o relé um dial de tempo [dt] de 0,1 que é o fator multiplicativo sugerido pela concessionária. Para facilitar a análise, os gráficos das figuras 3 e 4 estão com todas as correntes referidas para o lado da média tensão. A corrente do transformador de 300 kVA não foi considerada nos gráficos, devido ao seu baixo valor em relação a corrente de partida do motor.

**Figura 3:** Coordenograma dt =0,1

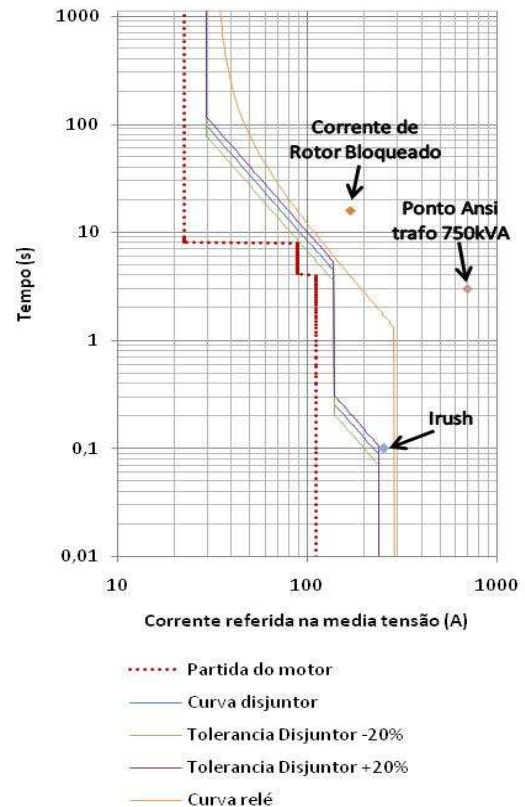


O gráfico mostrado na figura 3 representa o sistema por completo, envolvendo o trecho entre o ponto de entrada da concessionária até o motor. A curva do relé acrescentada cruza as curvas do disjuntor e do motor. Em vista disso, o relé secundário comanda a abertura do disjuntor de média tensão e assim retira a

unidade de serviço. O sistema de proteção não está em coordenação.

Por fim apresenta-se um gráfico com as mesmas curvas anteriores, porém com o dial de tempo [dt] de 1,2.

**Figura 4:** Coordenograma dt =1,2



O gráfico exibido na figura 4 representa o mesmo trecho apresentado na figura 3. Mas, neste caso a curva do relé não cruza as demais representadas no gráfico. Portanto o sistema está em coordenação. A unidade permanece em serviço. Pode ser verificado também que os pontos de suportabilidade dos equipamentos estão acima das curvas dos dispositivos de proteção, indicando que os equipamentos estão protegidos.

### 4 Discussão

Com a curva parametrizada com o [dt] igual a 0,1 a partida do motor sensibiliza a proteção de sobrecorrente do relé instalado na subestação. Pode se observar que a curva motor cruza a curva do relé secundário. Desta forma, a atuação da proteção é no sentido de



## 9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015

retirar de operação a unidade consumidora de serviço. Pode-se verificar também que a curva do relé está abaixo da curva do disjuntor de baixa tensão. Assim sendo, o disjuntor de baixa tensão não tem a oportunidade de atuar. Ou seja, este sistema não está coordenado.

Com a curva parametrizada com o [dt] igual a 1,2 o sistema está coordenado e seletivo. Ou seja, a corrente partida do motor não sensibiliza o relé. A curva do disjuntor está abaixo da curva do relé secundário. Desta forma, caso ocorra um distúrbio no trecho do circuito onde se encontra o motor, o disjuntor atua primeiro, retirando somente o trecho com defeito de serviço.

É evidente que um relé mal ajustado possa retirar a unidade consumidora de serviço, prejudicando a operação e provocando danos patrimoniais e econômicos.

Para solucionar o problema de ajuste foi utilizada a equação 2 para encontrar o menor dial de tempo possível para que a corrente de partida do motor não sensibiliza-se o relé.

A corrente de partida de um motor de indução, mesmo sendo alta é considerada normal e necessária para retirar o motor da inércia. Portanto esta corrente não deve fazer com que atue as proteções.

### 5 Conclusão

Concluimos que o ajuste do dial de tempo do relé é uma solução adequada para se obter um sistema coordenado, pois assim a proteção só atuará na situação devida. Ou seja, deve-se ajustar o dial de tempo até que a curva deste equipamento não cruze as demais curvas no coordenograma, para desta maneira a proteção não atuar durante a partida de um motor de maior porte. Em termos gerais, mesmo com distúrbio de corrente como a partida do motor, que caracteristicamente é alta para as máquinas de indução, a unidade consumidora permanece em funcionamento, evitando assim problemas técnicos e perdas econômicas.

### Referências

ABNT. **NBR 14039** Instalações elétricas em média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV. Rio de Janeiro: ABNT, 2005

Caminha, Amadeu Casal. **Introdução a proteção de sistemas elétricos de potência**. São Paulo: Blucher, 1977.

Cemig. **ND 5.3** Fornecimento de energia elétrica em média tensão rede de distribuição aérea ou subterrânea. Disponível em <[www.cemig.com.br/](http://www.cemig.com.br/)>. Acessado em: set. de 2015.

Cotrim, Ademaro A. M. B. **Instalações elétricas**. 4.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.

Fanchi, Claiton Moro. **Acionamentos elétricos**. 4.ed. São Paulo: Érica, 2008.

Kindermann, Geraldo. **Proteção de sistemas elétricos de potência**. Vol.1, 2.ed. Florianópolis - SC: Edição do Autor, 1999.

Madergan, Cláudio. Dispositivos de proteção parte III. **O setor elétrico**, São Paulo, n.52, p. 26-36, maio 2010.

Mamede Filho, João. **Instalações elétricas industriais**. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

Mason, Russell C. **The art and science of protective relaying**. New York: John Wiley and Sons, 1956.

WEG. Manual da Softstarter série: SSW-06. Disponível em <[www.weg.net/br/](http://www.weg.net/br/)>. Acessado em: set. de 2015.

WEG. Disjuntores em caixa moldada DW. Disponível em <[www.weg.net/br/](http://www.weg.net/br/)>. Acessado em: set. de 2015.