NOVUS

WWW.NOVUS.COM.BR

INDO ALÉM DO CONTROLE P.I.D.

Marcos R. Dillenburg

ISA™ Seção Rio Grande do Sul

GRINST RS

- Origem do controle P, PI, PD e PID: mecânico e pneumático
- Controladores eletrônicos
- Controladores microprocessados
- Estágio atual do controle PID
    - Equipamentos Single loop
    - Blocos de controle em sistemas computacionais maiores (PLC, PC, SDCD)
        - Auto-sintonia e Auto-adaptativo
    - Sintonia do PID
        - Manual
        - Auto-sintonia
        - Auto-adaptativo
        - Custo da má sintonia de malhas
    - PID na prática (processo simulado em computador ou processo físico?)
        - Controle P
        - Controle PI
        - Controle PD
        - Controlel PID
    - Controladores PID da Novus
        - A Novus tem PID há 20 anos
        - N480D, N1100, N2000, N2000S, N1100HC, N960, N3000
        - A próxima geração com auto-adaptativo

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Pouca utilidade

http://www.tcnj.edu/~rgraham/PID-tuning.html

http://www.expertune.com/Articles.html

Planilha Excel com PID

http://www.htservices.com/Applications/Process/PID1.htm

Informações de histórico

http://www.elecdesign.com/Articles/Print.cfm?ArticleID=6131

Diferentes formas de cálculo

http://lorien.ncl.ac.uk/ming/pid/PID.pdf

http://www.expertune.com/artCE87.html

UM POUCO DE HISTÓRIA

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

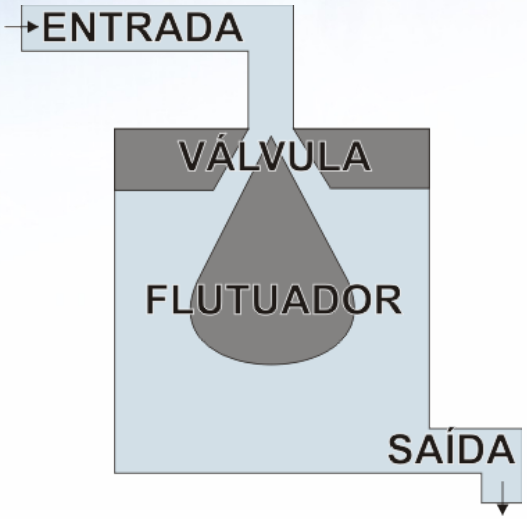
Grandes fases do controle realimentado

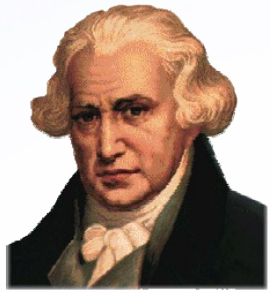
- **Gregos e Árabes: Relógios d'água – 300AC a 1200DC**
  - Homem preocupado em entender seu lugar no tempo e espaço
- **Revolução industrial na Europa – Século 19**
  - Domando o ambiente e investindo em conforto
- **Crescimento da comunicação e guerras mundiais – 1910 a 1945**
  - Ocupando espaço no globo
- **Início da era espacial e da computação – 1960.**
  - Ocupando espaço no cosmo

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Precursores do Controle Proporcional

- Regulador de vazão em relógios de água, de Ctesibius de Alexandria – 300 AC
- Regulador Centrífugo (Flyball Governor), de James Watt – 1788





James Watt
(1736-1819)

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Primeiro Controle PID

- Desenvolvido para o controle de direção de navios
  - Minorsky, N., “Directional Stability and Automatically Steered Bodies,” J. Am. Soc. Nav. Eng., Vol. 34, p. 280, 1922.

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

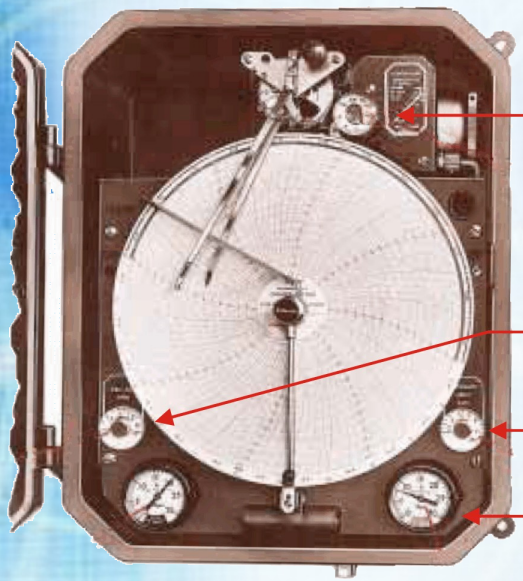
Primeiros Controladores PI & PID

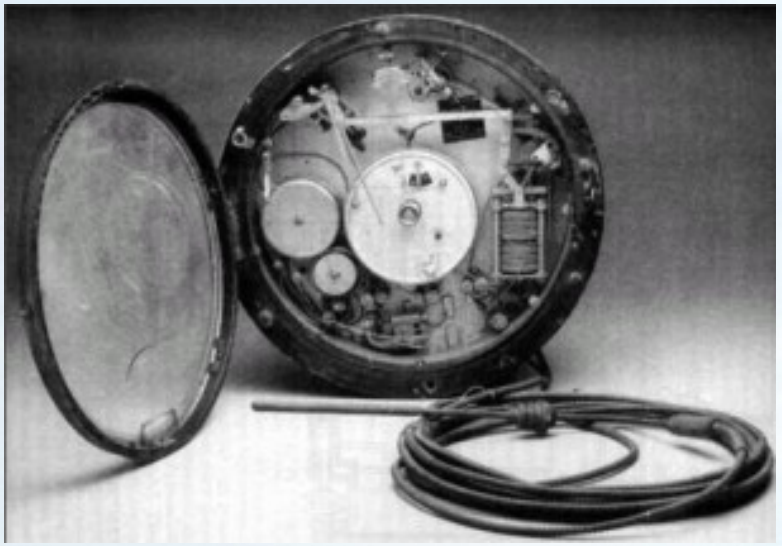
- ***1931**: Foxboro Model 10 Stabilog: PI*
- ***1933**: Taylor lança controlador "Double-Response"*
- ***1939**: Taylor Model 100 Fullscope: PID (Proporcional, reset e pre-act)*, **totalmente ajustável**
- **1939: Foxboro incorpora "Hyper-reset" ao Model 10 Stabilog, tornando-o PID. Somente P ajustável. 4 ajustes fixos de I+D**

NOVUS
WWW.NOVUS.COM.BR

Primeiros PIDs Industriais

Taylor Model 100 FullscopeFoxboro Model 10 Stabilog





novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Dificuldade: Ajuste de Parâmetros

- Não existia metodologia estabelecida para ajuste dos parâmetros de controle necessários à estabilização do processo.

- Pesquisadores da Taylor iniciaram pesquisas, resultando no clássico trabalho:

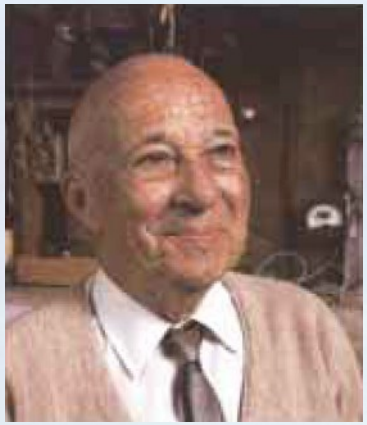
"Optimum settings for automatic controllers“,
J. B. Ziegler and N. B. Nichols,
ASME Transactions, v64 (1942), pp. 759-768.

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Ziegler & Nichols

- “If there is ever a museum built to honor PID, statues of John Ziegler and Nate Nichols should be at the entrance." (George Blickley)

Z & N



- John G. Ziegler 1909-1997
- Nathaniel B. Nichols 1914-1997

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Histórico do controle PID na NOVUS

- A NOVUS lançou seu primeiro produto com controle PID microprocessado em 1987.
- Em 1989 efetuou melhorias significativas no algoritmo de controle e implantou a SINTONIA AUTOMÁTICA
- Desde 2002 a NOVUS realizou intensas pesquisas na área de PID AUTO ADAPTATIVO que agora resultam em produtos avançados no mercado.
- Ao longo de 20 anos implantou inúmeros aperfeiçoamentos nos algoritmos de controle, incorporando ao PID clássico regras de otimização de desempenho desenvolvidas na sintonia de dezenas de milhares de malhas de controle.

ENTENDENDO O P.I.D.

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Terminologia

- **PV**
  - Process Variable ou Variável de Processo. Variável controlada no processo (temperatura, pressão, etc.)
- **SV ou SP**
  - Set Value ou Set Point. Valor desejado para a Variável de Processo
- **MV**
  - Variável Manipulada. Variável sobre a qual o controlador atua para controlar o processo (posição de válvula, tensão sobre uma resistência de aquecimento, etc.)

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Terminologia

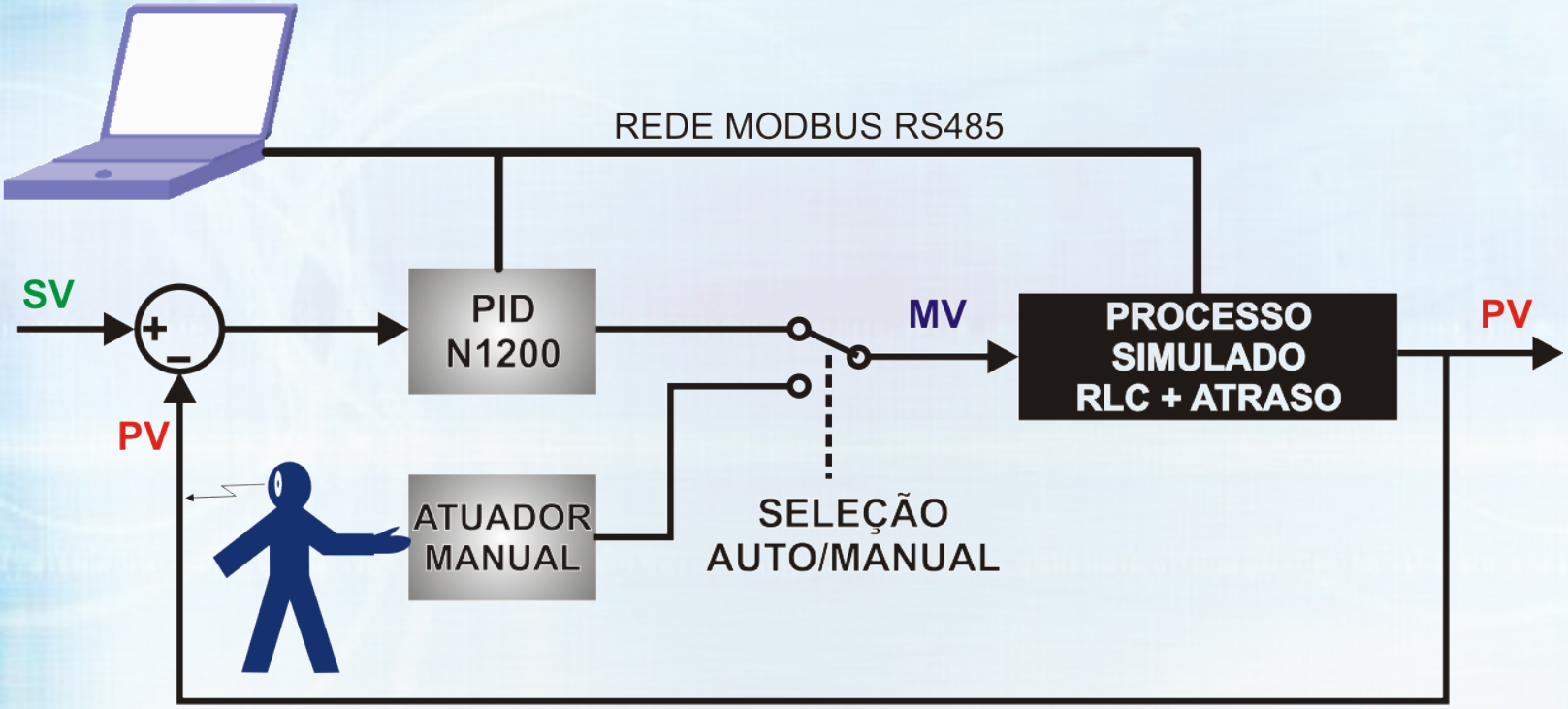
- **Erro ou Desvio**
  - Diferença (SV – PV) ou (PV – SV)

- **Ação de Controle**
  - Define a correção aplicada pelo controlador à MV em resposta à variações de PV
  - **Reversa**: Se PV aumenta, MV diminui. Controle de aquecimento
  - **Direta**: Se PV aumenta, MV aumenta. Controle de refrigeração

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

O ambiente de testes que utilizaremos

- **Nas etapas práticas desta palestra, utilizaremos o seguinte sistema básico:**



novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Noção física do P.I.D.

P	CORREÇÃO PROPORCIONAL AO ERRO	A correção a ser aplicada ao processo deve crescer na proporção que cresce o erro entre o valor real e o desejado.
I	CORREÇÃO PROPORCIONAL AO PRODUTO ERRO x TEMPO	Erros pequenos mas que existem há muito tempo requerem correção mais intensa.
D	CORREÇÃO PROPORCIONAL À VELOCIDADE DE VARIAÇÃO DO ERRO	Se o erro está variando muito rápido, esta taxa de variação deve ser reduzida para evitar oscilações.

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Controle Proporcional

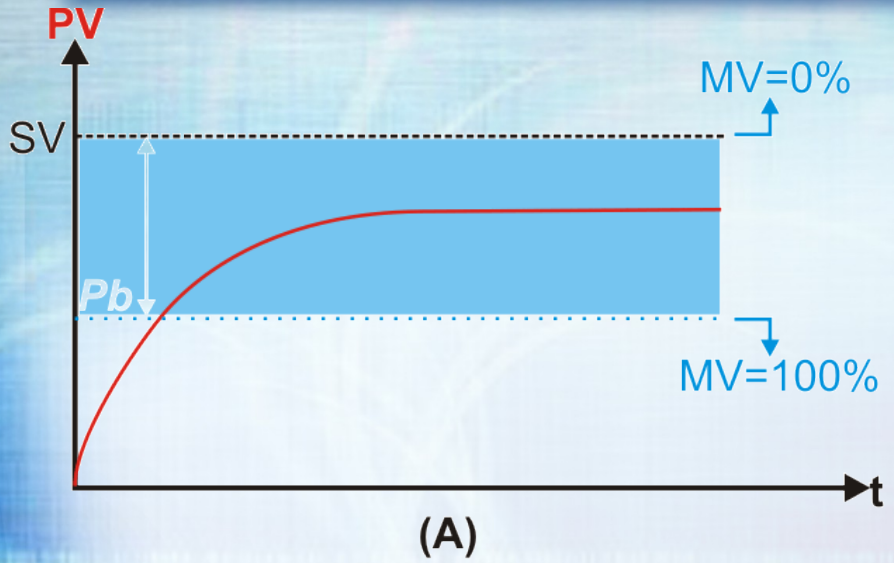
- **MV proporcional ao valor do desvio**
  - Desvio Zero ⇨ MV Zero
  - Sempre apresenta desvio !
- **Parâmetro de ajuste: Ganho ou Banda Proporcional**
- **Banda Proporcional ⇨ Valor de Desvio que resulta em MV = 100%**

$$MV(t) = Kp \times E(t)$$

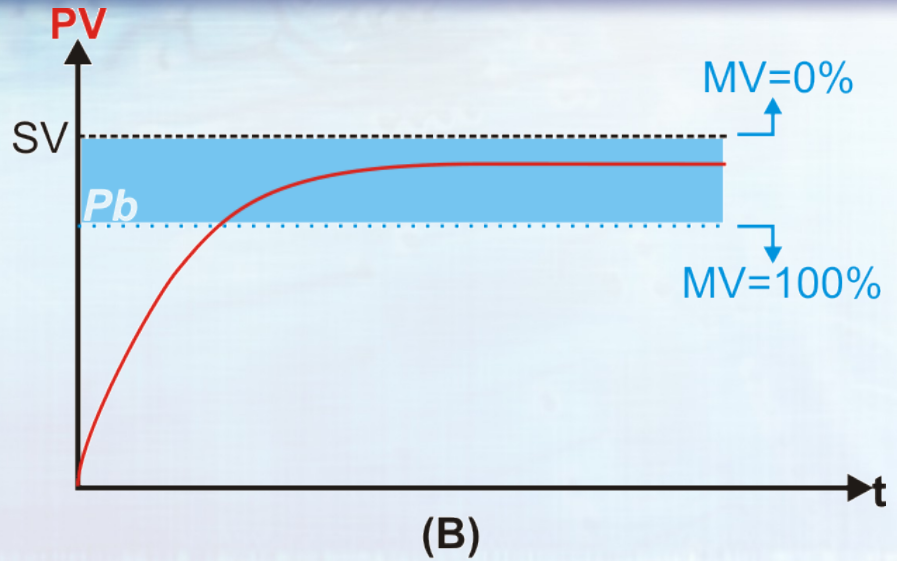
$$MV(t) = \frac{100}{Pb} \times E(t)$$

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

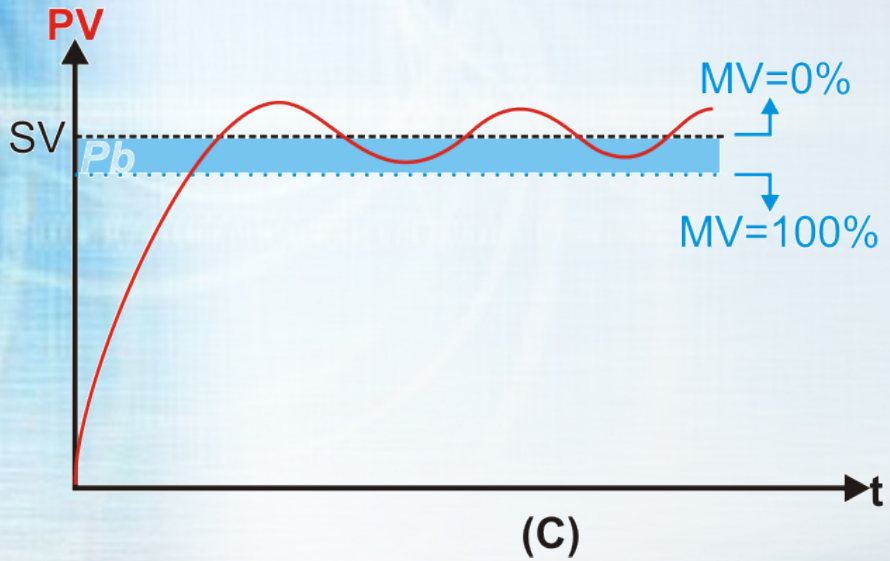
Efeito de Pb no controle P



(A)



(B)



(C)

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Uma pausa para a prática:

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Controle P.I.

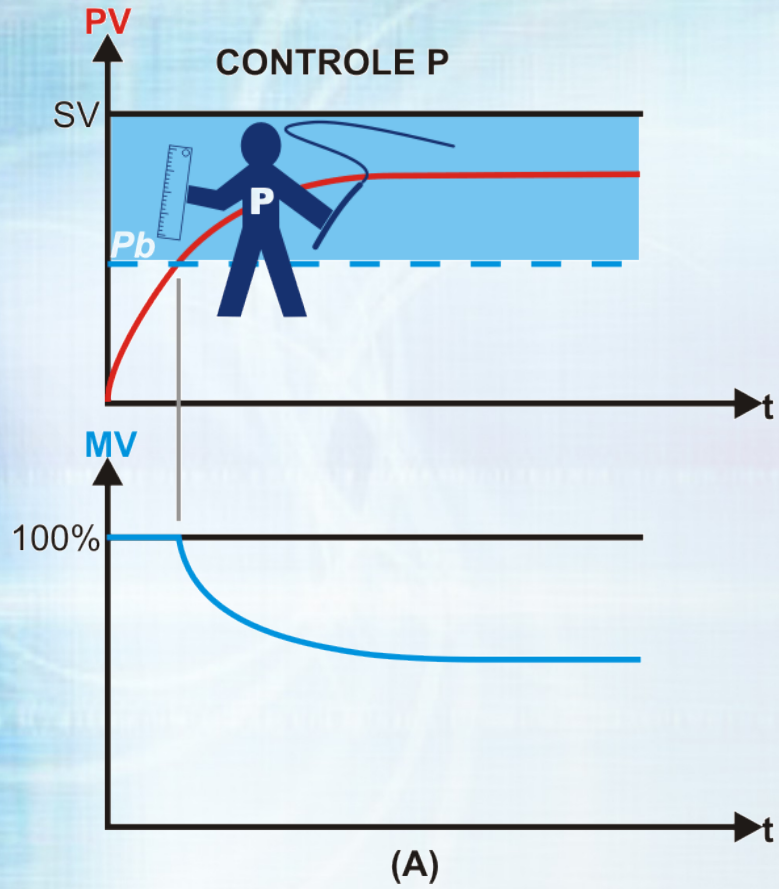
- **O INTEGRAL nunca é utilizado sozinho, pois é incapaz de controlar o processo.**
- **Introduz uma correção de MV que é proporcional à AMPLITUDE e DURAÇÃO do desvio.**
- **Tem o efeito de eliminar o ERRO inerente ao controle PROPORCIONAL.**
- **Parâmetro de ajuste: Tempo ou Freqüência Integral**
- **Pode instabilizar o controle**

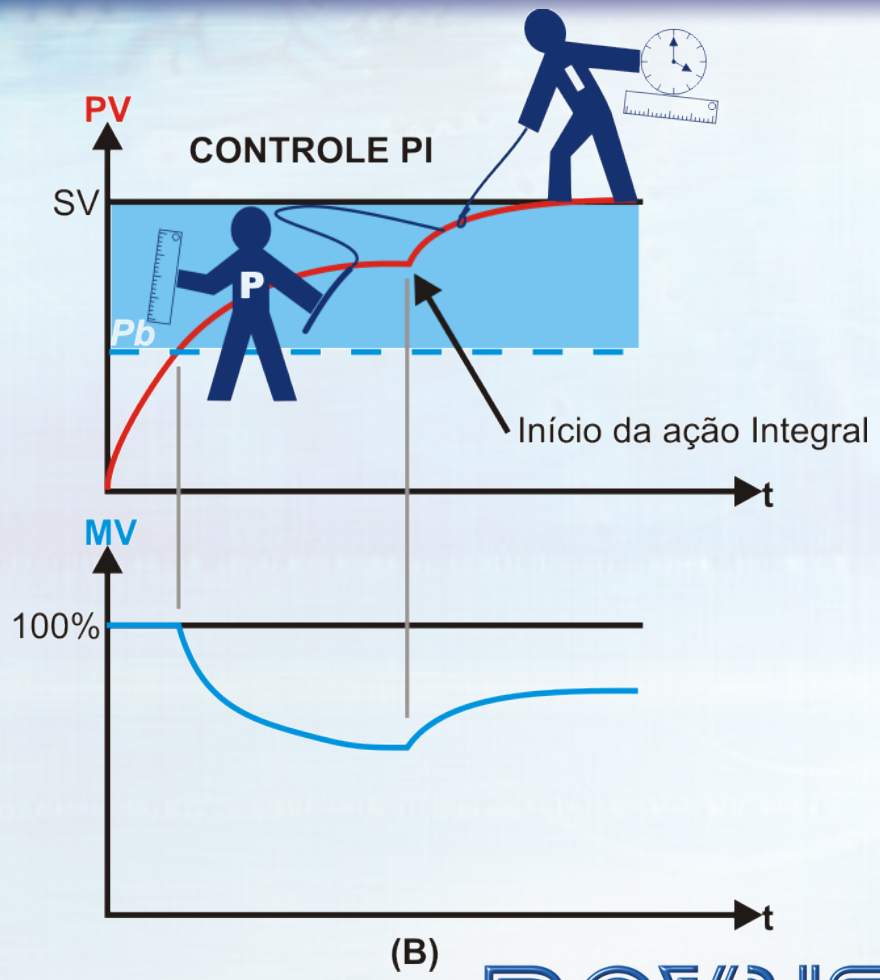
$$MV(t) = Kp \times \left[E(t) + \frac{1}{Ti} \times \int E(t)dt \right]$$

$$Ir = \frac{1}{Ti}$$

NOVUS
WWW.NOVUS.COM.BR

Controle P x PI





novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Uma pausa para a prática:

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

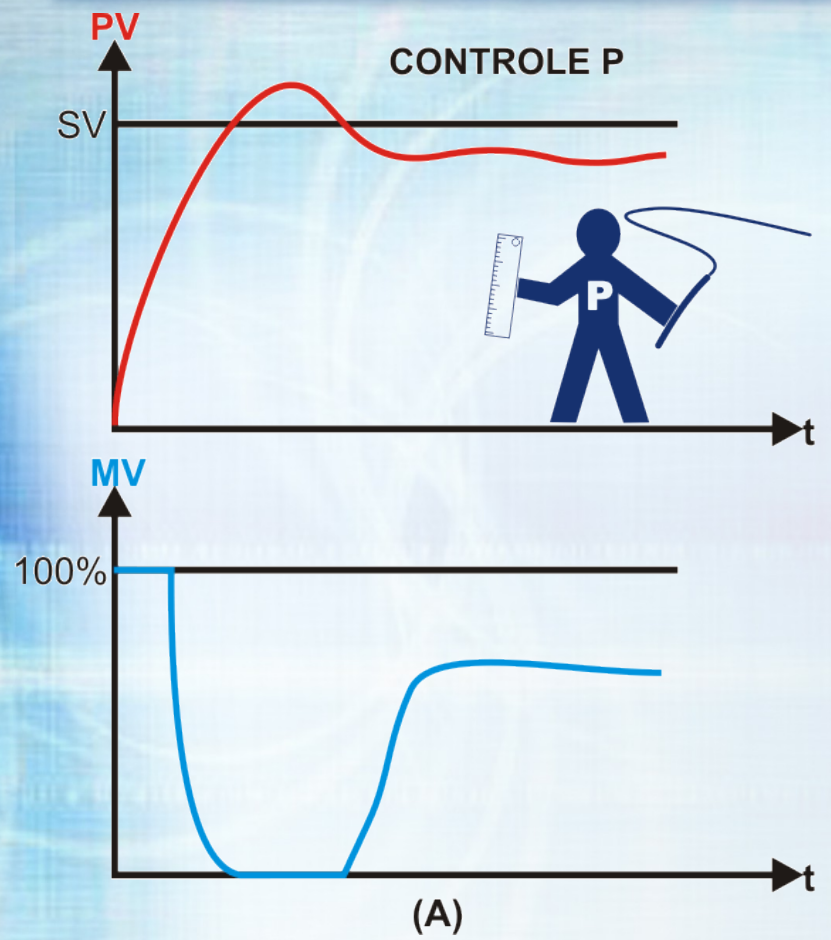
Controle PD

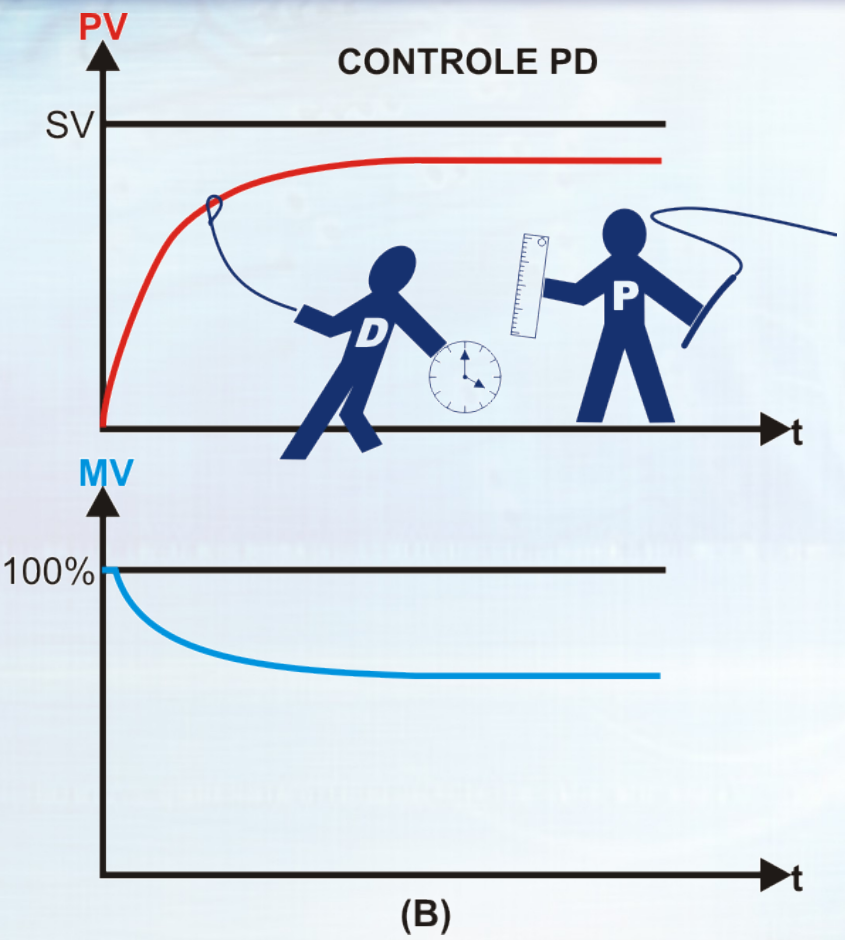
- **O DERIVATIVO nunca é utilizado sozinho, pois é incapaz de controlar o processo.**
- **Introduz uma correção de MV que é proporcional à VELOCIDADE DE VARIAÇÃO do desvio.**
- **Tem o efeito de atenuar as variações de PV.**
  - Tem efeito nulo se PV está estável
  - É um amplificador de ruídos – Pode instabilizar o controle
- **Parâmetro de Ajuste: Tempo Derivativo**

$$MV(t) = Kp \times \left[E(t) + Td \times \frac{dE(t)}{dt} \right]$$

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Controle P x PD



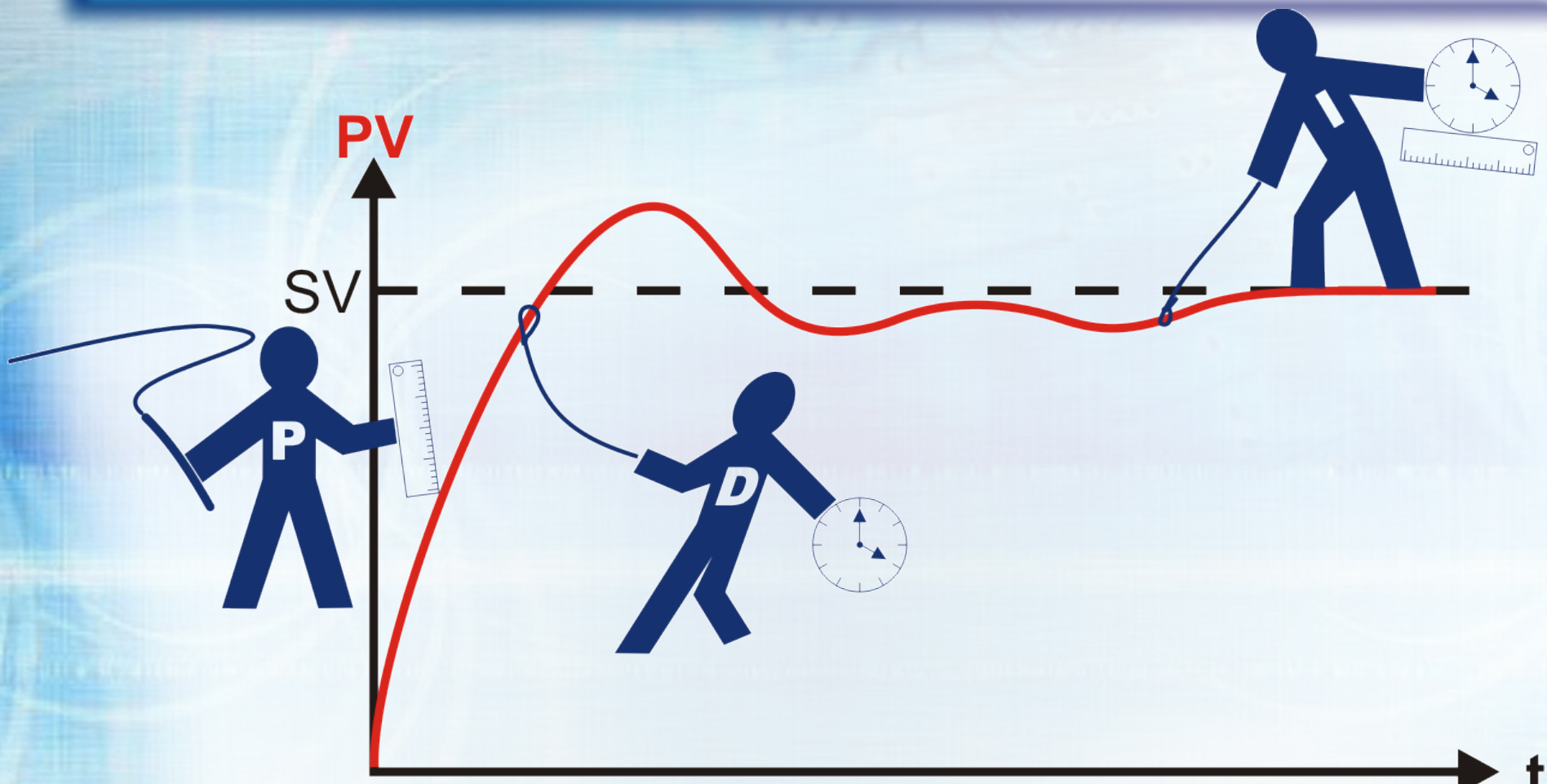


novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Uma pausa para a prática:

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Trabalho em Equipe – P.I.D.



novus
WWW.NOVUS.COM.BR

P.I.D.

- **Soma das 3 parcelas descritas**
  - **P**: Controle básico
  - **I**: Eliminação do desvio
  - **D**: Redução de oscilações

- **Dificuldade:**

  Ajuste da intensidade da cada uma das ações ao processo controlado ⇨ SINTONIA

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

P.I.D. – Equação

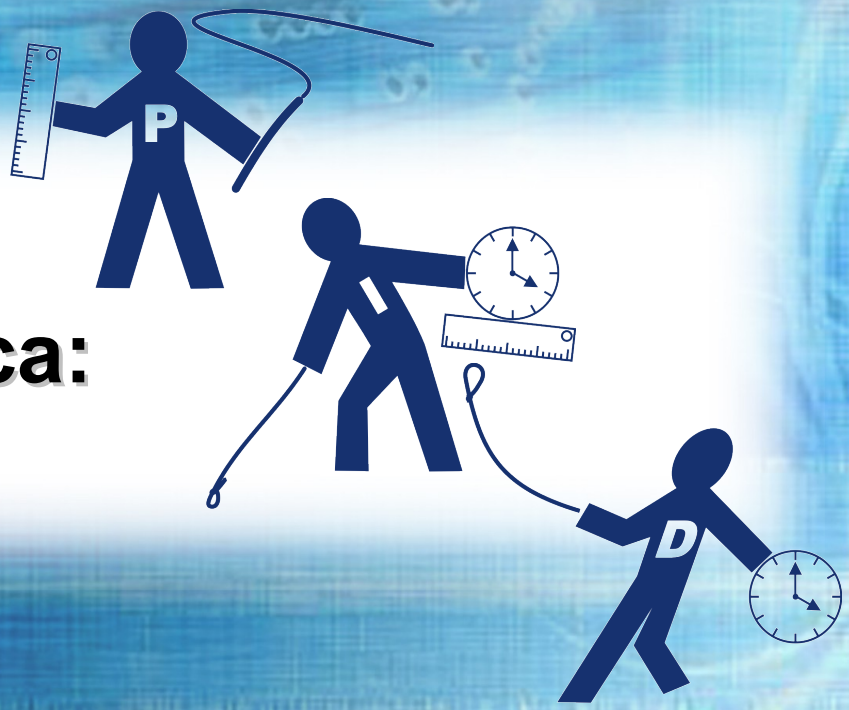
- **Equação do P.I.D. Ideal não iterativo, em termos de *Kp* e *Pb*:**

$$MV(t) = Kp \times \left[E(t) + \frac{1}{Ti} \times \int E(t)dt + Td \times \frac{dE(t)}{dt} \right]$$

$$MV(t) = \frac{100}{Pb} \times \left[E(t) + \frac{1}{Ti} \times \int E(t)dt + Td \times \frac{dE(t)}{dt} \right]$$

NOVUS
WWW.NOVUS.COM.BR

Uma pausa para a prática:



novus
WWW.NOVUS.COM.BR

SINTONIA DO P.I.D.

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Sintonia dos Parâmetros PID

- **Buscar a combinação mais adequada dos 3 parâmetros para que o processo apresente o desempenho esperado.**

PID não faz milagres

- **Não é capaz de melhorar o desempenho de um processo mal dimensionado.**
- **Problemas típicos de processos:**
  - Mal dimensionamento do atuador
    - Excesso ou Falta de atuação sobre o processo
    - Atuação assimétrica sobre o processo
    - Não linearidade
  - Mal dimensionamento do sensor
    - Sensor com faixa de medição muito grande
    - Sensor mal posicionado ou mal instalado
  - Falhas do atuador
    - Folga, atrito
  - Falhas inerente ao processo
    - Instável
    - Atraso na medição ou atuação

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

- **Vamos ver na prática um processo mal-comportado...**
  - Com grande atraso na medição
  - Inerentemente oscilante
    - Circuito RLC sub-amortecido

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Custo da má sintonia

- **A melhoria da sintonia de malhas de controle é um investimento de rápido retorno (menos de 4 meses para uma malha complexa).**
- **Malhas de controle mal sintonizadas elevam os custos pois:**
  - Aumentam o consumo de energia elétrica (atuadores elétricos, compressores de ar para instrumentação)
  - Aumentam o desgaste de válvulas, pois se movimentam mais freqüentemente, resultando em manutenções mais freqüentes.
  - Aumentam o número de paradas do processo para manutenção
  - Aumentam o refugo produzido antes da total estabilização da planta
  - Reduzem a qualidade do produto (e seu valor), pela falta de estabilidade nas condições ideais de produção.

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Sintonia Manual

- **Diversas técnicas, destacando-se:**
  - Ziegler & Nichols (1942)
    - Ganho crítico (malha fechada)
    - Curva de reação (malha aberta)
  - Cohen & Coon (1952)
    - Melhorias nos métodos propostos por Z&N. Melhor desempenho quando processo tem atraso
  - Aström e Hägglund (1984)
    - Melhorias nos métodos propostos por Z&N
  - Outras técnicas, nos perdoem.
    Impossível citá-las todas!

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Efeito dos parâmetros no desempenho

Ao aumentar o parâmetro:	Tempo de subida	Overshoot	Tempo de Estabilização	Desvio
Pb	Aumenta	Diminui	?	Aumenta
$\boldsymbol{Ir = \frac{1}{Ti}}$	Diminui	Aumenta	Aumenta	Elimina
Td	?	Diminui	Diminui	?

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Como melhorar manualmente a sintonia

Se o desempenho do processo ...	Tente uma a uma as opções:
Está quase bom, mas o overshoot está um pouco alto	Aumentar *Pb* em 20% Diminuir *Ir* em 20% Aumentar *Dt* em 50%
Está quase bom, mas não tem overshoot e demora para atingir o setpoint	Diminuir *Pb* em 20% Aumentar *Ir* em 20% Diminuir *Dt* em 50%
Está bom, mas MV está sempre variando entre 0% e 100% ou está variando demais.	Diminuir *Dt* em 50% Aumentar *Pb* em 20%
Está ruim. Após a partida avança lentamente em direção ao setpoint, sem overshoot. Ainda está longe do setpoint e MV já é menor que 100%	Diminuir *Pb* em 50% Aumentar *Ir* em 50% Diminuir *Dt* em 70%
Está ruim. Após a partida, o transitório dura vários períodos de oscilação, que reduz muito lentamente ou não reduz.	Aumentar *Pb* em 50%

NOVUS
WWW.NOVUS.COM.BR

SINTONIA AUTOMÁTICA DO P.I.D.

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Sintonia Automática

- Controladores implementam em software um dos métodos de sintonia manual descritos.
- Controlador executa o procedimento de sintonia quando solicitado pelo operador.
- Implementada pelo principais fabricantes de controladores PID ao longo da década de 1980.
- Atualmente todos têm este recurso
- Novus implementou primeira versão de sua sintonia automática em 1989.
- Primeiro fabricante nacional a implementar este recurso em controladores single-loop

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Uma pausa para a prática: Sintonia Automática

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

P.I.D. AUTO ADAPTATIVO

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Controle PID Auto-adaptativo

- Controlador é capaz de avaliar continuamente a precisão e estabilidade do controle e ajustar automaticamente seus parâmetros caso o desempenho não seja satisfatório, sem interferência do usuário.
- Primeiros produtos surgiram no meio da década de 1990
- Ainda é um recurso oferecido por poucos controladores PID industriais.
- NOVUS concluiu pesquisas iniciadas em 2002 e está lançando uma nova geração de produtos com este recurso

Controle PID Auto-adaptativo

- **Muitas alternativas técnicas para sua implementação. Fatores que devem ser considerados na escolha da melhor técnica:**
  - Adequação ao controle de diferentes processos
    - Técnicas baseadas em modelo matemático do processo são menos genéricas ou requerem mais parâmetros.
  - Perturbação imposta ao processo
    - Técnicas não baseadas em modelo introduzem maior perturbação no processo.
  - Adequação à capacidade computacional disponível.
    - Técnicas baseadas em modelo demandam mais recursos computacionais.

NOVUS
WWW.NOVUS.COM.BR

Adaptativo é Fuzzy? Fuzzy é Adaptativo?

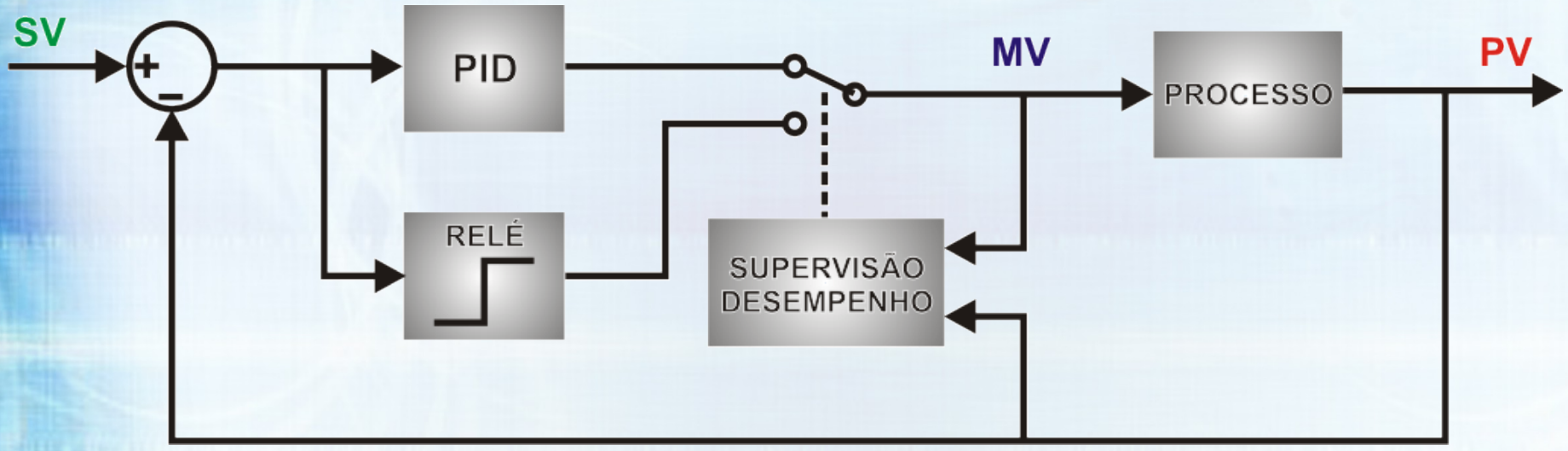
- Fuzzy Logic é uma ferramenta matemática desenvolvida para permitir a implementação de modelos matemáticos que reproduzem regras e conceitos subjetivos do conhecimento humano.
- Aplicações industriais de Fuzzy usualmente atuam na correção dos parâmetros PID, visando sua auto-adaptação ao processo.
- É, portanto, uma das tantas técnicas disponíveis para implementação de melhorias no desempenho do controle PID.
- É também uma palavra que caiu na graça de alguns e em desgraça para outros.

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Auto-Adaptativo Novus

- Sintonia pelo método do relé proposto por Ziegler e Nichols, modificado por Aström e Hägglund e adequado pela NOVUS.
- Uma metodologia de monitoração do desempenho do controle foi implementada para torná-lo auto-adaptativo. É o coração do sistema.
- Adequado a diferentes processos, por não se basear em modelo matemático deste.
- Baseado em pesquisa conjunta entre Novus e GCAR/UFRGS.

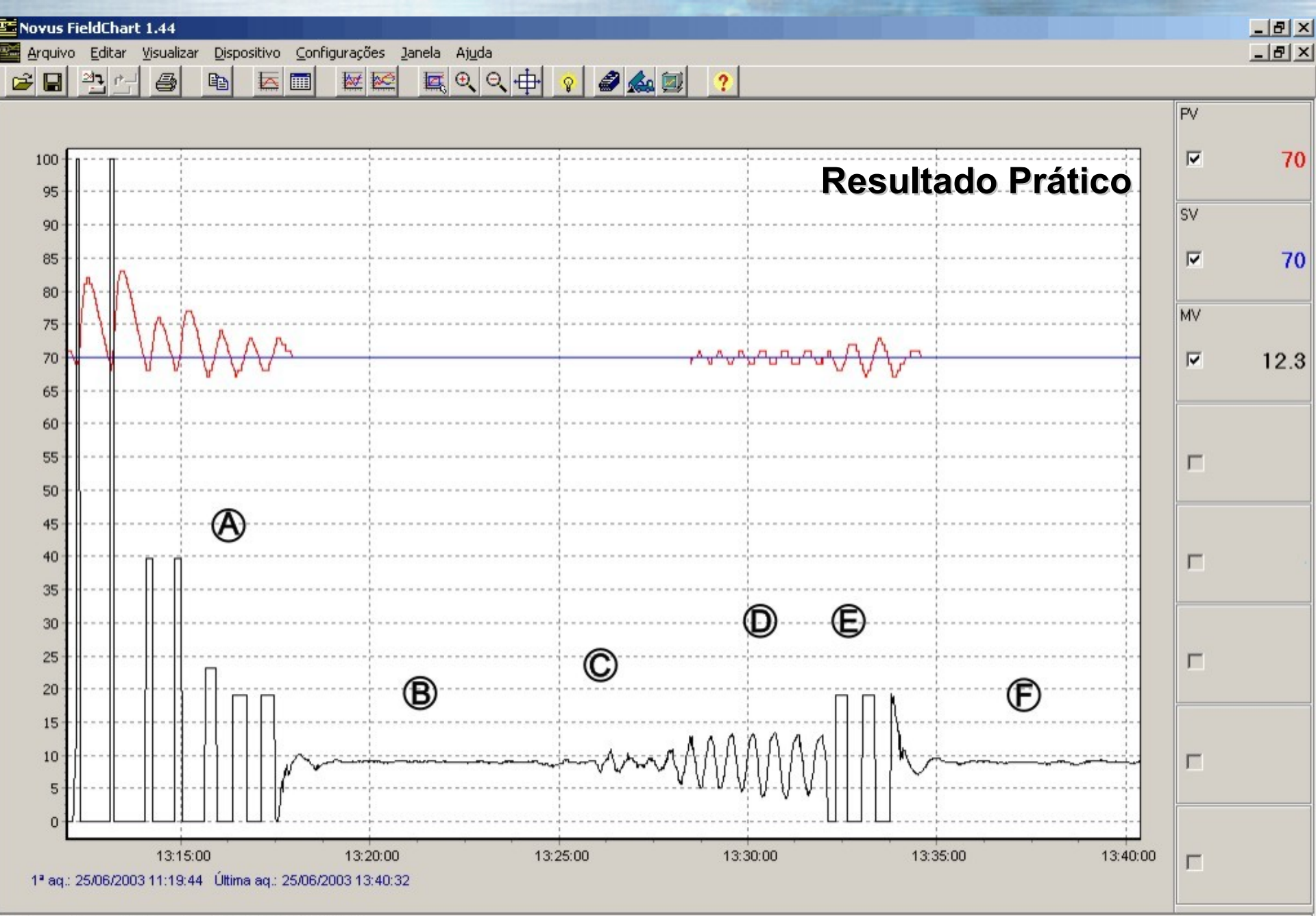
Auto-Adaptativo Novus – Em Blocos



novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Seqüência típica de eventos de sintonia e adaptação

novus
WWW.NOVUS.COM.BR



F: Processo estável com novos parâmetros PID

Uma pausa para a prática: Auto Adaptativo

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

CONTROLADORES P.I.D. NOVUS

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Controladores Novus em números

- Mais de 300.000 controladores PID vendidos
- Fabricante Nacional líder de mercado
- Exportados para 50 países
- Produtos certificados para o mercado Europeu, Norte-Americano e Canadense: CE & UL

- Sistema da Qualidade certificado ISO 9001 desde 1998

INMETRO

DNV OCS-0010

novus

WWW.NOVUS.COM.BR

Controladores PID Single Loop

N322

N480D

N1100 & N1100HC

N2000 & N2000S

N960

N3000

- **Linha completa de produtos, totalmente configuráveis para as mais diversas aplicações**

novus
WWW.NOVUS.COM.BR

Informação Técnica Completa

WWW.NOVUS.COM.BR

NOVUS
WWW.NOVUS.COM.BR

NOVUS

WWW.NOVUS.COM.BR

OBRIGADO !

ISA™
Seção
Rio Grande do Sul

GRINST RS