

# Importância das Perdas Industriais para Avaliações dos Processos Industriais

**XXXVII SIMPÓSIO DA AGROINDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR DE AL**

**Maceió, 06 de Julho de 2022**

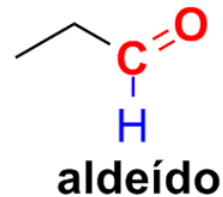
*Eng. Celso Caldas, PhD*

# Contextualizando

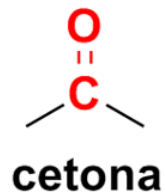
## Definições

- Sacarose ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) – POL
  - POL
- Glicose e Frutose ( $C_6H_{12}O_6$ )
  - Isômeros funcionais
  - Açúcares Redutores (AR)

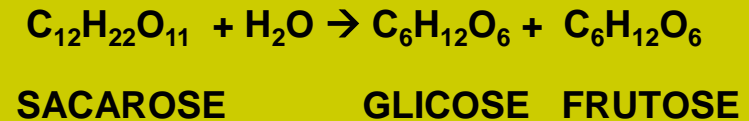
- Glicose



- Frutose



## Açúcares Redutores Totais (ART)



$$ART = (PC / 0,95) + ARC$$

**OBS:**

$$ATR = 10 \times PC \times 1,0526 \times (100 - PI)/100 + 10 \times ARC \times (100 - PI)/100$$

**ABNT NBR 16271:2014**

# Avaliações Industriais → Sacarose (POL) x °GL x ART ??????

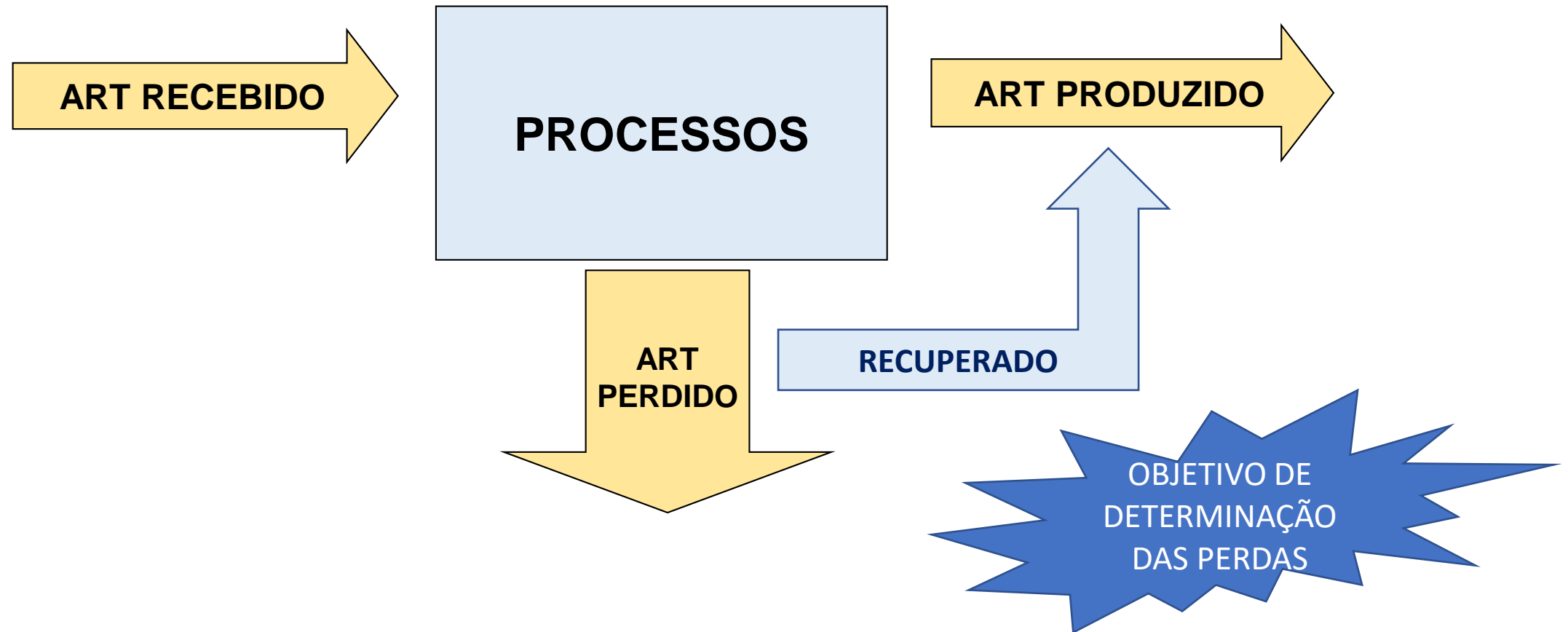
## EFICIÊNCIAS

- Pátio (ART - fermentações espontâneas)
- Extração POL (relação POL/FIBRA)
- Tratamento de caldo (POL)
- SJM (POL - relação entre as purezas)
- Fermentação (Álcool - °GL)
- Destilação (Álcool - °GL)
- **Geral em ART**

## PERDAS

**TODAS AS PERDAS  
DEVEM SER MEDIDAS  
OU *CONVERTIDAS*  
EM ART**

# Balanço de ART



# Avaliação Industrial → **BALANÇO DE ART**

## **CONTEMPLA**

- Eficiência Geral Industrial - EGI
- Perdas Determinadas
  - Bagaço
  - Torta
  - Fermentação
  - Destilação
- Indeterminadas

# Eficiência Geral Industrial

$$EGI = 100 \times (\text{ART Produzido} / \text{ART Recebido})$$

## ART Recebido

- Cana
  - Lab de cana X Esteira
    - Normas ABNT / CONSECANAS
    - **Nº amostras x Amostrador contínuo**
    - Preparo das amostras
    - **AÇÚCARES REDUTORES**
- Mel
- Fermento

## ART Produzido

- Açúcar
- Etanol
- Mel vendido / doado / estoque
- Fermento cedido
- Levedura
- Óleo fúsel
- **Processo**

# ART Recebido → Validação da amostragem de cana

- **Correlação do Brix**

Brix caldo prensa X Brix caldo 1ª pressão

$$R2 \geq 0,85$$

- **Comparações da PC (Celso Caldas)**

$$| PC_{pcts} - PC_{esteira} | / PC_{pcts} \leq 0,75$$



# ART Recebido → AR no caldo

- **Estimados por equações**

Pureza do caldo = 85%

→ AL: AR% m/m caldo =  $3,3459 - 0,02871 \times \text{pureza \% caldo}$  → **0,90%**

→ PE: AR% m/m caldo =  $6,9539 - 0,0688 \times \text{pureza \% caldo}$  → **1,11%**

→ SP\*: AR% m/m caldo =  $3,641 - 0,0343 \times \text{pureza \% caldo}$  → **0,72%**

(\* ) Se utiliza em todo o Sudeste e Centro-oeste do BR



# ART Recebido → AR no caldo

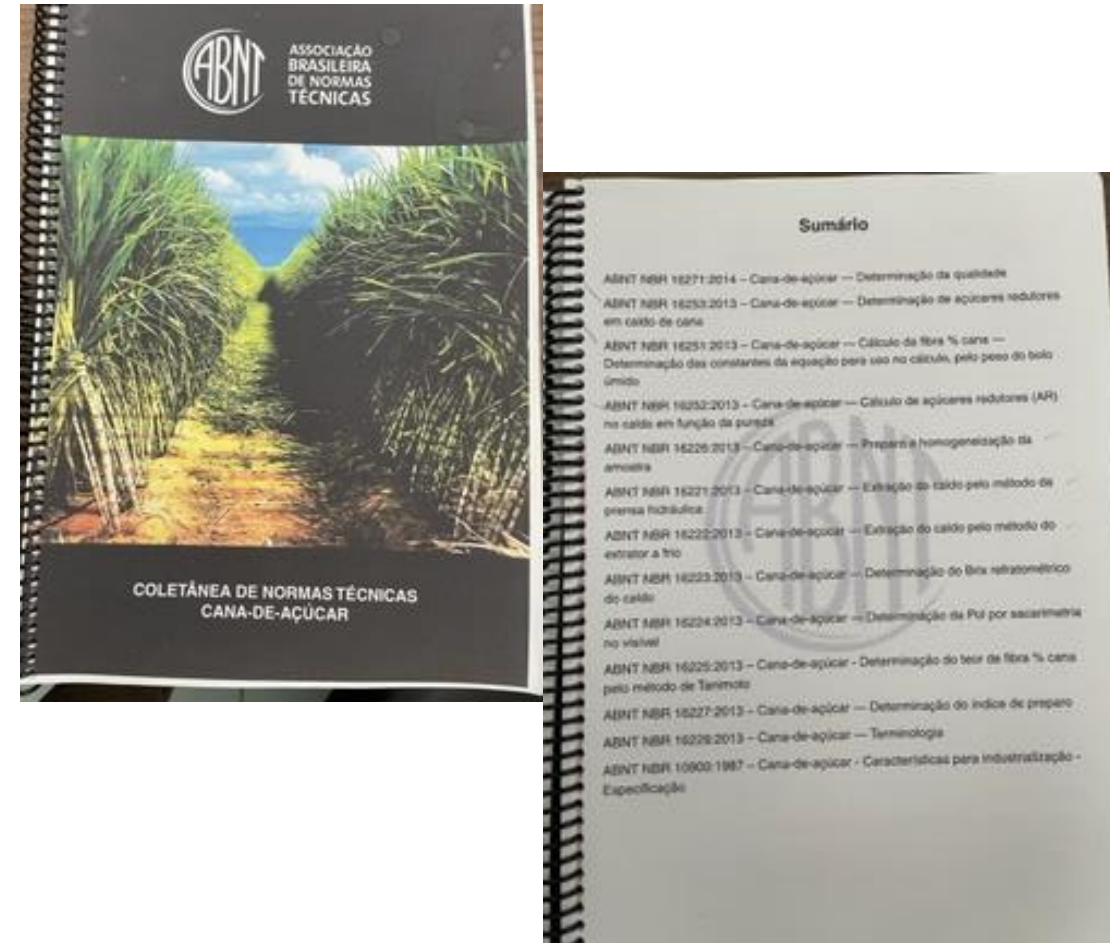
- **Analisado**

- Amostras compostas analisadas a cada 2h
- Conservação por refrigeração
- Método Eynon-Lane (%mm) ou HPLC
- Transformados em ARC usando a fibra do período de composição da amostra (2h), **OU**
- Através da média diária das 12 análises usando a média diária da fibra



# Recomendações para ART recebido

- Sistema CONSECANA cumprindo todos as NORMAS para procedimentos de amostragem; preparo e extração do caldo e fibra por equação
- Não possuindo sonda adquirir um amostrador contínuo para cana da esteira, passar as amostras na forrageira e usar metodologias CONSECANAS / ABNT
- Cumprimento das Normas ABNT para as análises de POL e **AR no caldo**
- Considerar todo material recebido pela Usina



# ART Produzido – Medição de Processo

- Identificação de todos os equipamentos de ambos os processos
- Não considerar equipamentos de passagens como trocadores de calor
- Arqueamento por empresa competente
- Usar os valores analíticos médios para as conversões em açúcar e etanol
- No cálculo do açúcar em processo determinar o **SJM e mel virtual**
- No cálculo do etanol em processo pode ser admitido para o mosto em fermentação o  $^{\circ}$ GL da dorna volante
- **OBSERVAR PARA NUNCA O MATERIAL EM PROCESSO SER MAIOR DO QUE AS CAPACIDADES DAS FÁBRICAS**



**PERDAS INDETERMINADAS**

# Balanço de ART → PERDAS

- Perdas na extração (bagaço)
- Perdas no tratamento (torta)
- Perdas na fermentação
- Perdas na destilação
- Perdas nas águas industriais
- Perdas indeterminadas

# Perdas → BAGAÇO

- **RECOMENDAÇÕES**

- Amostragem contínua
- Amostras preservadas com amônia ou outro conservante
- Realização das análises em amostras compostas a cada 4h
- Análise de **ART** somente por HPLC / IC
- PESSOALMENTE não recomendo métodos espectrofotométricos (S&N)

# Perdas → BAGAÇO

- **RECOMENDAÇÕES**

- ART determinado pela **RELAÇÃO DE PROPORCIONALIDADE**

ART%cana --- P%C

ART%bag ----- P%bag → ART%bag = P%bag x (ART%cana / P%C)

Kg ART bagaço = Rbag (t/t) x cana moída (t) x ART%bag x 0,01

OBS:

Rbag (t/t) = Fcana / Fbag

Fbag = 100 – Ubag – Brix → Fbag = 100 – Ubag – (Polbag/ **Pza CUP**)

**Perdas%ART bagaço = (kg ART bagaço / kg ART recebido) x 100**

# Perdas → TORTA

- RECOMENDAÇÕES

OBS: Semelhante ao bagaço

- ART determinado pela RELAÇÃO DE PROPORCIONALIDADE

ART%cana --- P%C

ART%torta ----- P%torta →  $ART\%torta = P\%torta \times (ART\%cana / P\%C)$

$Kg \text{ ART torta} = R_{torta} (t/t) \times \text{cana moída} (t) \times ART\%torta \times 0,01$

OBS:

$R_{torta} (t/t) = \text{BALANÇA RODOVIÁRIA}$

CUIDADO: **Fuligem**

**$Perdas\%ART \text{ torta} = (kg \text{ ART torta} / kg \text{ ART recebido}) \times 100$**

# Perdas → FERMENTAÇÃO

- **CONSIDERAÇÕES**

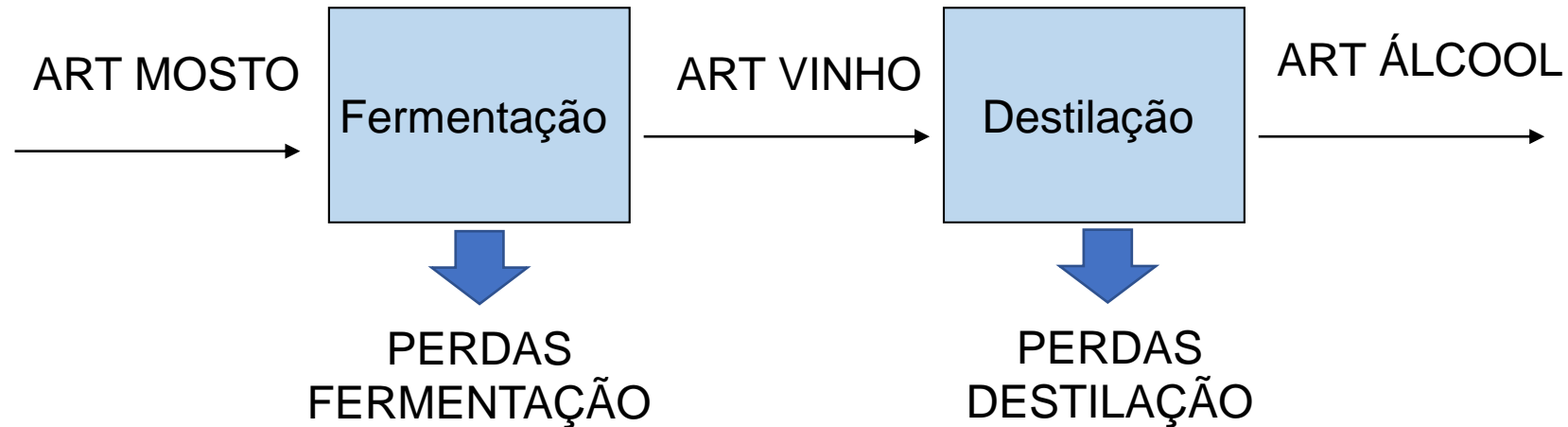
- A perda mais difícil de calcular porque envolve a **EF**

## **FERMENTAÇÃO E ...**

- **Balanco de massa (Gay Lussac)** – Mais correta, mais difícil de calcular (volumes) e deve ser observada somente no acumulado SEMANAL, através da média móvel
- **Subprodutos** – Números mais “cômodos”, porém bastante INDICATIVOS para avaliações diárias devido aos valores de “K”.



# Perdas → FERMENTAÇÃO



$$PF = ART MOSTO - ART VINHO$$

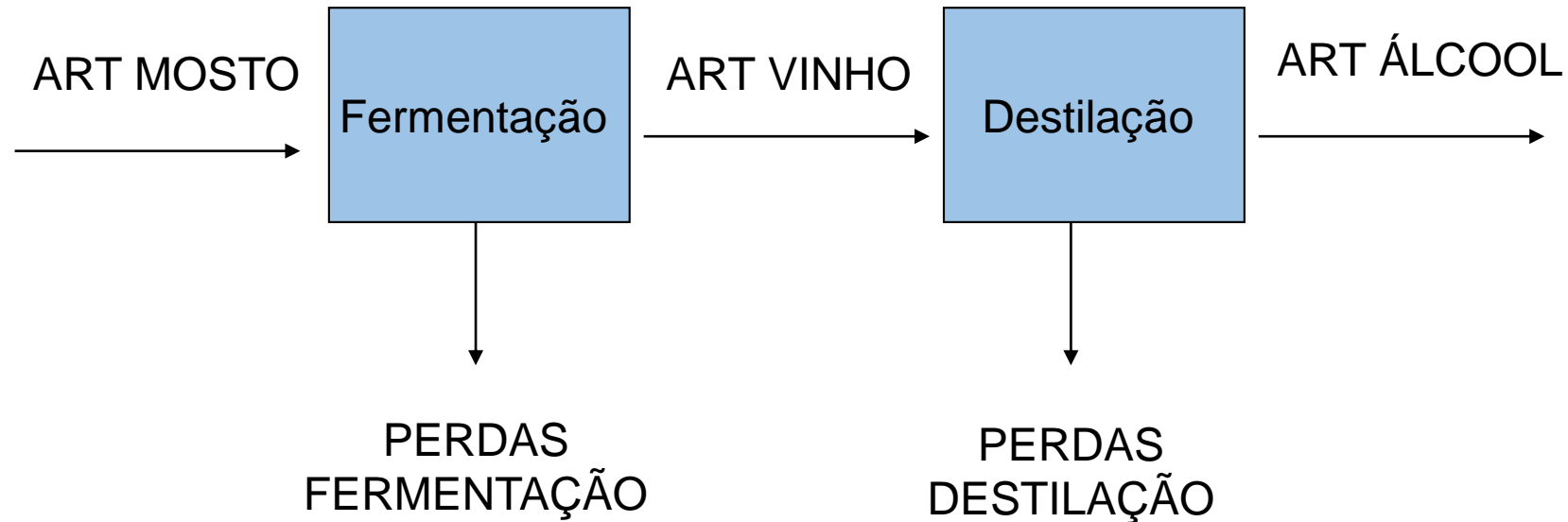
$$EF FER = ART VINHO / ART MOSTO$$

$$EF FER = (ART \acute{A}LC PROD + PROC + PERDAS DESTILAÇÃO) / ART MOSTO$$

$$ART MOSTO = (ART \acute{A}LC PROD + PROC + ART VINHAÇA) / EF FER$$

$$ART VINHO = ART \acute{A}LC PROD + PROC + ART VINHAÇA$$

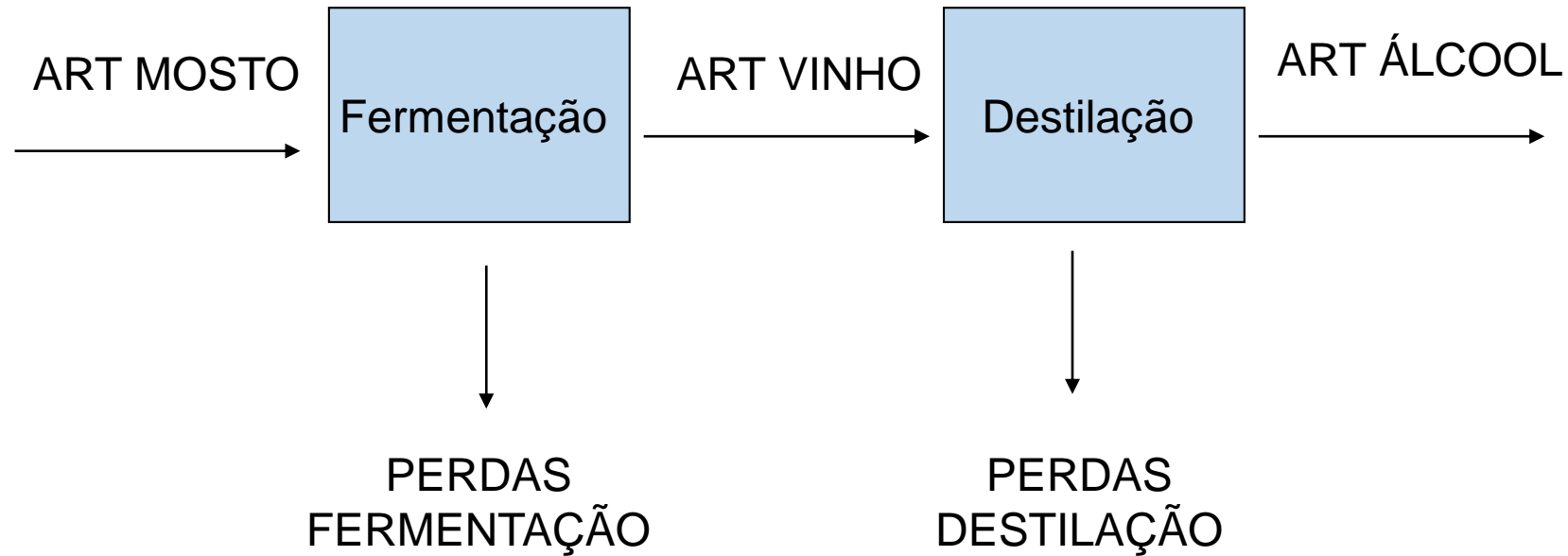
# Perdas → FERMENTAÇÃO



$$PF = (\text{ART ÁLC PROD} + \text{PROC} + \text{ART VINHAÇA}) / \text{EF FER} - ((\text{ART álcool} + P) + \text{ART perdido destilação})$$

$$\text{Perdas\%ART Fermentação} = (\text{kg ART perd ferm} / \text{kg ART entrado}) \times 100$$

# Perdas → DESTILAÇÃO



$$\text{ART perdido destilação} = (100 - \text{°GLv}/\text{°GLv}) \times \text{Alc prod} \times \text{°GL} \times 0,01 \times 1,544) + (2,5 \times V_f \times \text{Alc prod} \times \text{°GL} \times 0,01 \times 1,544)$$

$$\text{Perdas\%ART Destilação} = (\text{kg ART perd dest} / \text{kg ART entrado}) \times 100$$

# Perdas → ÁGUAS

- **CONSIDERAÇÕES**

- **Tipos de águas:**

- Água de lavagem de cana
- Água do multijato
- Água residuária

- **Medidores de vazão**

- **Analítica**

# Perdas → ÁGUAS

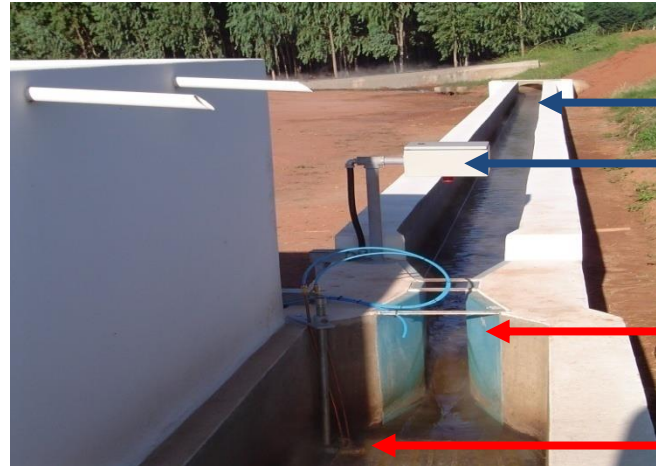
## Medidores de vazão

- Potências das bombas
- Tubulações até 10pol de diâmetro
  - Medidores de vazão (fluxo)
- Tubulações acima de 10pol de diâmetro
  - Placas de orifício
- Canaletas
  - Calha Paschal

# Perdas → ÁGUAS

## SAÍDA

Calha Parshal



TRECHO RETO E NIVELADO PARA GARANTIR O  
ESCOAMENTO EM REGIME LAMINAR  
TRANSMISSOR ULTRASSONICO

DE VAZÃO

CALHA PARSHAL

BOMBA AMOSTRADORA

## ENTRADA

Placa de orifício  
(elemento deprimogênio)



# Perdas → ÁGUAS

- Quantificação dos volumes



# Perdas → ÁGUAS

- Quantificação dos volumes





# Perdas → ÁGUAS

- Quantificação dos volumes



# SOLUÇÕES CASEIRAS



# Perdas → ÁGUAS

## Analítica

- Eynon-Lane (adição de padrão)
- Vários métodos espectrofotométricos, MAS NÃO SELETIVOS para ART. Medem todos os carboidratos
  - Antrona (mede também HMF e furfural)
  - Somogy-Nelson
  - DNSA
- Cromatografia
  - Líquida (detector de IR)
  - Iônica (detector amperométrico)

# Perdas → ÁGUAS

- **LAVAGEM DE CANA E MULTIJATOS**

$$\text{Kg ART Águas} = V \text{ água (m}^3\text{)} \times [(\text{g/m}^3 \text{ ARTsaída} - \text{g/m}^3 \text{ ARTentrada})/1000]$$

$$\text{Perdas\%Águas ALC} = (\text{kg ART ALC} / \text{kg ART entrado}) \times 100$$

- **RESIDUÁRIAS**

$$\text{Kg ART Água Residuária} = V \text{ água (m}^3\text{)} \times [(\text{g/m}^3 \text{ ART})/1000]$$

$$\text{Perdas\%Águas ALC} = (\text{kg ART ALC} / \text{kg ART entrado}) \times 100$$

# Perdas Indeterminadas

$$PI = 100 - EGI - \text{Perdas (A+B+C+D+E)}$$

Onde:

- A → perdas % moagem (bagaço)
- B → perdas % tratamento (torta)
- C → perdas % fermentação
- D → perdas % destilação
- E → perdas % águas

## Quanto deve ser as PI ?

Depende do controle de cada usina.  
Numa usina bem avaliada:

**1,5% a 2,5%.**

Lembrando que em 1998:

- Lavagem 1,5%
- Bagaço 8,0%
- Torta 0,5%
- INDETERMINADA 2,0%

# Considerações Finais

- Usar o ART nas avaliações industriais (Ef Geral e Perdas)
- No ART entrado seguir *ipsis litteris* as NORMAS ABNT/CONSECANA e considerar os ARTs de todos os materiais recebidos
- No ART produzido considerar todos os materiais comercializados e o PROCESSO, estando este dentro das capacidades das fábricas
- No bagaço e na torta converter POL em ART pela relação de proporcionalidade em lugar do método S&N. Priorizar HPLC/IC
- Adotar o método mais adequado de eficiência de fermentação para maior assertividade das perdas na fermentação

# Considerações Finais

- Nas perdas na destilação adotar os cálculos estimativos mostrados neste encontro para os volumes de vinhaça e flegmassa
- ESQUECER ebuliômetros
- NUNCA negligenciar as perdas de ART nas ÁGUAS, priorizando as medições de volumes e métodos analíticos
- Adotar como META que as PI se situem no intervalo de  $2,0\% \pm 0,5$

**NÃO SE GERE O QUE NÃO SE MEDE**

OBRIGADO / GRACIAS / THANKS



Maceió – AL - BR

CELSON CALDAS  
celso@centralanalitica.com.br