

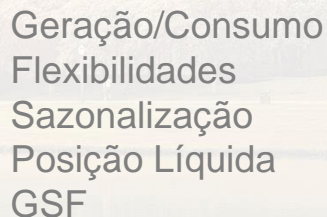


# A IMPORTÂNCIA DA CORRELAÇÃO E DA VOLATILIDADE NA MODELAGEM DE RISCO DE MERCADO

C5/Henrique Leme Felizatti  
Patrício Martin Hansen



- # Energia



Curva Forward.  
PLD/ Spread  
Diferença Submercados  
Indexação  
Swap fontes





## ABORDAGENS PARA GESTÃO DE RISCO

- A primeira etapa para o cálculo de risco de uma carteira de energia é **identificar os preços subjacentes**:
- Os preços subjacentes dependem de qual é a referência para o valor do ativo energético:
  - **PLD**, para a parcela de **baixa previsibilidade** de um portfólio.
  - **Curva Forward**, para a **parcela previsível** de uma carteira de energia.
- Medir o risco segundo sua **alocação no portfólio** (Mercado Spot ou Forward) é a chave para uma gestão bem sucedida do risco de mercado.

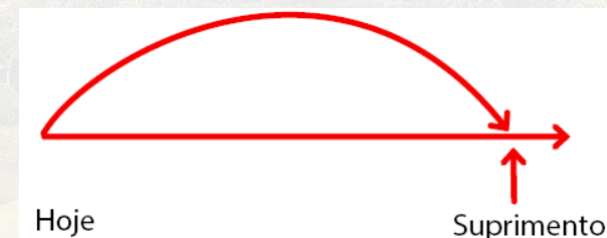
## ABORDAGENS PARA GESTÃO DE RISCO

- O cálculo de risco é feito separadamente para cada parcela da carteira:
  - A parcela Forward da carteira (Visão Value at Risk - V@R).
  - A parcela Spot da carteira (Visão Earnings at Risk - E@R).

Na abordagem V@R o foco está na **reavaliação constante da estratégia** em função ao risco de um período a outro.



Na abordagem E@R o foco está nas mudanças do valor do ativo em função a **atualização da projeção dos preços** para determinada data.



## O RISCO E A CURVA FORWARD

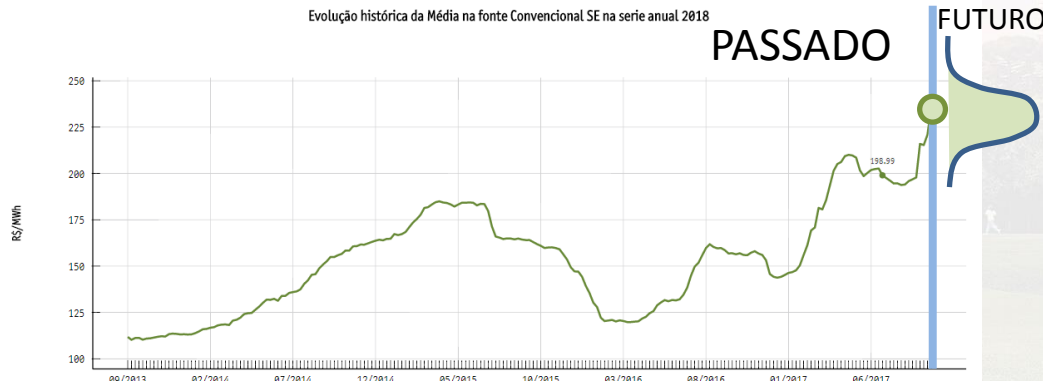
O valor em risco ( $V@R$ ) é o **potencial de perda** de uma carteira **daqui até o próximo período** com uma probabilidade especificada (Ex: perdas inferiores a 95%).

Fixada a energia, a variável de risco é o **preço Forward**, e seu potencial de variação é dado pela sua **volatilidade** (desvio-padrão condicional das variações de um período ao outro).

Então, para capturar o risco de mercado é necessário **modelar os preços Forward**.

Fonte Convenção SE	Conjunto de dados por Calendário	Início 2012	Fim Janeiro	2017	Dezembro	Tipo de análise Evolução histórica
Período Anual	Indexar / Câmbio		Métrica Média		EXECUTAR ANÁLISE	
Ano 2018						

Evolução histórica da Média na fonte Convenção SE na série anual 2018



## MODELAGEM DA CURVA FORWARD

$F_{t,h}$  : Curva Forward para a maturidade h medida no tempo t.

$$x_{t,h} = \frac{F_{t,h} - F_{t-1,h}}{F_{t-1,h}}$$

Variação da curva  
Forward da semana t-1  
até a semana t.

$$\sigma_{t,h} = \sqrt{E_{t-1}[x_{t,h}^2] - E_{t-1}[x_{t,h}]^2}$$

Volatilidade da Curva Forward  
para o tempo t no produto de  
maturidade h.

$$\rho_{t,h,l} = \sqrt{\frac{E_{t-1}[x_{t,h} \cdot x_{t,l}] - E_{t-1}[x_{t,h}] \cdot E_{t-1}[x_{t,l}]}{\sigma_{t,h}^2 \cdot \sigma_{t,l}^2}}$$

Correlação condicional da curva  
Forward no tempo t para a  
maturidade h.

### Modelo Multivariado

$$x_{t,h} = \sigma_{t,h} \eta_{t,h}$$

$$\eta_{t,h} \sim FD_h ; E[\eta_{t,h}] = 0 ; V[\eta_{t,h}] = 1$$

$$\underline{\eta}_t | \mathfrak{F}_{t-1} \sim \Theta(\underline{0}, \underline{\Sigma}_t)$$

Matriz de  
Correlação





## PONTOS IMPORTANTES DA METODOLOGIA

A **volatilidade** captura o potencial de variação dos preços. **Quanto maior a volatilidade, maior o risco.**

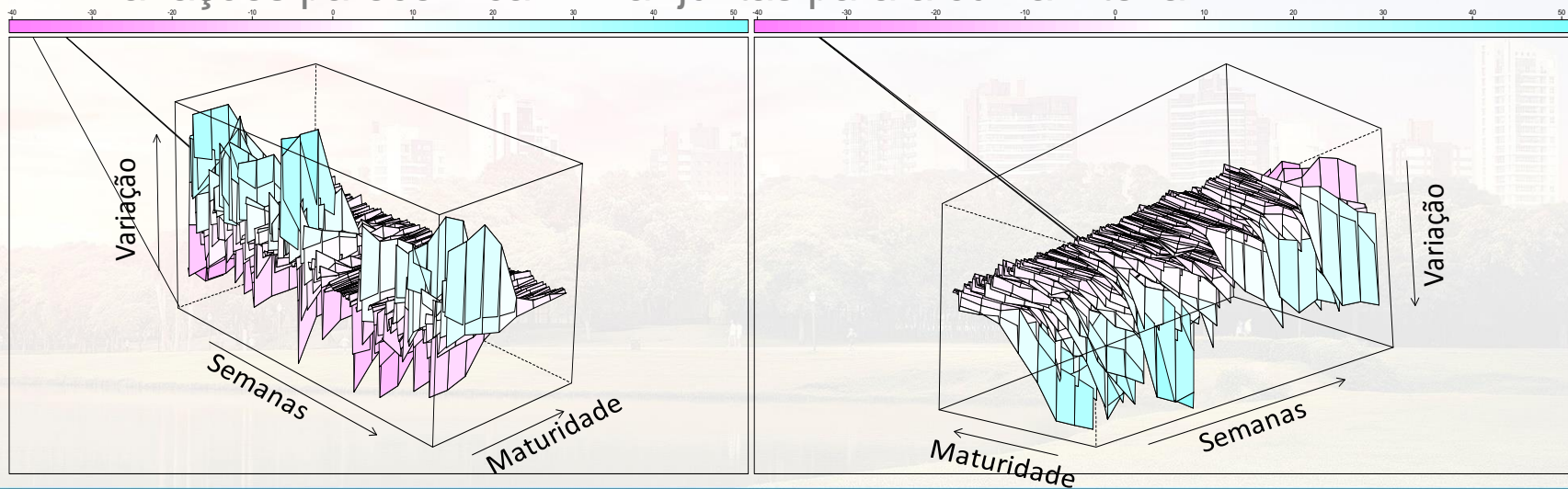
As **correlações** capturam o **grau de agrupamento dos preços**: Quanto maior a correlação, mais acoplado os preços estão, ou seja, quando sobe a curva toda sobe, quando cai a curva toda cai.

A **cópula gaussiana**, usa as correlações para dar **consistência probabilística** para os cenários e gerar trajetórias que “fazem sentido”.

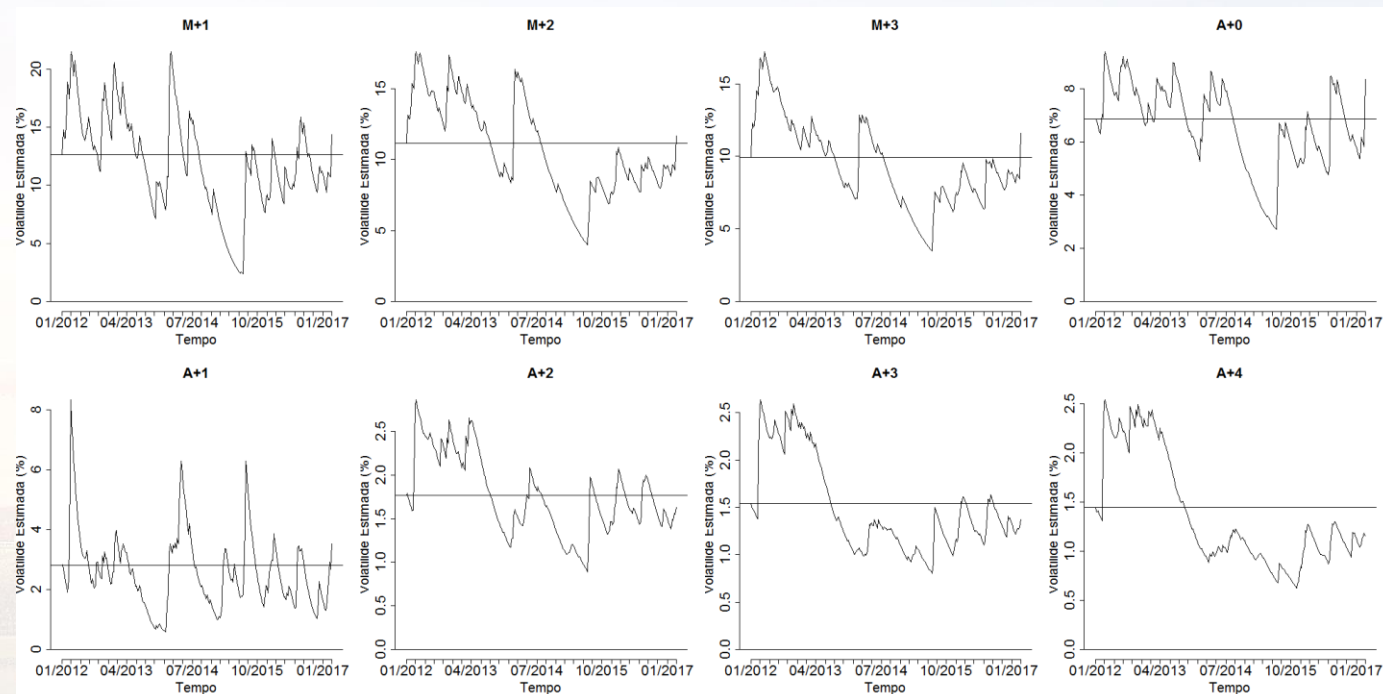
As **densidades Kernel** capturam o comportamento das variações dos preços, inclusive características de assimetria ou excesso de curtose (caudas pesadas).

# CARACTERÍSTICAS DAS VARIAÇÕES DOS PREÇOS FORWARD

- Curvas Forward jan/2012 até março de 2017 (fonte Dcide) na estrutura M+0, M+1, M+2, M+3, A+0, A+1, A+2, A+3 e A+4.
- Alta volatilidade perto do suprimento.
- Pouca volatilidade em maturidade mais distantes.
- Variações parecem caminhar juntas para a curva inteira.

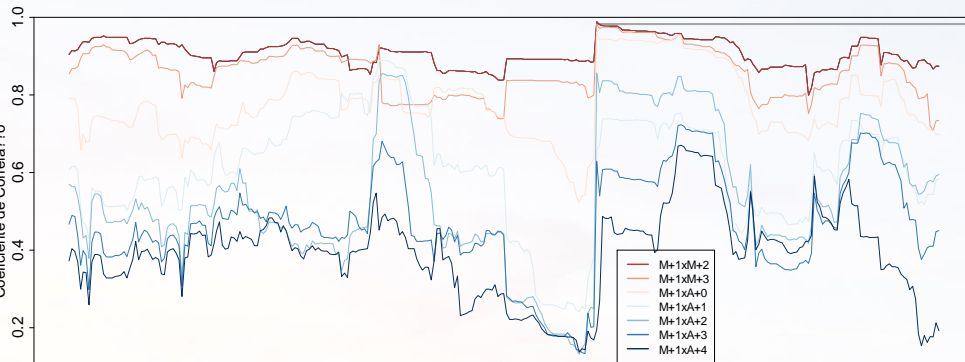


# VOLATILIDADE ESTIMADA DA CURVA FORWARD

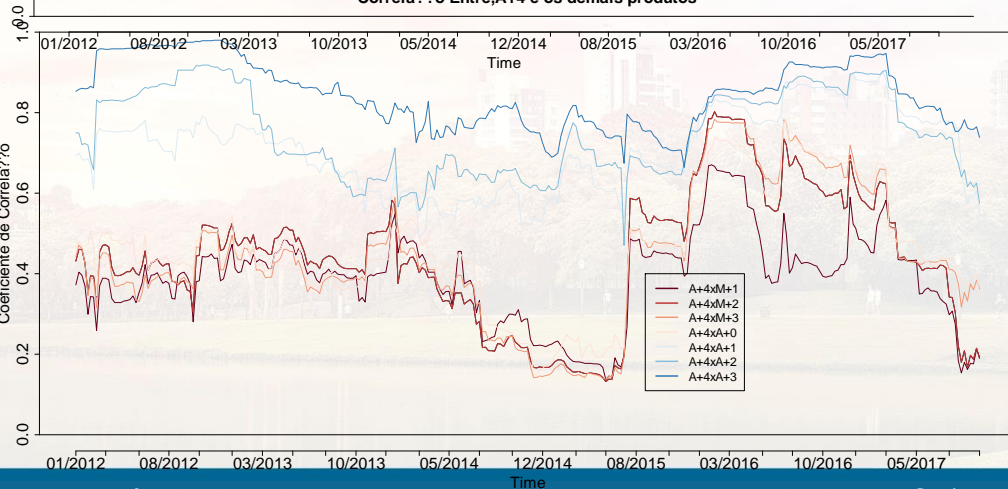


- $\text{Alpha} = 0,95$
- Ciclos de baixa e alta volatilidade.
- O mínimo da volatilidade ocorreu quando o preço atingiu o teto.

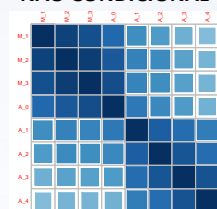
Correlação Entre, M+1 e os demais produtos



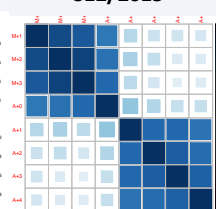
Correlação Entre, A+4 e os demais produtos



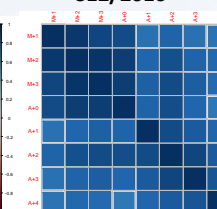
NÃO CONDICIONAL



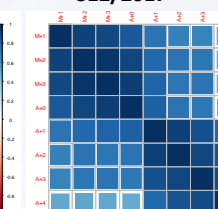
S12/2015



S12/2016



S12/2017



- $\Lambda = 0,95$
- Grupos de Correlação entre Curto e Médio Prazo e Longo Prazo.
- Em muitos momentos ocorreu um descolamento entre os preços de médio e longo prazos.



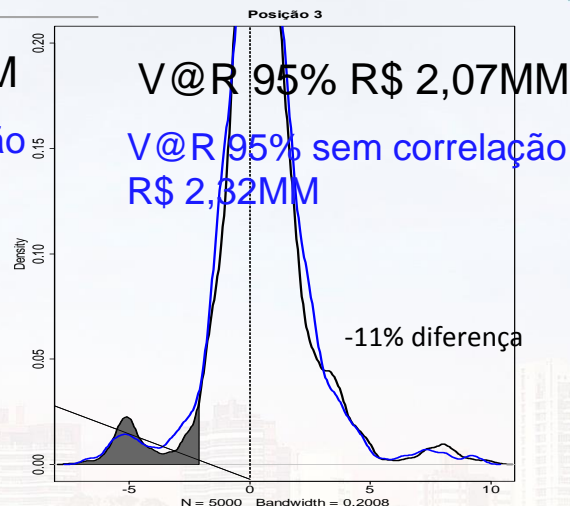
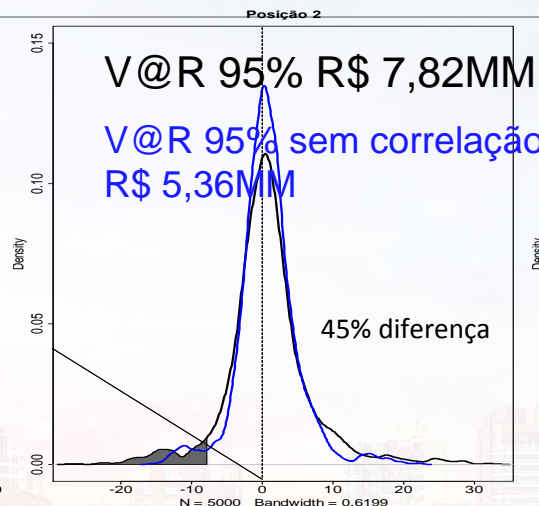
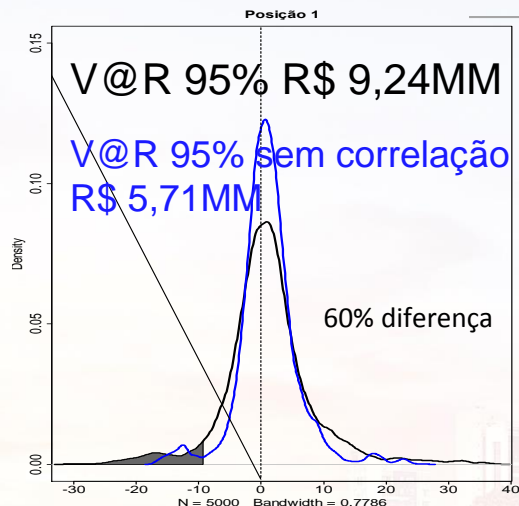
## APLICAÇÃO

Para avaliar o efeito da volatilidade e correlação no risco de carteiras de energia vamos estudar três exemplos com posições de energia distintas.

Como as **correlações entre os preços é positiva**, principalmente para os grupos de curto e longo prazos, o efeito da não consideração da correlação **tende a subestimar** significativamente o **risco de mercado**, principalmente para posições direcionais todas de sobras ou déficits em todas as maturidades.

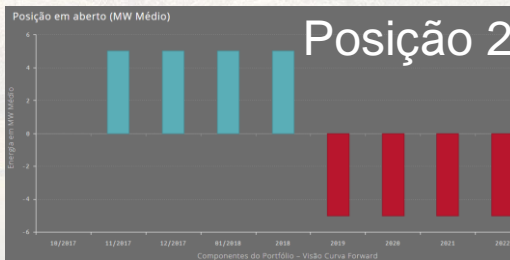
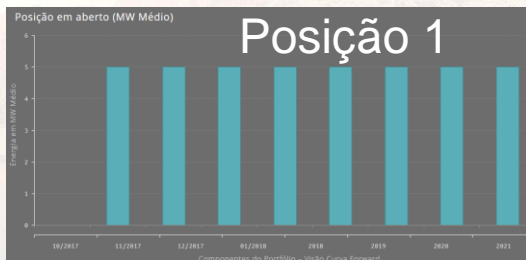
	nov/17	dez/17	jan/18	fev-dez/2018	2019	2020	2021	2022
Curva								
Forward								
Dcide								
Posição 1	5	5	5	5	5	5	5	5
Posição 2	5	5	5	5	5	-5	-5	-5
Posição 3	2	-2	-3	5	10	10	-15	-15
CF 9/10/17	385.37	287.85	228.01	236.67	173.85	160.34	154.74	150.72

# COMPARAÇÃO DO RISCO NA MODELAGEM CONSIDERANDO OU NÃO AS CORRELAÇÕES



**Sem correlação**

**Com correlação**



Em especial, estrutura como **Time Swaps** podem ser muito eficientes para o ajuste do risco do portfolio.

Foge do escopo deste trabalho enfrentar estas discussões, apesar dos avanços já realizados em cada uma destas áreas.




## HENRIQUE LEME FELIZATTI PATRICIO MARTIN HANSEN

---

 (19) 2513-4118

 (19) 99209-0348

 [leme@dcide.com.br](mailto:leme@dcide.com.br)

 [www.dcide.com.br](http://www.dcide.com.br)