

Efeitos nucleares no modelo LLM de pártons virtuais

Emmanuel Gräve de Oliveira

emmanuel.deoliveira@ufrgs.br

Orientação: Profa. Dra. Maria Beatriz Gay Ducati

Grupo de Fenomenologia de Partículas de Altas Energias (GFPAE),

<http://www.if.ufrgs.br/gfpae>

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,

Porto Alegre, RS, Brasil

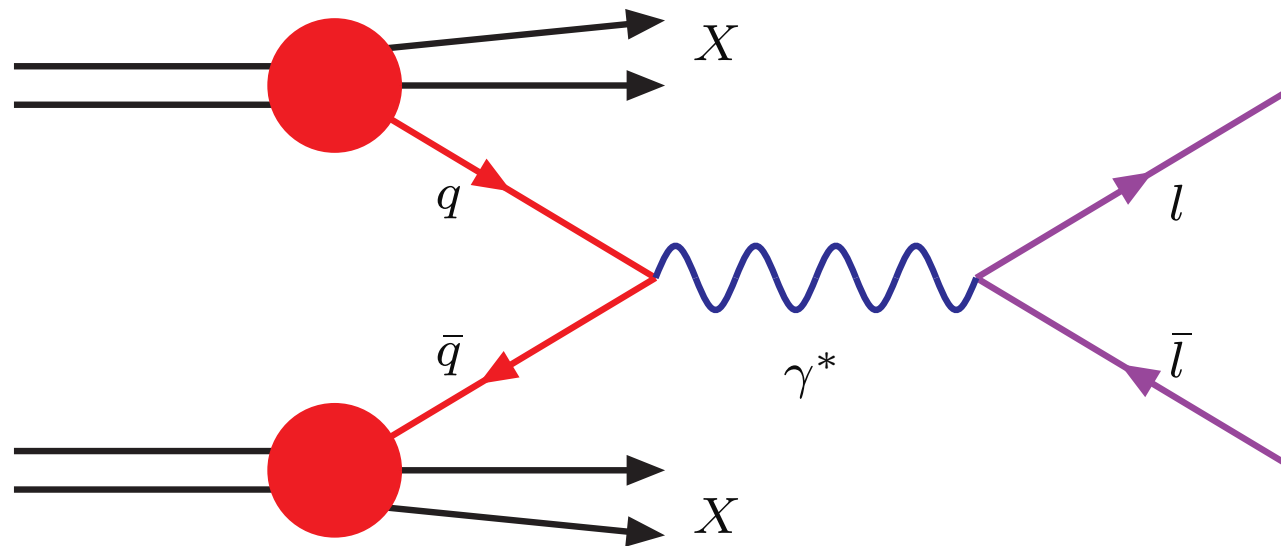
Bolsista do CNPq



Introdução

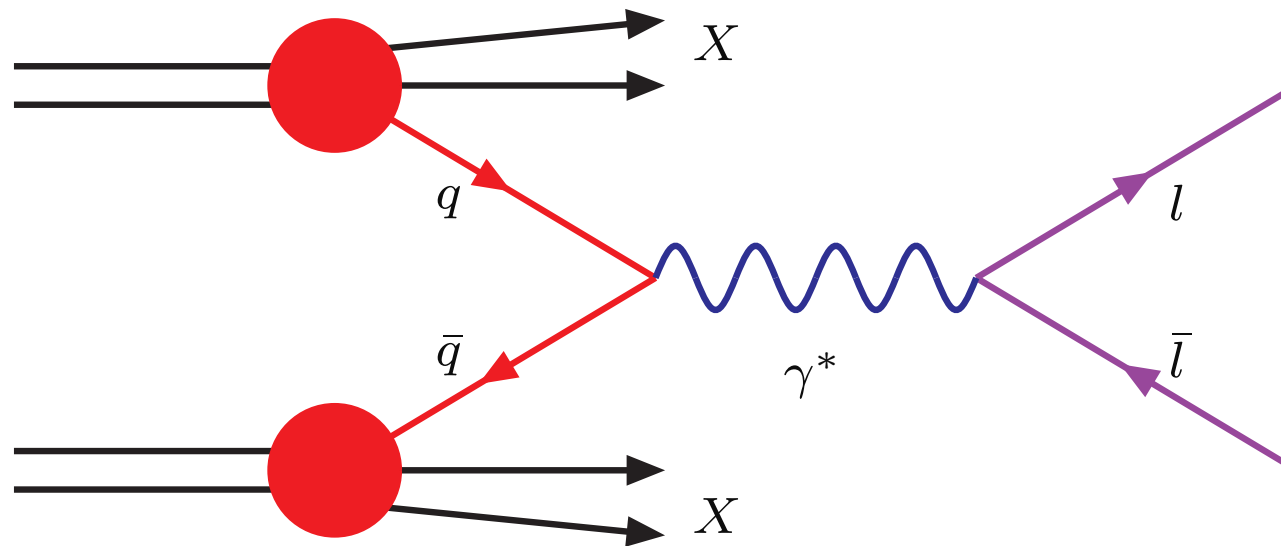
- Classificação das partículas
 - os **léptons** – **não** interagem com a **força forte** e são desprovidos de subestrutura (e.g. elétron, neutrino, ...) e
 - os **hádrons** – interagem com a **força forte** e possuem subestrutura (e.g. nêutron, próton, ...)
- As subpartículas que formam os hádrons são chamadas de **pártons**.
- Pártons podem ser **quarks** e **glúons**.
- **Como os pártons formam os hádrons?**
- Os pártons carregam carga de cor, a carga da força forte.
- Os hádrons não têm cor, de tal maneira que os pártons estão **confinados** ao interior dos hádrons.
- Sendo assim, a única maneira de estudar (“colidir”) os pártons é estudando (“colidindo”) hádrons.

Processo Drell-Yan



- O **processo Drell-Yan** é a produção de diléptons (pares de léptons e antiléptons) a partir da combinação de **dois pártons** em uma colisão entre dois hádrons.
- Resíduos X , formados a partir dos outros pártons.
- O lépton pode ser um **elétron** (0,51 MeV), **múon** (105 MeV) ou **tau** (1777 MeV) e não interage fortemente, ou seja, é **afetado minimamente pelo resíduo X** .

Processo Drell-Yan



- Para massa do dilépton M muito menor do que a massa do bóson Z (91 GeV), **apenas o fóton** deve ser considerado como o bóson virtual.
- O processo Drell-Yan será analisado agora no **referencial de momentum infinito**, que no caso de uma colisão próton-próton a altas energias é o **referencial de centro de momentum**.
- Em ordem dominante, é a aniquilação de um par de **quark e antiquark** em um bóson virtual que cria o dilépton e apenas vértices (interação) da eletrodinâmica quântica aparecem.



Subprocesso $q + \bar{q} \rightarrow \gamma^* \rightarrow l + \bar{l}$

- A seção de choque do subprocesso $q + \bar{q} \rightarrow \gamma^* \rightarrow l + \bar{l}$ é obtida em **ordem dominante (OD)** a partir da aplicação da **eletrodinâmica quântica**, por meio das **regras de Feynman**.
- Referencial de centro de momentum dos quarks.
- Média sobre os spins iniciais (s' e s).
- Integração sobre todos os estados finais (soma sobre os spins e integração nas variáveis angulares).
- A **seção de choque do subprocesso** é:

$$\hat{\sigma} = \frac{4\pi e_q^2 \alpha^2}{3M^2}. \quad (1)$$

- α é o parâmetro de acoplamento da eletrodinâmica quântica.
- e_q é a carga eletromagnética do quark.
- A seção de choque deverá ser multiplicada por um **fator de 1/3**, devido às três cores dos quarks.

Modelo de Pártons

- A distribuição de pártons em um hádron → cromodinâmica quântica não perturbativa.
- A alternativa é usar uma parametrização obtida por meio de experimentos.
- No caso do processo Drell-Yan, são usadas funções de distribuição em momentum de pártons $f_q(x_A)$.
- $f_q(x_A)dx_A$ é a probabilidade de encontrar o párton q com fração de momentum entre x_A e $x_A + dx_A$ do momentum do hádron A.
- A seção de choque para o processo Drell-Yan é (em ordem dominante):

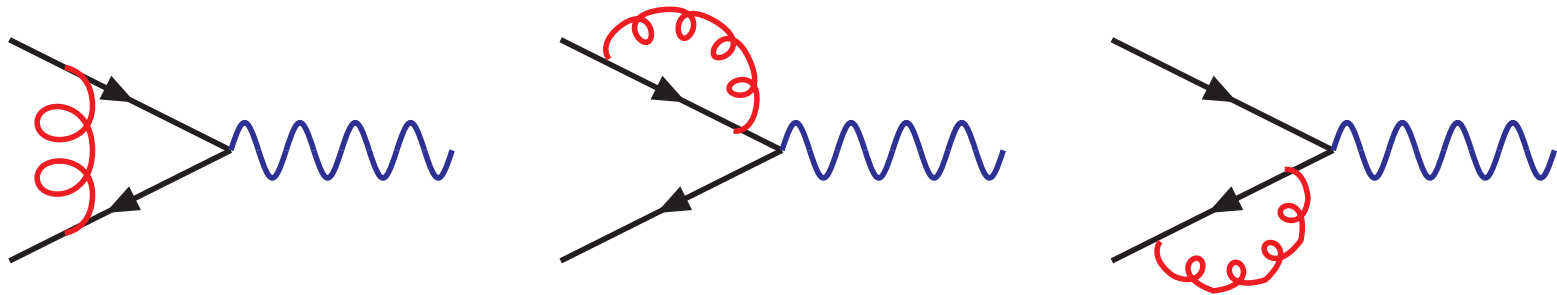
$$d\sigma = \sum_q e_q^2 \frac{4\pi\alpha^2}{9M^2} [f_q(x_A)f_{\bar{q}}(x_B) + f_{\bar{q}}(x_A)f_q(x_B)] dx_A dx_B \quad (2)$$

$$M^4 \frac{d\sigma}{dM^2} = \tau \int_{\tau}^1 \frac{dx_A}{2x_A} \frac{4\pi\alpha^2}{9} \sum_q e_q [f_q(x_A)f_{\bar{q}}(\tau/x_A) + f_{\bar{q}}(x_A)f_q(\tau/x_A)]. \quad (3)$$

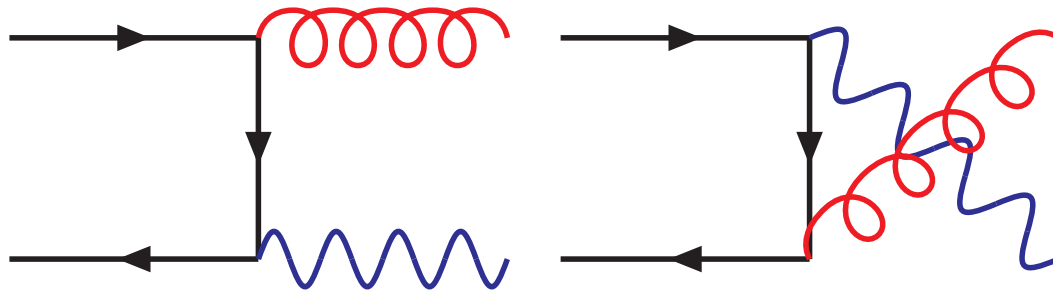
- A seção de choque acima não depende da escala M ($\tau \equiv M^2/s$), condizente com o escalonamento de Bjorken.
- A seção de choque derivada não possui dependência em momentum transversal. Seguir em ordem seguinte à dominante (OSD).

Diagramas em OSD

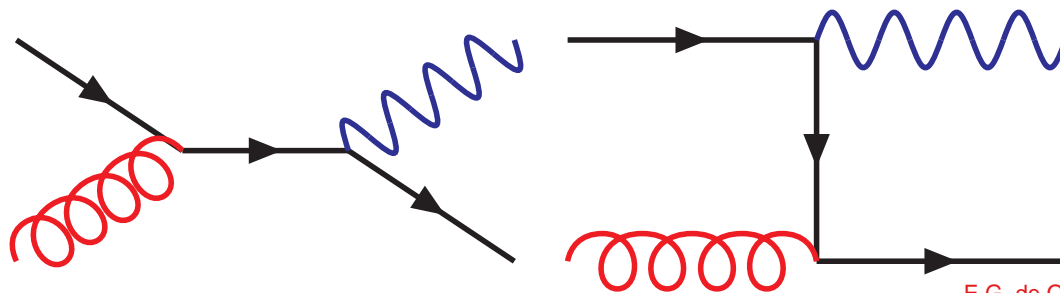
● Diagramas de correções virtuais:



● Diagramas de aniquilação:



● Diagramas de Compton:



Momentum transversal intrínseco

- Não estão incluídos de maneira consistente no modelo apresentado até agora os **momenta transversais dos diléptons** ($p_T^{\vec{}}$, bidimensional), que experimentalmente são observados.
- Considerar que os pártons dentro dos hádrons possuem um **momentum transversal intrínseco**.
- Seguindo a hipótese de que a dependência no momentum transversal é **fatorizável**, as funções de distribuição de pártons são alteradas seguindo a regra:

$$f(x)dx \rightarrow f(x)h(k_T^{\vec{}})dxd^2k_T \quad (4)$$

com $\int h(k_T^{\vec{}})d^2k_T = 1$.

- A distribuição mais usada neste tipo de parametrização é a **gaussiana**:

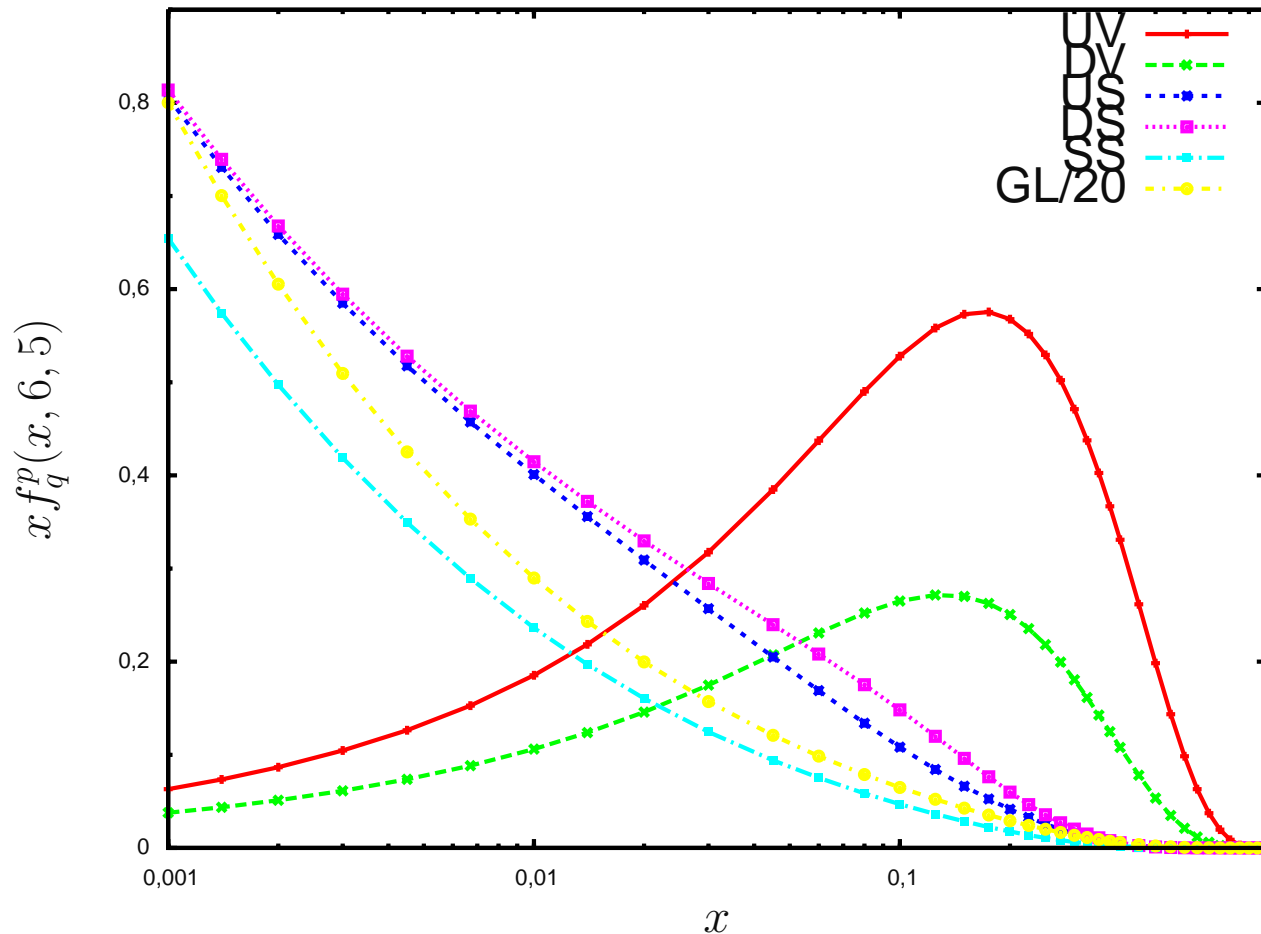
$$h(k_T^{\vec{}}) = \frac{1}{2\pi b^2} \exp\left(-\frac{k_T^2}{2b^2}\right). \quad (5)$$



Funções de distribuição de pártons

- Funções de distribuição para **prótons livres** e para **nucleons dentro de núcleos** serão usadas.
- O próton é composto por **três quarks de valência** (dois *up* e um *down*).
 - Estes **quarks** podem emitir **glúons**.
 - Estes **glúons** podem emitir pares de **quarks e antiquarks** de qualquer sabor.
- Esta seqüência de emissões cria uma **nuvem de pártons associada ao hádron**.
- O cálculo completo das distribuições partônicas a partir de **primeiros princípios** é muito difícil, senão impossível.
- Solução fenomenológica, as funções de distribuição de pártons são **parametrizadas** a partir de variados experimentos.
- Entre estes vários experimentos, é de grande importância o **espalhamento profundamente inelástico**, pois nele os hádrons são sondados por elétrons (que não têm estrutura).

Funções de distribuição de pártons



- Quarks de mar (US, DS, SS).
- Quarks de valência (UV, DV).
- Glúons (GL).
- Glúons **não tem massa**, por isso dominam em **pequeno** x .

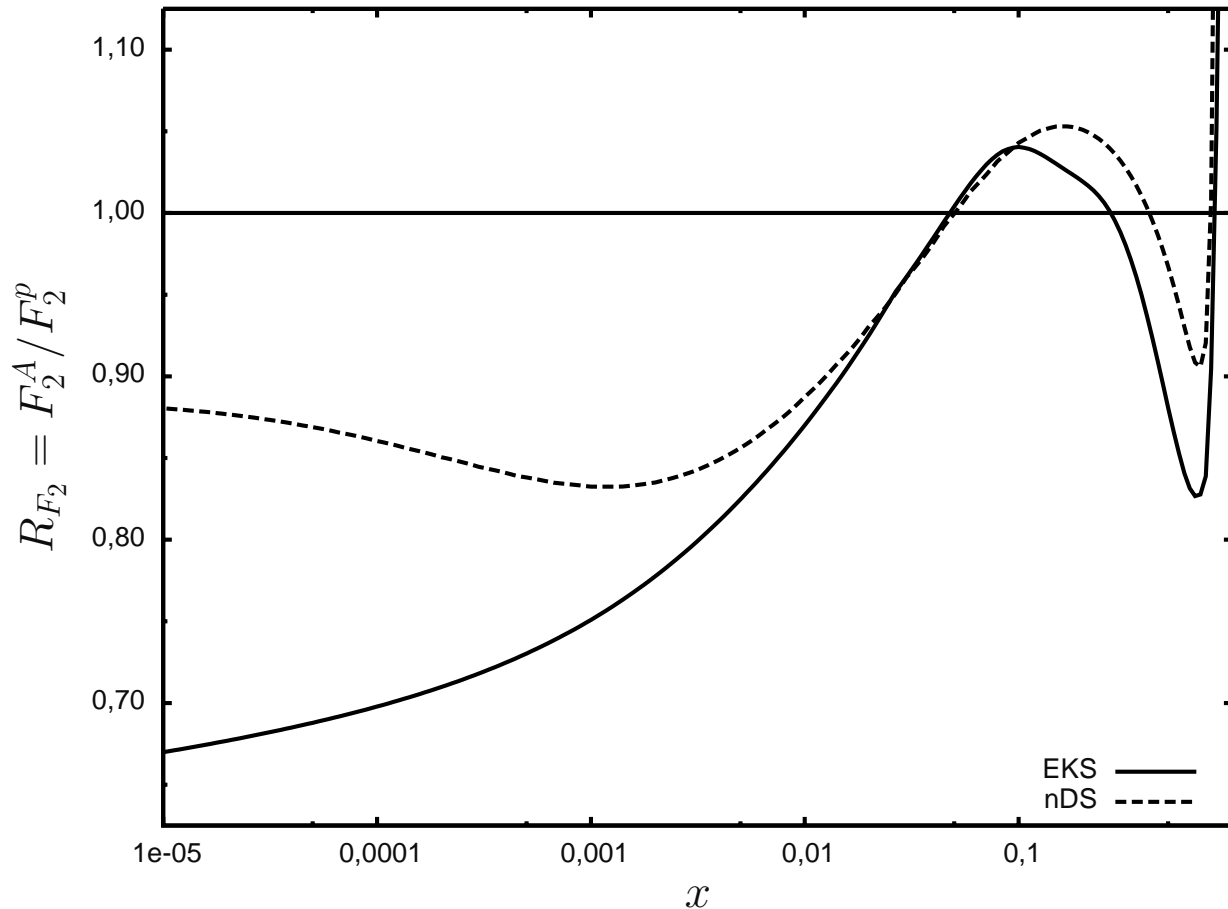
- Entre as diversas parametrizações existentes na literatura, a GRV98 (Gluck, Reya e Vogt) será utilizada.

Funções de distribuição de pártons

- As funções de **distribuição de pártons nucleares** serão calculadas a partir das **funções de prótons livres**.
- As funções nucleares são definidas para um nucleon dentro do núcleo, ou seja, x é quanto o párton carrega de **momentum do nucleon**, que por sua vez tem **$1/A$ da energia do núcleo**.
- Para obter então a seção de choque total, é necessário multiplicar por A o resultado obtido.
- A parametrização **EKS** (Eskola, Kolhinen e Salgado) será usada.
- A **parametrização EKS** dá a função de distribuição partônica nuclear simplesmente como a **função de um próton livre vezes um fator**: $f_q^A(x, Q) = R_q^A(x, Q) f_q^p(x, Q)$.
- Usa a **GRV** como função de distribuição de pártons em prótons livres.
- Uma maneira de entender as distribuições nucleares é calcular a **razão** $R_{F_2}^A = F_2^A / F_2^p$, com a definição:

$$F_2(x, Q) = x \sum_q e_q^2 [f_q(x, Q) + f_{\bar{q}}(x, Q)]. \quad (6)$$

Efeitos nucleares



- Movimento de Fermi para aproximadamente $0,8 < x$.
- Efeito EMC (*European Muon Collaboration*) $0,3 < x < 0,8$.
- Anti-sombreamento para $0,1 < x < 0,3$.
- Sombreamento para $x < 0,1$.

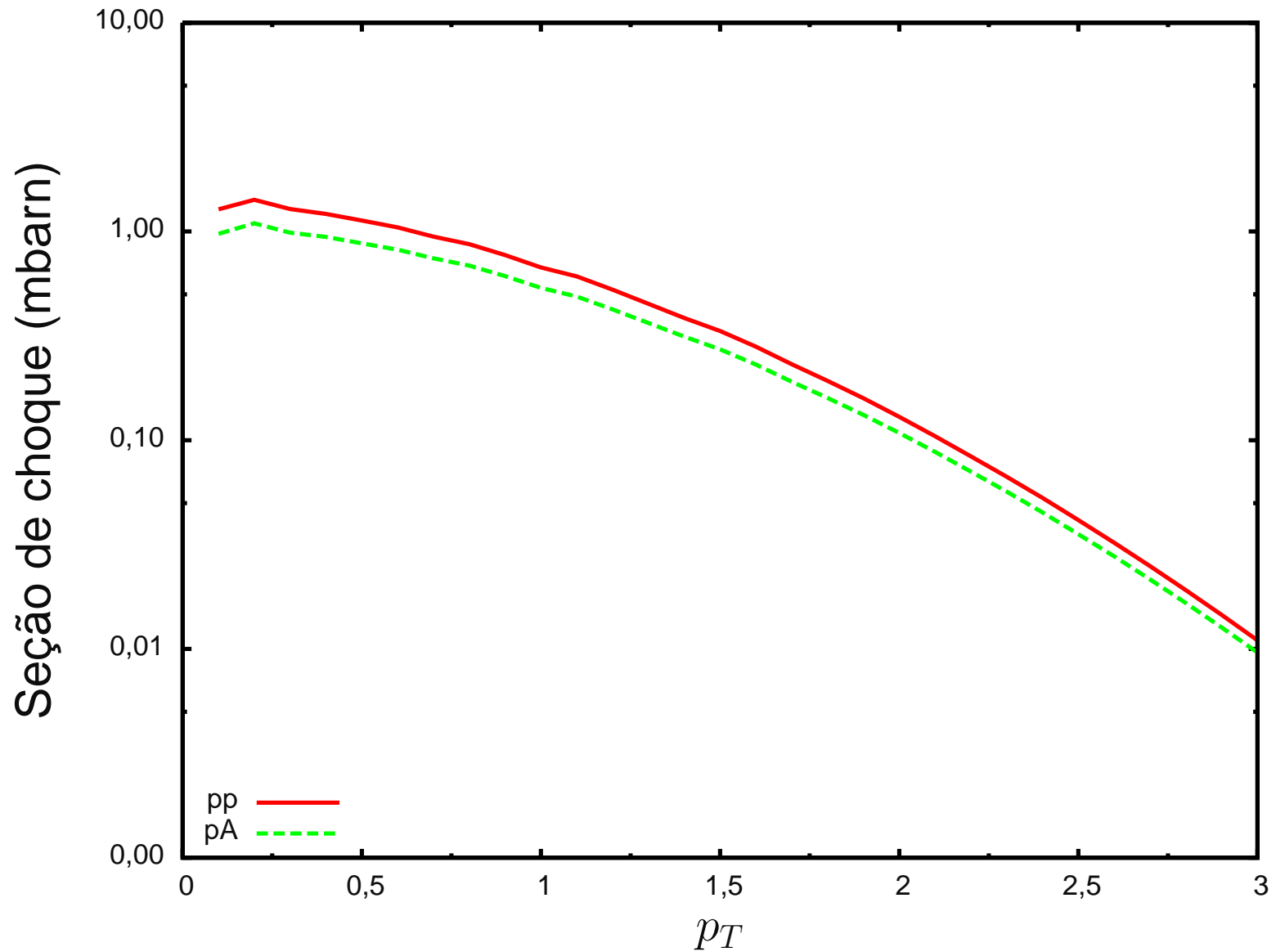
Modelo LLM

- Modelo alternativo de *off-shellness*.
- Nos modelos considerados, os pártons possuem **virtualidade nula** (são reais).
- No modelo de **Linnyk, Leupold e Mosel (LLM)**, os pártons podem variar esta virtualidade, que é então integrada com a distribuição:

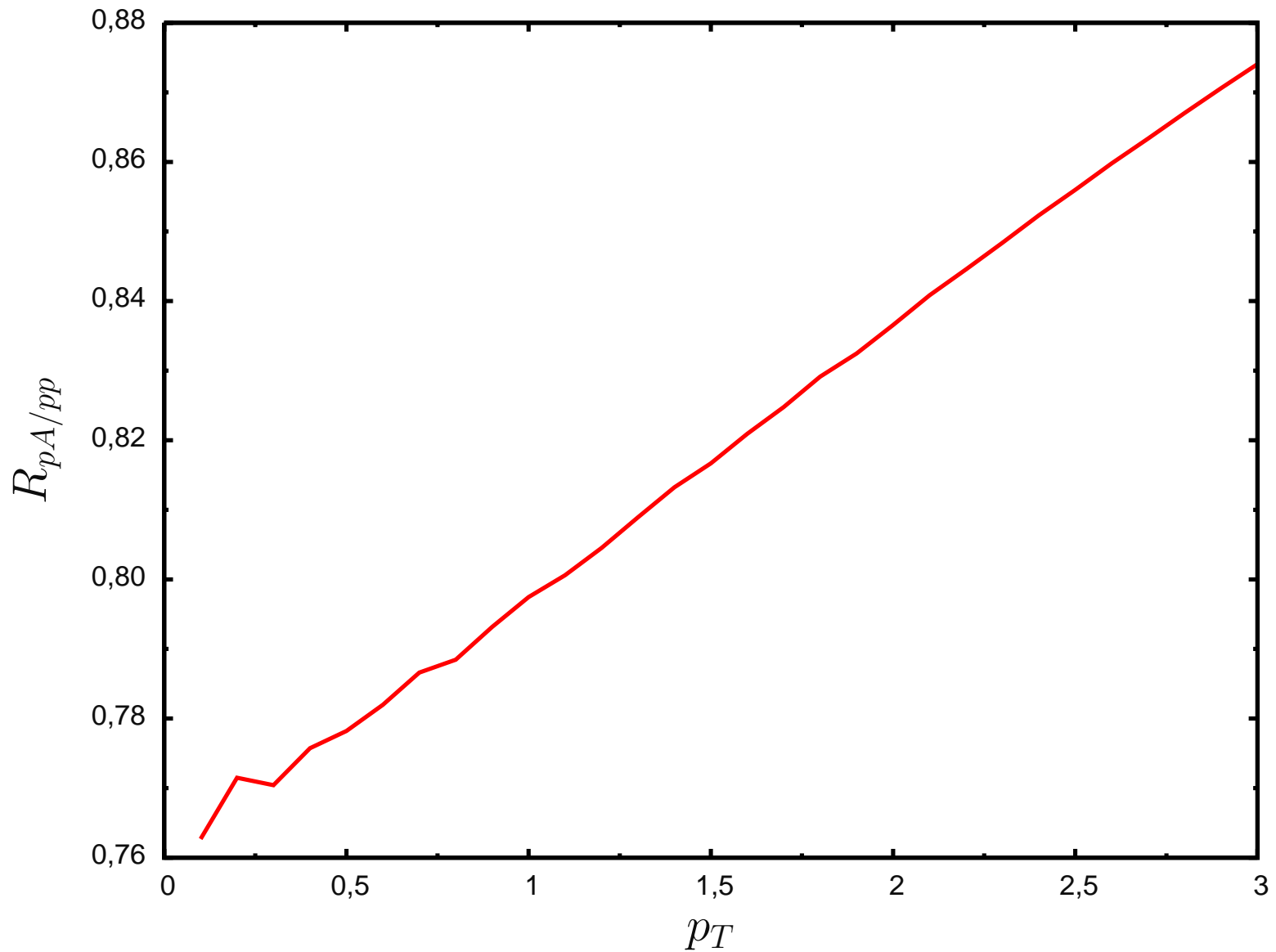
$$A(m) = \frac{1}{\pi} \frac{\Gamma}{m^2 + \frac{1}{4}\Gamma^2}. \quad (7)$$

- A constante Γ é um **novo parâmetro** a ser ajustado.
- A cinemática **exata** é utilizada, assim como o subprocesso (em ordem dominante) **não colinear** e *off-shell*.
- Em OD, o modelo é capaz de descrever os mesmos resultados experimentais descritos pela fatorização colinear.

Resultados preliminares



Resultados preliminares



Conclusões e perspectivas

- O formalismo de dipolos no processo Drell–Yan foi empregado com sucesso para pártons virtuais.
- A produção de diléptons é apropriada para entender e quantificar os efeitos nucleares para pequeno e grande x .
- Comparação com resultados anteriores.
- Usar outras distribuições de pártons em prótons livres (CTEQ, MRST) e nucleares EPS08.
- Estudo de diferentes parametrizações para o momentum transversal intrínseco.
- Cálculo de outros observáveis.