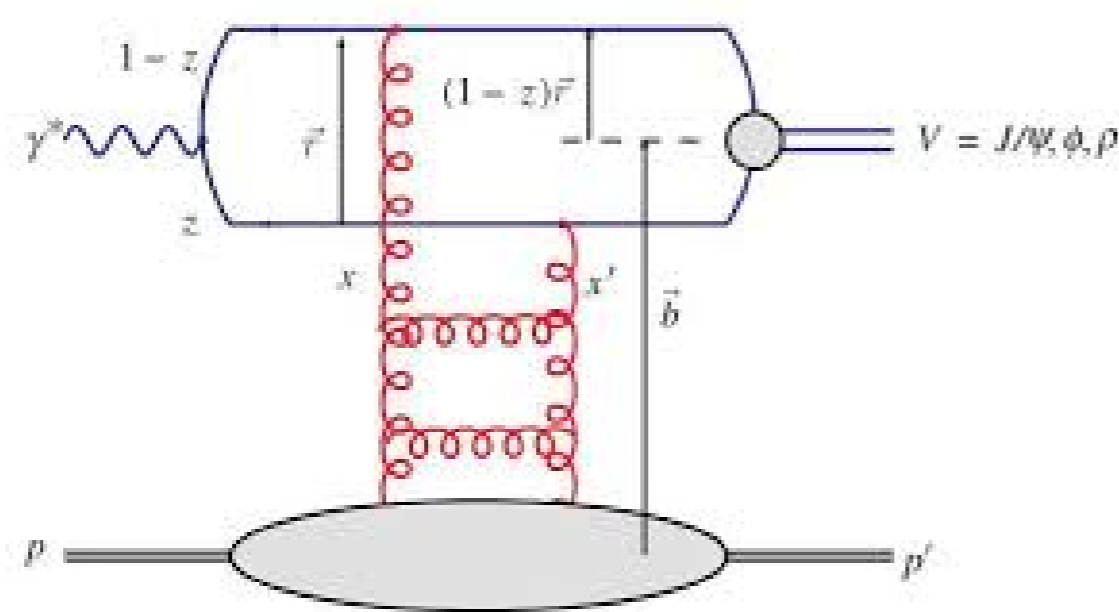


## Resumo

Este trabalho concentrou-se na investigação da secção de choque fotonuclear  $\sigma_{\gamma Pb}$  na fotoprodução de  $J/\Psi$  em colisões hadrônicas Pb-Pb. Utilizou-se o modelo de dipolos com parametrização da função de onda Boosted Gaussian, e modelos de secção de choque GBW, CGC e bCGC em energia de centro de massa  $\sqrt{s} = 2.76$  Tev. A comparação com os dados disponíveis mostra uma superestimativa para a secção de choque pelo modelo utilizado, justificada por efeitos nucleares não incluídos no formalismo de dipolos.

## Introdução

A fotoprodução de Quarkonia, méson pesados formados por um par quark-antiquark ( $q\bar{q}$ ), tem sido uma importante ferramenta no estudo da estrutura da matéria em altas energias. Em especial, estudou-se a fotoprodução exclusiva de mésons vetoriais pesados em colisões hadrônicas, processo difrativo caracterizado pela alta virtualidade dos fótons ( $Q^2 \sim 0$ ). A elevada massa dos mésons produzidos permite que o processo seja calculado via QCD perturbativa. Nas colisões ultraperiféricas, o parâmetro de impacto ( $b$ ) é geralmente superior a soma dos raios dos hádrons em colisão, de modo que os mecanismos de fotoprodução dominam a interação. Nesses processos, a interação entre o fluxo de fótons e o hádron alvo é analisada por meio do formalismo de dipolos de cor, sendo descrito em três etapas (figura (1)): (1) a flutuação de um fóton virtual em par  $q\bar{q}$  (dipolo), (2) a interação do dipolo com o alvo e (3) a recombinação do par  $q\bar{q}$  no méson vetorial [1].



**Figura 1:** Representação da interação do dipolo com o próton e produção de méson vetorial, onde  $z(1-z)$  representa a fração de momentum do fóton carregada pelo quark(antiquark)

Usando esse formalismo de dipolos, investigou-se a secção de choque fóton-núcleo ( $\sigma_{\gamma A \rightarrow V A}$ ) na fotoprodução de charmonium  $J/\Psi$  em colisões ultraperiféricas de  $Pb - Pb$ , com energia de centro de massa  $\sqrt{s} = 2.76$  Tev.

## Formalismo

Define-se a secção de choque fotonuclear ( $\sigma_{\gamma A \rightarrow V A}$ ) de maneira similar à feita em [1] para a secção de choque fóton-próton em colisões pp:

$$\sigma_{\gamma A \rightarrow V A}(\omega) = \frac{|Im A(s, t=0)|^2}{16\pi} (1 + \beta^2) R_g^2 \int_{t_{min}}^{\infty} |F(t)|^2 dt \quad (1)$$

na equação (1),  $A(s, t=0)$  é a amplitude frontal de espalhamento,  $\beta$  e  $R_g$  são parâmetros de correção, e a integral define o comportamento da secção de choque diferencial em  $t$  (tempo), sendo  $F(t)$  a função de forma eletromagnética. Em (1), a secção de choque é expressa em função da energia dos fótons ( $\omega$ ), a qual se relaciona com a rapidez da forma  $y = \ln(\frac{2\omega}{M_v})$ , sendo  $M_v$  a massa do méson vetorial. A amplitude de espalhamento ( $A$ ) é construída de acordo com o formalismo de dipolos, sendo dada por:

$$|Im A(s, t=0)| = \iint \frac{d^2 r dz}{4\pi} (\Psi_V^* \Psi)_T \sigma_{q\bar{q}}^{nuc}(\omega) \quad (2)$$

Nessa última equação,  $(\Psi_V^* \Psi)_T$  é a sobreposição das funções de onda do fóton e do méson, cujo modelo para as funções de onda dos mésons utilizada foi a Boosted Gaussian. O outro termo,  $\sigma_{q\bar{q}}^{nuc}(\omega)$ , é a secção de choque dipolo-núcleo, calculada pelo procedimento proposto em [2] como:

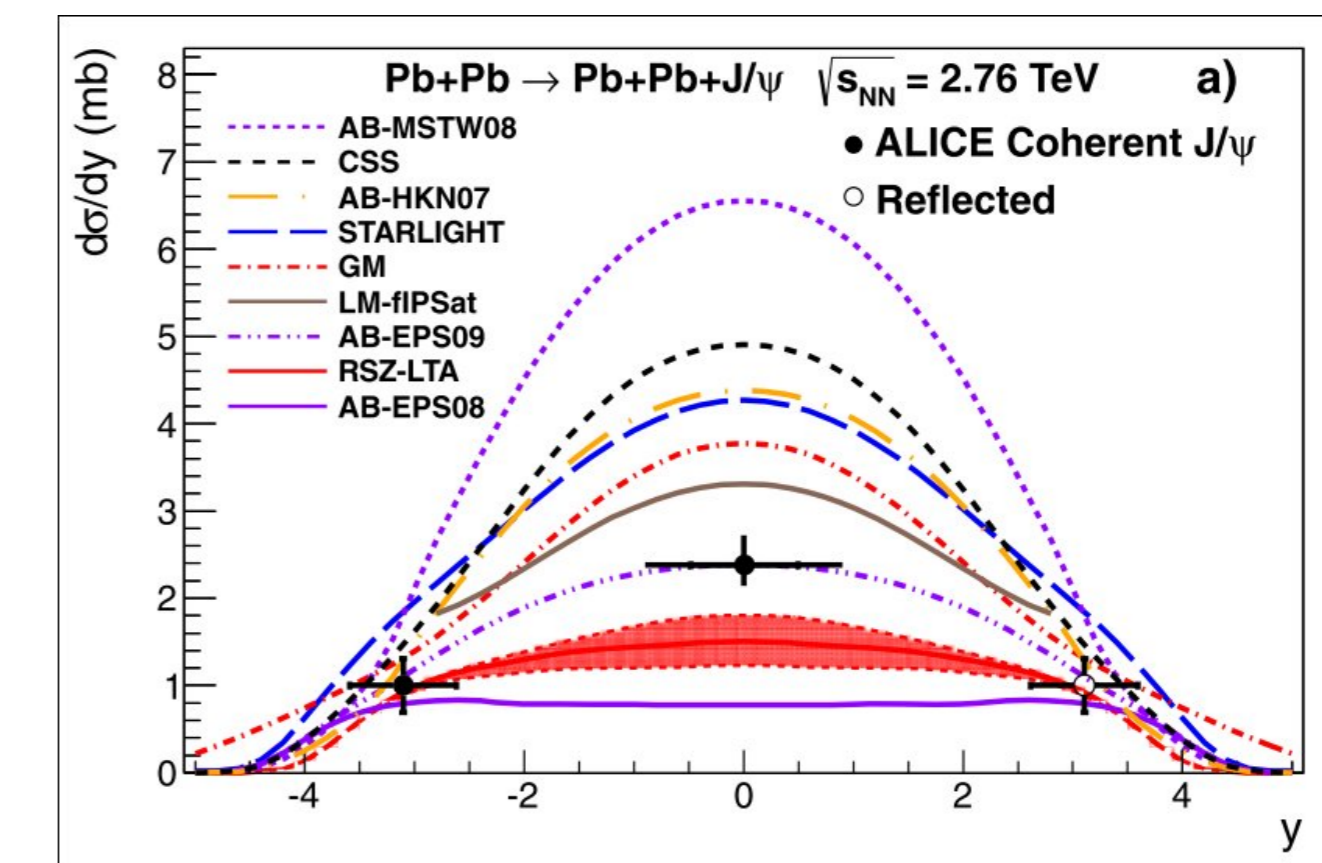
$$\sigma_{q\bar{q}}^{nuc}(\omega) = 2 \int d^2 b \left\{ 1 - \exp \left[ -\frac{1}{2} T_A(b) \sigma_{q\bar{q}}^{proton}(\omega) \right] \right\} \quad (3)$$

sendo  $T_A(b)$  a função perfil nuclear Woods-Saxon [3] e  $\sigma_{q\bar{q}}^{proton}(\omega)$  a secção de choque dipolo-núcleo, dada pelos modelos GBW, CGC e bCGC [1]. Na definição desses modelos, é utilizado o parâmetro  $x$  (de Bjorken), o qual se relaciona com a rapidez ( $y$ ) como  $W_{\gamma Pb}^2 = \sqrt{s} M_v e^{-y}$  ( $W_{\gamma Pb}$  sendo a energia do centro de massa) e  $x = \frac{M_v^2}{W_{\gamma Pb}^2}$ . Utiliza-se a função forma eletromagnética como uma esfera dura de raio  $R_{Pb}$  convoluída em um potencial de Yukawa de alcance  $a = 7 fm$ , como feito por [4], e  $t_{min}$  é dado por  $t_{min} = \left( \frac{M_v^2}{2\omega\gamma} \right)^2$ .

## Dados

Os dados disponíveis de ALICE das colisões em  $\sqrt{s} = 2.76$  Tev eram relativos à distribuição de rapidez em diferentes regiões de centralidade. Utilizando esses dados, o autor de [4] propõe uma maneira de extrair as secções de choque utilizando o fluxo de fótons. As medidas utilizadas por ele foram três: duas em UPC, uma com rapidez central  $|y| < 0,9$ , e a outra em, com  $2,6 < |y| < 3,6$ . A última medida é de uma colisão periferal com  $2,5 < |y| < 4,0$ . As medidas em rapidez frontal são utilizadas em conjunto para determinar  $\sigma_{\gamma Pb}$ , resolvendo um sistema de equações. O método proposto, porém, só é capaz de ser

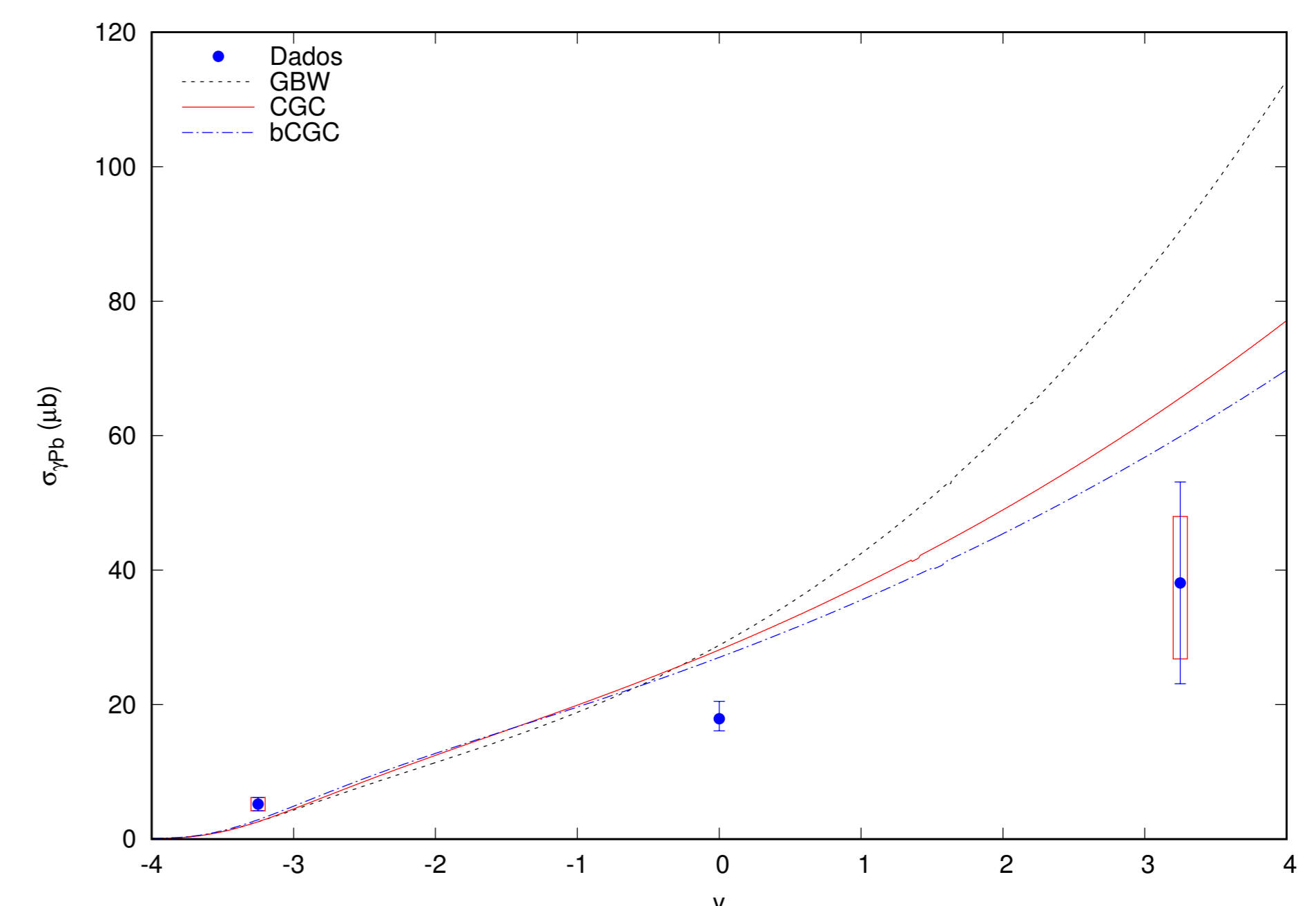
aplicado para um valor fixo de rapidez, mas as medidas são dadas em intervalos. Duas propostas foram feitas para contornar esse problema: (i) tomar o valor central da rapidez como representante dos dados; (ii) usar um modelo de distribuição que descrevesse bem os dados para calcular a média da distribuição e encontrar a rapidez com o valor correspondente. A distribuição utilizada para (ii) foi a AB-EPS09 (ver[4]).



**Figura 2:** Dados de ALICE para fotoprodução coerente de  $J/\Psi$  em colisões Pb-Pb com energia de centro de massa  $\sqrt{s} = 2.76$  Tev (gráfico retirado de [5])

## Resultados

As estimativas para a secção de choque fotonuclear para  $\sqrt{s} = 2.76$  Tev utilizando os modelos GBW, CGC e bCGC, bem como os dados analisados por [4] constam na figura 3. Os dados apresentados nessa figura são relativos à rapidez central dos intervalos das medidas de ALICE; as incertezas estatísticas são representadas pela linha azul, enquanto as sistemáticas são relativas ao retângulo vazio. Os dados relativo ao segundo método proposto não são representados pois seus valores não foram representados explicitamente no artigo [4].



**Figura 3:** Comparação entre as estimativas da secção de choque fotonuclear para colisões Pb-Pb em  $\sqrt{s} = 2.76$  Tev calculadas e dados analisados por [4]

## Conclusão

Neste trabalho foi estudada a secção de choque fotonuclear  $\sigma_{\gamma Pb}$  na fotoprodução de  $J/\Psi$  em colisões Pb-Pb com energia de centro de massa  $\sqrt{s} = 2.76$  Tev alcançadas em ALICE ([5], [6], [7]). Para o cálculo da sobreposição das funções de onda do méson, utilizou-se a parametrização Boosted Gaussian, bem como para as secções de choque dipolo-núcleo, utilizou-se os modelos GBW, CGC e bCGC.

Os resultados mostram que as previsões obtidas pelos vários modelos superestimam o valor das secções de choque obtidas por [4]. Tal fato já era esperado, uma vez que o modelo de dipolos utilizados pelo GFPAE ([8], [9], [10]) leva em consideração somente os efeitos de saturação, enquanto o utilizado por [4], (baseado em cálculo de pQCD *leading order*) possui vários parâmetros livres ajustados por dados, compensando efeitos nucleares tais quais shadowing e QGP.

## Agradecimentos

À professora Maria Beatriz Gay Ducati, e ao estudante de doutorado Sony Martins por discussões esclarecedoras, bem como à PROPESQ/UFRGS pela bolsa de iniciação científica.

## Referências

- [1] H. Kowalski, L. Motyka and G. Watt, Phys. Rev. D **74**, 074016 (2006)
- [2] N. Armesto Eur. Phys. J. C **35** (2002)
- [3] R. Vogt, *Ultrarelativistic Heavy-Ion Collisions* Elsevier, Amsterdam, 2007
- [4] J.G. Contreras Phys. Rev. C **96**, 015203 (2017)
- [5] E. Abbas et al. (ALICE), Eur. Phys. J. C **73**, 2617, (2013);
- [6] B. Abelev et al. (ALICE), Phys. Lett. B **718**, 1273, (2013);
- [7] J. Adam, et al. (ALICE), Phys. Rev. Lett. **116**, 222301, (2016)
- [8] M. B. Gay Ducati, F. Kopp, M. V. T. Machado and S. Martins, Phys.Rev. D **94**, 094023, (2016)
- [9] M. B. Gay Ducati and S. Martins, Phys. ReV. D **96**, 056014, (2017);
- [10] M. B. Gay Ducati and S. Martins, arXiv:1804.09836 [hep-ph], (2018);