

ESTUDO DAS CONTRIBUIÇÕES EXCLUSIVAS E NÃO-EXCLUSIVAS NO MECANISMO DE FUSÃO DE FÓTONS

GABRIEL G. V. VERONEZ¹; GUSTAVO GIL DA SILVEIRA²;
VICTOR PAULO BARROS GONÇALVES³

¹Universidade Federal de Pelotas – gabver.fisica@gmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul – gustavo.silveira@cern.ch

³Universidade Federal de Pelotas – victorpbg@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O Modelo Padrão da Física abrange as teorias que explicam as interações entre partículas elementares, como a Cromodinâmica Quântica (QCD), que descreve as interações entre quarks e glúons intermediadas pela força nuclear forte, e a Teoria Eletrofraca, unificação das interações fundamentais do eletromagnetismo e da força nuclear fraca. Essas interações podem ser estudadas em aceleradores de partículas como o Grande Colisor de Hádrons (Large Hadron Collider – LHC), onde os hádrons atingem velocidades relativísticas, podendo produzir novas partículas. O LHC foi concebido para realizar colisões com energias de até 14TeV, obtendo resultados com a descoberta do Bóson de Higgs, e espera-se descobrir partículas não previstas pelo Modelo Padrão da Física.

Os dados das colisões em aceleradores de partículas são usados para criar ou aperfeiçoar modelos de Funções de Distribuições de Pártons (Parton Distributions Functions – PDF), que representam as densidades de probabilidade de encontrar um parton carregando uma fração de momentum do próton. Tais funções são essenciais para predizer, com precisão, a produção de partículas em colisões hadrônicas. Recentemente, uma anomalia de 750GeV (CMS Collaboration, 2015) foi detectada no LHC, proveniente da interação entre dois fótons, posteriormente descartada após nova análise de dados e considerada uma mera flutuação estatística. No entanto, isso elevou o interesse na procura por partículas produzidas por interações entre fótons. Algumas colaborações, como a MRST (MARTIN et al, 2005), CTEQ-TEA (SCHMIDT et al, 2016) e NNPDF (BALL et al, 2013), têm feito ajustes para a PDF de fótons, mas a escassez de dados cria divergências entre os modelos e gera incertezas estatísticas.

O objetivo deste trabalho é fazer um estudo do ponto de vista fenomenológico dos modelos disponíveis para fotoprodução de partículas em colisões próton-próton no LHC, tal como pares de bósons W, para energias de 7TeV, 8TeV, 13TeV e 14TeV. Analisaremos a relação entre as contribuições elástica, semielástica e inelástica das colisões hadrônicas através de um fator F (CHATRCHYAN et al, 2013; KHACHATRYAN et al, 2016), o qual será utilizado para fazer correções em histogramas.

2. METODOLOGIA

Num primeiro momento, um programa em código FORTRAN foi elaborado em conjunto com o pacote QUADPACK para calcular as distribuições de fótons em colisões próton-próton para os casos elástico (ambos os prótons permanecem intactos), semielástico (um próton permanece intacto enquanto o outro quebra e seus constituintes hadronizam) e inelástico (ambos os prótons quebram). Para a

contribuição elástica foram usadas as equações de BUDNEV (1975), DREES e ZEPPENFELD (1989), KNIEHL (1991) e JACKSON (1975), e para a contribuição inelástica foi usado o interpolador LHAPDF (BUCKLEY et al, 2015) com PDFs de fótons das colaborações MRST, CTEQ-TEA e NNPDF.

Posteriormente, foram incluídos cálculos da luminosidade, seção de choque diferencial em função da massa invariante e rapidez, e seção de choque total. Finalmente, utilizaremos os cálculos das seções de choque diferencial e total para verificar o comportamento do fator F .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentamos, na Figura 1, a distribuição de massa invariante no processo de fotoprodução de bósons W , com energia de centro de massa 13TeV . No eixo vertical está representada a seção de choque diferencial, numa escala de pico-barn, em função da massa invariante dos fótons. Vemos um pico da seção de choque quando a energia dos fótons se aproxima da massa do par de bósons W ($\sim 160\text{GeV}$) produzidos. A parte elástica, denotada por F_E e F_{E+M} , onde E e M representam os fatores de forma elétrico e magnético de dipólo do próton, não contribui tanto quanto a inelástica, denotada pelo sufixo QED, devido a menor probabilidade de ocorrer um espalhamento elástico em altas energias.

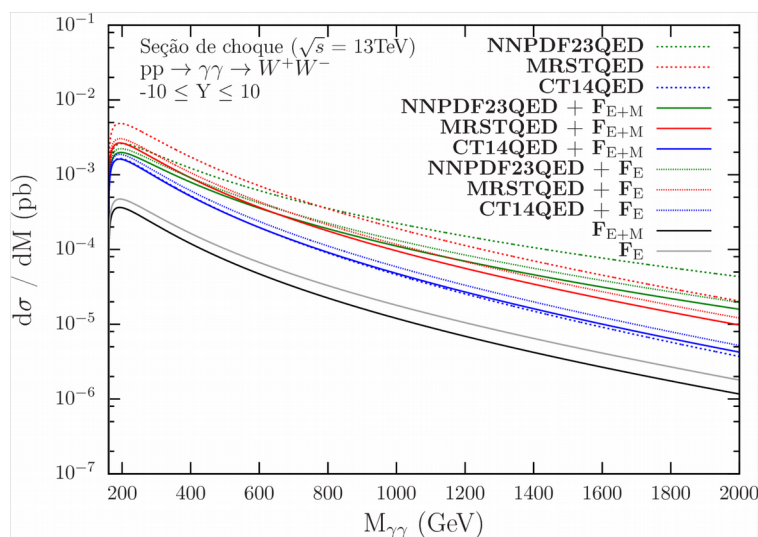


Figura 1: Distribuição de massa invariante no processo de fotoprodução de bósons W com energia de centro de massa 13TeV .

Similarmente, na Figura 2, está representada a distribuição de rapidez. Destacamos que há maior probabilidade de ocorrer fotoprodução de bósons W na região central ($Y = 0$), onde os fótons carregam uma pequena fração de momentum dos prótons, enquanto nas extremidades (ou caudas), onde um dos fótons carrega uma fração de momentum muito grande ($x \approx 1$), a probabilidade da interação diminui.

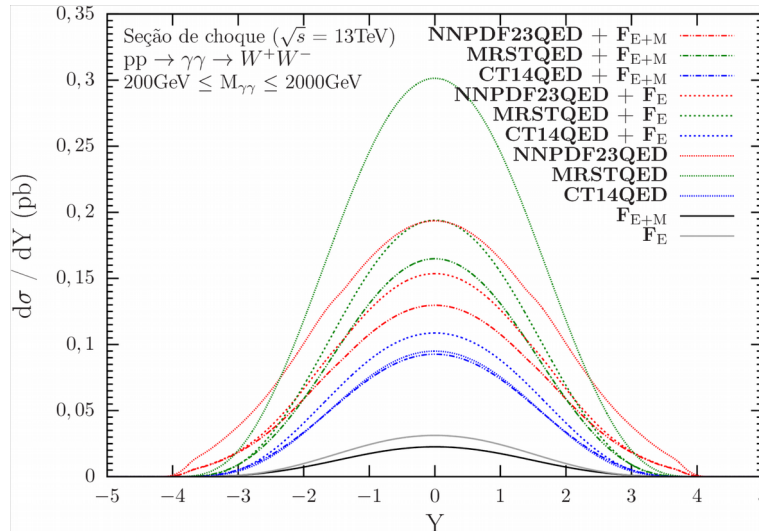


Figura 2: Distribuição de rapidez no processo de fotoprodução de bósons W com energia de centro de massa 13TeV.

Espera-se que o fator F apresente um decréscimo enquanto aumenta-se a energia, devido a redução da contribuição elástica e aumento da contribuição inelástica nas colisões hadrônicas em altas energias. No entanto, o fator F com a PDF de fótons da colaboração CTEQ-TEA, denotada como CT14QED, apresenta um resultado adverso, mostrando um crescimento inesperado com a massa na Figura 3, talvez devido a forma como os dados são parametrizados nessa particular abordagem. Já o fator F com as PDFs das colaborações MRST e NNPDF comporta-se de acordo com o esperado.

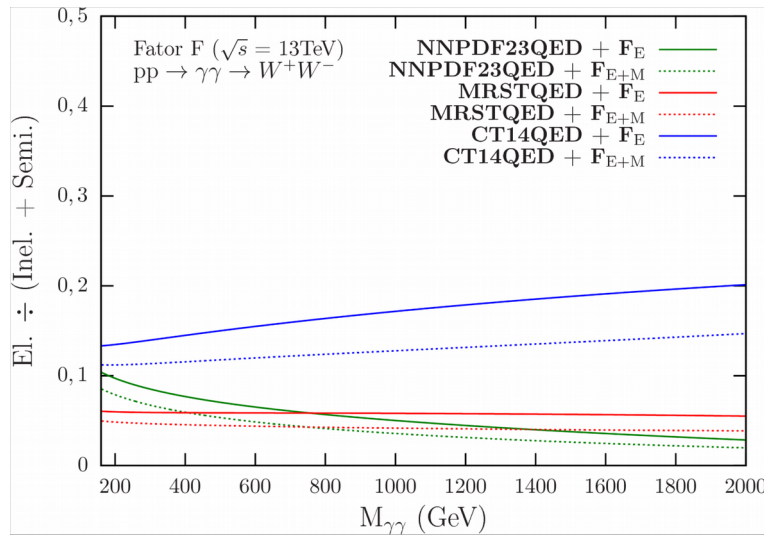


Figura 3: Fator F em função da massa invariante no processo de fotoprodução de bósons W com energia de centro de massa 13TeV.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, estudamos os modelos para colisões hadrônicas disponíveis em regimes de altas energias, onde verificamos a existência de discordâncias nas PDFs de fótons das colaborações MRST, CTEQ-TEA e NNPDF. Essas diferenças são salientadas na estimativa do fator F, como mostra a Figura 3, cujo propósito é reduzir os erros sistemáticos na análise de dados experimentais.

Cálculos das seções de choque diferencial e total para as regiões cinemáticas detectáveis pelo LHC são ainda necessários para quantificar estas contribuições para se determinar o fator F na região dos dados obtidos pelos experimentos do LHC. Com isso, pode-se estimar o erro sistemático esperado para as futuras análises que envolvam a produção de pares pela fusão de fótons. Se possível, compararemos nossos resultados com geradores de eventos Monte Carlo para colisões próton-próton.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CMS Collaboration. Search for new physics in high mass diphoton events in proton-proton collisions at 13TeV. 2015.

MARTIN, A. D. et al. Parton distributions incorporating QED contributions. **The European Physical Journal C**, v.39, p.155-161, 2005.

SCHMIDT, C. et al. CT14QED parton distribution functions from isolated photon production in deep inelastic scattering. **Physical Review D**, v.93, n.11, p.114015, 2016.

BALL, R. D. et al. Parton distributions with QED corrections. **Nuclear Physics B**, v.877, p.290-320, 2013.

BUCKLEY, A et al. LHAPDF6: parton density access in the LHC precision era. **The European Physical Journal C**, v.75, n.3, p.132, 2015.

CHATRCHYAN, S. et al. Study of exclusive two-photon production of $W+W^-$ in pp collisions at $s^{1/2} = 7$ TeV and constraints on anomalous quartic gauge couplings. **JHEP**, v.07, p.116, 2013.

KHACHATRYAN, V. et al. Evidence for exclusive $\gamma\gamma \rightarrow W+W^-$ and constraints on anomalous quartic gauge couplings in pp collisions at $s^{1/2}$ 7 and 8 TeV. **JHEP**, v.08, p.119, 2016.

BUDNEV, V. M. et al. The two-photon particle production mechanism. Physical problems. Applications. Equivalent photon approximation. **Physics Reports**, v.15, n.4, p.181-282, 1975.

DREES, M.; ZEPPENFELD, D. Production of supersymmetric particles in elastic ep collisions. **Physical Review D**, v.39, n.9, p.2536-2546, 1989.

KNIEHL, B. Elastic ep scattering and the Weizsäcker-Williams approximation. **Physics Letters B**, v.254, p.267-273, 1991.

JACKSON, J. D. **Classical Electrodynamics**. John Wiley & Sons, 1975.