

A Inteligência Artificial em Física de Partículas: um pouco de história

Nuno Castro

Departamento de Física da Escola de Ciências da Universidade do Minho

LIP – Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas

Divisão de Física de Partículas da Sociedade Portuguesa de Física

Nos anos 60 do séc. XX, as experiências de Física de Partículas começaram a introduzir sistemas digitais de aquisição e processamento de dados. Tal correspondeu a uma revolução na quantidade de dados adquiridos em tempo real. O uso de redes de comunicação cada vez mais rápidas, bem como de microprocessadores e eletrônica dedicada de alto desempenho [1], permitiu aumentar significativamente o volume de dados gerados, dando também origem a novos desafios relacionados com o seu processamento. Na Figura 1, ilustram-se os volumes de dados produzidos atualmente pelas grandes experiências do CERN, o Laboratório Europeu de Física de Partículas, comparando-se com os volumes de dados gerados pelas grandes empresas de Big Data.

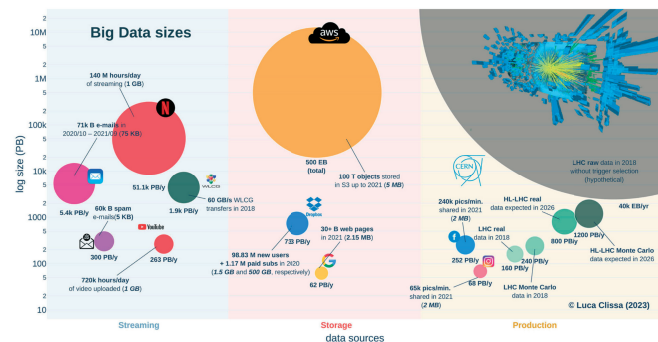


Figura 1: Ordens de grandeza envolvidas em diferentes fontes de dados, para vários intervenientes no sector dos grandes volumes de dados. A área de cada bolha representa a quantidade de dados transmitidos, alojados ou gerados. Figura extraída de [2].

A necessidade de processar, reconstruir e interpretar enormes quantidades de dados obrigou, desde sempre, as experiências de Física de Partículas a recorrerem ao estado da arte da computação e da ciência dos dados. É neste contexto que surge o recurso às tecnologias de Inteligência Artificial.

Com efeito, o início da revolução dos dados em Física de Partículas é temporalmente coincidente com a primeira explosão da aprendizagem automática [3]. Não é, portanto, surpreendente que cerca de duas décadas depois, nos anos 80 do séc. XX, surjam as primeiras propostas de aplicação de Inteligência Artificial a esta área, destinadas a encontrar padrões em dados complexos.

Um dos primeiros exemplos é o artigo de Denby, de 1988 [4], em que é proposto o uso de redes neuronais artificiais para reconstrução de traços a partir de pontos experimentais (c.f. Figura 2). Este trabalho inspira-se na proposta de Hopfield e Tank, de 1985, em que é demonstrada a eficácia das redes neuronais em problemas com grande complexidade combinatória [5]. Pouco tempo depois, em 1989, Peterson [6] apresenta uma proposta semelhante, onde discute o mesmo problema de reconstrução de traços com redes neuronais artificiais, referindo que “ N sinais requerem $O(N(N - 1))$ neurónios [pelo que] o algoritmo proposto não é, portanto, competitivo com as abordagens convencionais quando executado em série”. Refere, no entanto, que a abordagem proposta é inerentemente paralelizável, esperando-se ganhos importantes dessa forma.

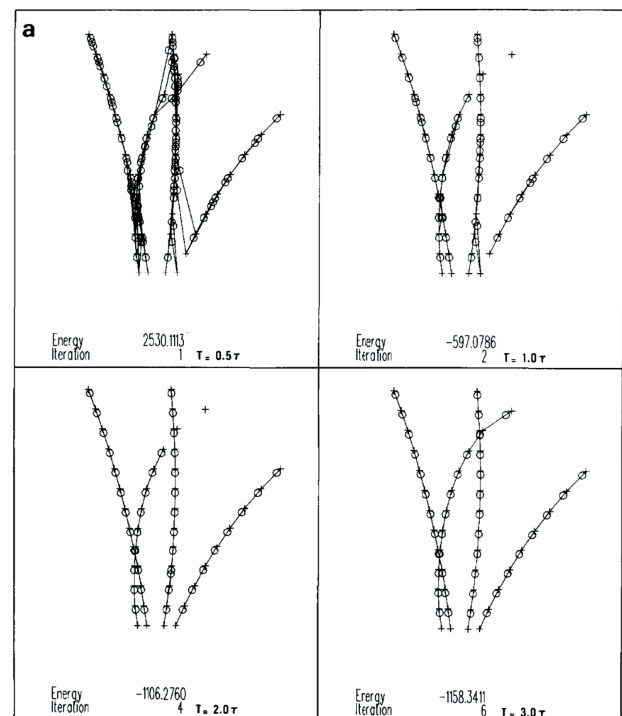


Figura 2: Reconstrução de traços com redes neurais para iterações sucessivas. Neste exemplo, os pontos medidos são representados por cruzes, os neurónios por segmentos que unem os pontos, com um círculo na cabeça do neurónio a indicar a direção. Figura extraída de [4].

Os recursos computacionais necessários não estavam, então, disponíveis, pelo que foi preciso esperar mais cerca de uma década para que as experiências de Física de Partículas começassem a usar de forma sistemática algoritmos de aprendizagem estatística. No entanto, num artigo de revisão de 1999, Denby [7] refere vários casos de uso real ao longo dos anos 90, tais como a classificação de decaimentos do bóson Z pela experiência DELPHI do CERN (1992), a identificação de elétrões pela experiência ZEUS de DESY (1995) ou a medição da massa do recém descoberto quark top, pela experiência D0 do Tevatrão (1997).

Mais recentemente, é de 2009 um dos primeiros exemplos de uma observação experimental apenas possível devido ao uso de técnicas de Inteligência Artificial: a experiência D0 reporta a observação de um processo raro (produção de quarks top isolados, por oposição à produção de pares, que é mais provável), sendo que este resultado apenas foi possível pela utilização de árvores de decisão, previamente treinadas em simulações de Monte Carlo [8], tal como ilustrado na Figura 3.

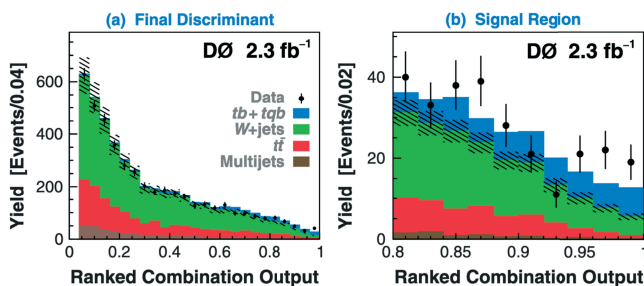


Figura 3: Distribuição da previsão do algoritmo baseado em árvores de decisão (Boosted Decision Trees, BDT, em inglês) usado pela Colaboração D0 na identificação da produção de quarks top isolados para dados e simulação dos vários processos do Modelo Padrão da Física de Partículas. A produção de quarks top isolados (tb+tbq) é representada a azul, enquanto que os histogramas verde, vermelho e castanho correspondem aos processos de fundo. Em (a) vemos a distribuição completa e em (b) a região onde o sinal é mais proeminente. Figura extraída de [8].

Nos últimos 15 anos, o uso de Inteligência Artificial em Física de Partículas generalizou-se, em particular no que respeita a algoritmos de aprendizagem automática. As colaborações experimentais dependem largamente destas técnicas para a seleção e reconstrução em tempo (quase) real dos seus dados, bem como para a sua interpretação. Ao longo da complexa cadeia de aquisição, processamento e análise de dados são usados inúmeros algoritmos de aprendizagem automática. Técnicas semi-supervisionadas e não supervisionadas, por exemplo, têm vindo a ganhar destaque na procura de fenómenos raros ou inesperados. Conseguimos assim aumentar consideravelmente a informação que extraímos dos dados experimentais, expandindo amplamente os resultados ao nosso alcance. De igual forma, também as simulações computacionais e a capacidade que temos de fazer previsões teóricas têm beneficiado significativamente do uso de Inteligência Artificial. Esta é uma área em grande expansão em Física de Partículas, com um número crescente de investigadores a dedicar o seu tempo ao desenvolvimentos de novas e melhores técnicas.

Ao leitor interessado em conhecer as inúmeras aplicações modernas de Inteligência Artificial à Física de Partículas recomendo um dos sítios de referência [9], onde são continuamente atualizadas as publicações nesta área. A Figura 4, daí extraída, ilustra

bem o impressionante crescimento do interesse da comunidade de Física de Partículas em Inteligência Artificial.

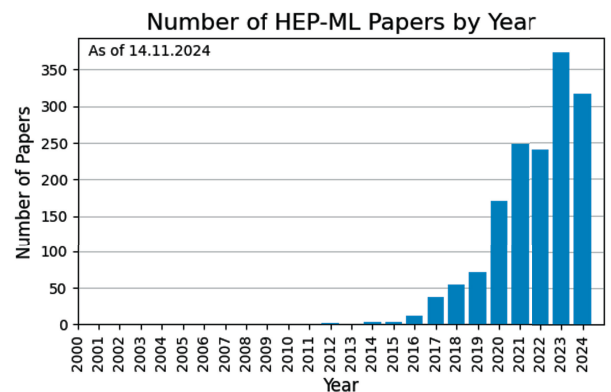


Figura 4: Evolução das publicações referentes a aplicações de aprendizagem automática à Física de Partículas. Os dados de 2024 reportam a novembro desse ano. Figura extraída de [9].

Podemos, em jeito de conclusão, argumentar que a Física das Altas Energias, movida pela necessidade de analisar (crescentemente) grandes quantidades de dados, tem estado no pelotão da frente da utilização em larga escala de técnicas de Inteligência Artificial, contribuindo, também, para a formação das novas gerações de cientistas de dados que, muitas vezes, acabam por desenvolver a sua atividade em contextos diversificados. Tal não significa, naturalmente, que a maioria dos algoritmos em causa tenham sido desenvolvidos no contexto específico da Física de Partículas. Mas é justo dizer que a Física em geral e a Física de Partículas, em particular, fornecem um excelente campo de aplicação para estas técnicas computacionais e que, ao mesmo tempo, a sua especificidade implica, muitas vezes, o desenvolvimento de ideias originais que contribuem para a evolução deste importante ramo transdisciplinar do conhecimento.

Referências

- [1] J. Toledo, F.J. Mora, H. Müller, Past, present and future of data acquisition systems in high energy physics experiments, *Microprocessors and Microsystems*, Volume 27, Issue 8, 2003, [https://doi.org/10.1016/S0141-9331\(03\)00065-6](https://doi.org/10.1016/S0141-9331(03)00065-6).
- [2] L. Clissa, M. Lassnig, L. Rinaldi L, How big is Big Data? A comprehensive survey of data production, storage, and streaming in science and industry, *Frontiers in Big Data* 6, 1271639, 2023, <https://doi.org/10.3389/fdata.2023.1271639>.
- [3] A. L. Fradkov, Early History of Machine Learning, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 53, Issue 2, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.1888>.
- [4] B. Denby, Neural networks and cellular automata in experimental high energy physics, *Computer Physics Communications*, Volume 49, Issue 3, 1988, [https://doi.org/10.1016/0010-4655\(88\)90004-5](https://doi.org/10.1016/0010-4655(88)90004-5).
- [5] J. J. Hopfield, D.W. Tank, "Neural" computation of decisions in optimization problems, *Biological Cybernetics* 52, 1985, <https://doi.org/10.1007/BF00339943>.
- [6] C. Peterson, Track finding with neural networks, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Volume 279, Issue 3, 1989, [https://doi.org/10.1016/0168-9002\(89\)91300-4](https://doi.org/10.1016/0168-9002(89)91300-4).
- [7] B. Denby, Neural networks in high energy physics: A ten year perspective, *Computer Physics Communications*, Volume 119, Issues 2-3, 1999, [https://doi.org/10.1016/S0010-4655\(98\)00199-4](https://doi.org/10.1016/S0010-4655(98)00199-4).
- [8] Colaboração D0, Observation of Single Top-Quark Production, *Physical Review Letters* 103, 092001, 2009, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.103.092001>.
- [9] A Living Review of Machine Learning for Particle Physics, <https://iml-wg.github.io/HEPML-LivingReview>.