

# FÍSICA DE PARTÍCULAS EM CONTEXTO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

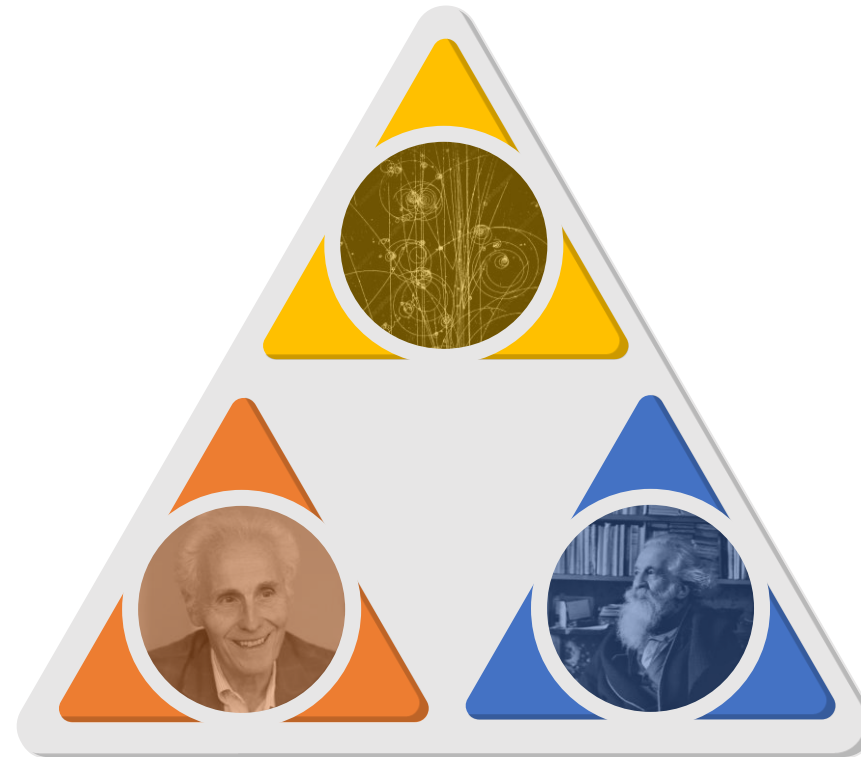
RESULTADOS OBTIDOS COM  
A IMPLEMENTAÇÃO DA  
DISCIPLINA

RENAN MILNITSKY  
JULIEN MINERBO  
MARCELO MUNHOZ  
IVÃ GURGEL

# ESTRUTURA DA DISCIPLINA

Tripé teórico-histórico-educacional

## FÍSICA DE PARTÍCULAS



**OBJETIVOS-  
OBSTÁCULOS**

Jean-Louis-Martinand

Objetivos  
associados à  
superação de  
obstáculos

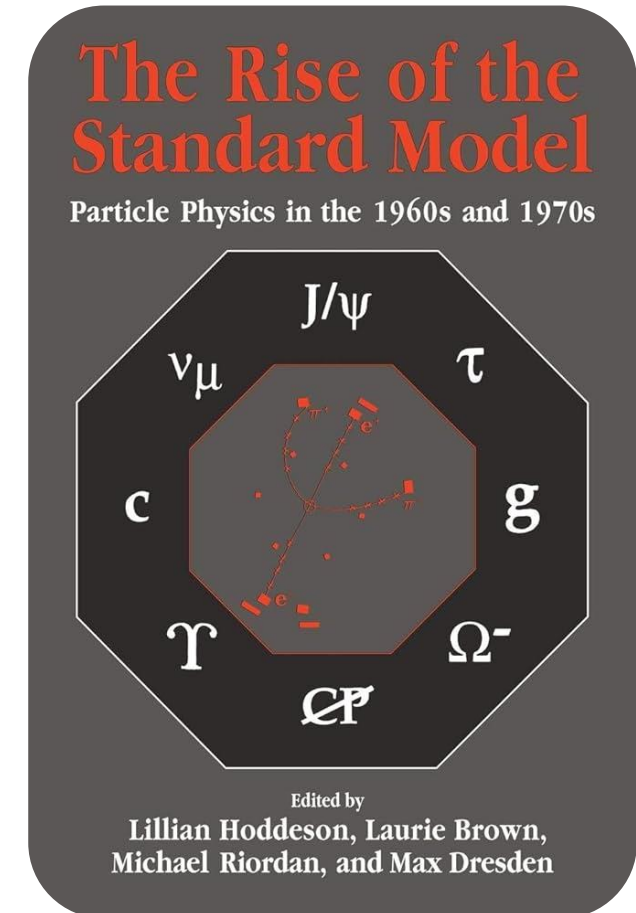
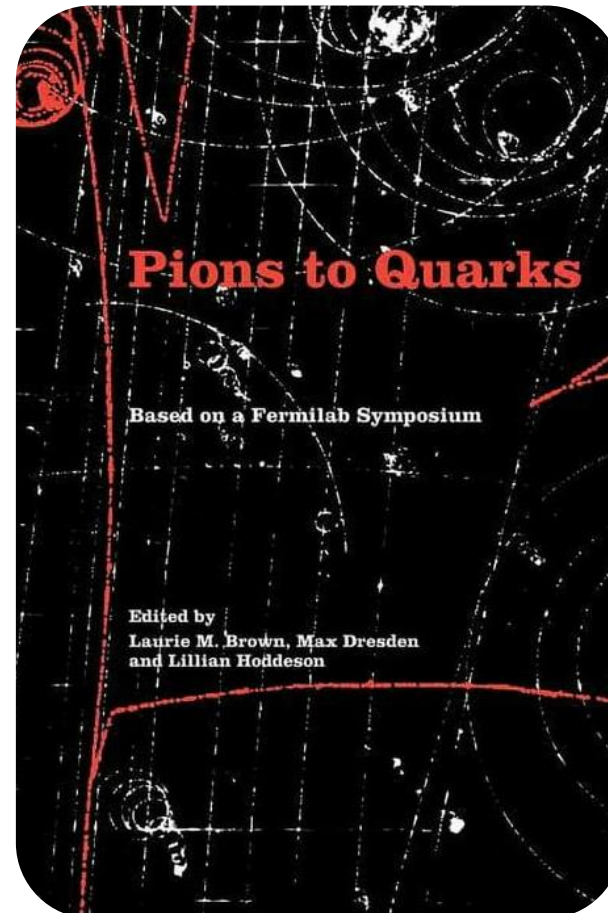
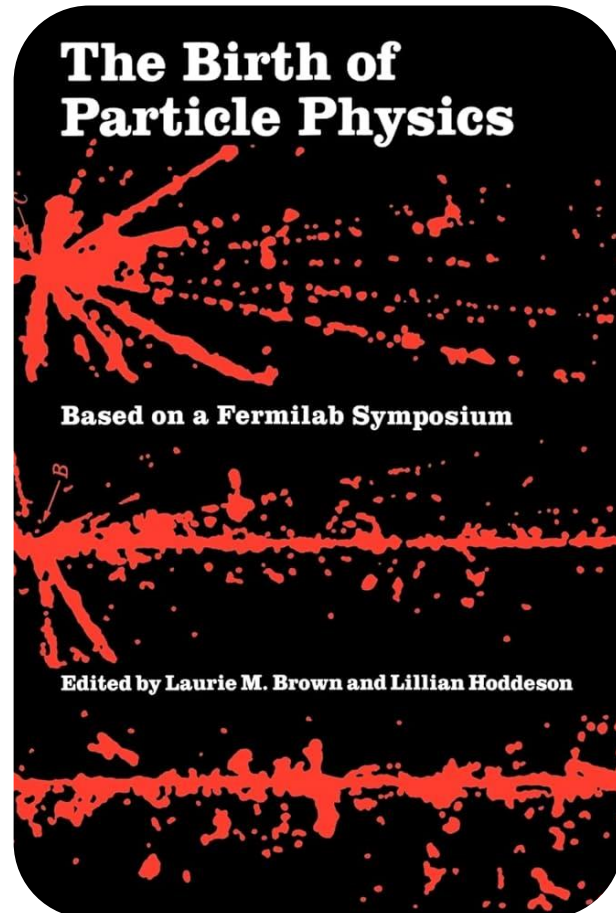
Teoria e Experimento  
em diálogo  
construindo  
imagens da realidade

**OBSTÁCULOS  
EPISTEMOLÓGICOS**

Gaston Bachelard

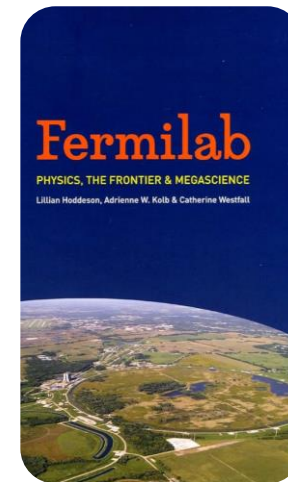
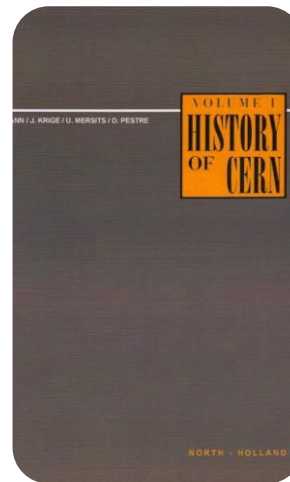
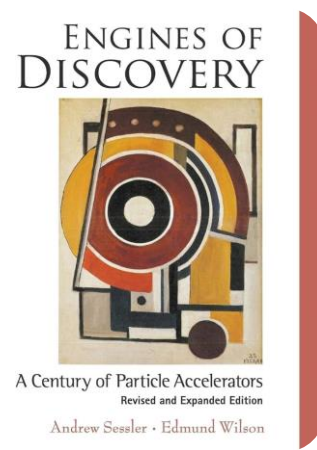
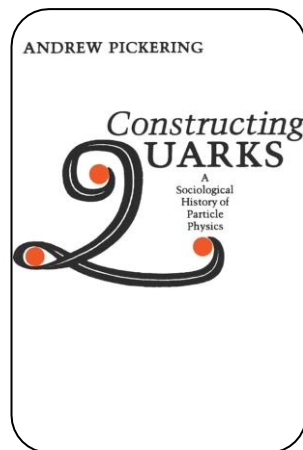
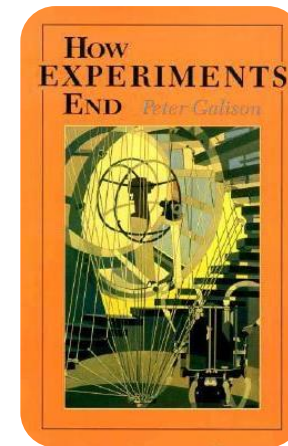
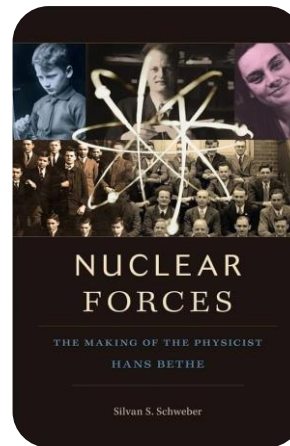
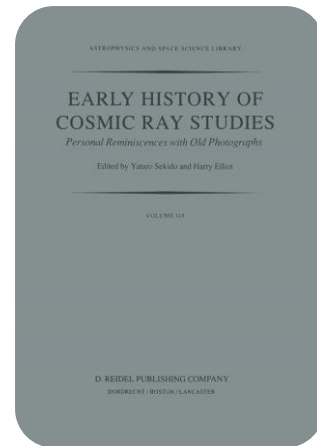
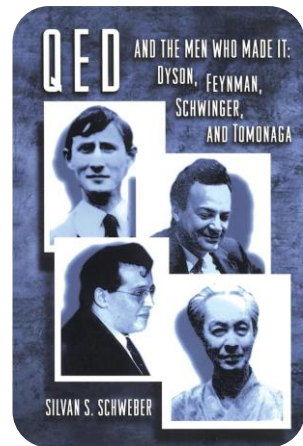
# REFERÊNCIAS HISTÓRICAS

Estudo panorâmico e seleção de episódios históricos



# REFERÊNCIAS HISTÓRICAS

Estudo panorâmico e seleção de episódios históricos



• • •

# REFERÊNCIAS HISTÓRICAS

Acervo PDG: Artigos Publicados em Periódicos da Época

## [Chronology of Milestone Events in Particle Physics](#)

[About](#) [Contents](#) [Introduction](#) [Synopsis](#) [Search](#) [Subject Index](#) [Summaries](#) [Texts](#)

### Synopsis

1930

- [DIRAC 1930](#) Introduction of the negative energy electron sea with holes treated as positive electrons. Attempt to identify these holes with protons.
- [MEITNER 1930](#) Firm establishment that the  $\beta$  spectrum is continuous.
- [PAULI 1930](#) Proposal for the existence of the neutral fermion emitted in nuclear beta decay - the neutrino.
- [TAMM 1930](#) Difficulties with identifying positive holes with protons in the Dirac theory of electrons and protons. Too small a lifetime of the ordinary atom.
- [OPPENHEIMER 1930](#) First evidence of ultraviolet divergences occurring in the theory of quantum electrodynamics - the self-energy of the electron.
- [DIRAC 1931](#) Prediction of the anti-electron ( $e^+$ ), anti-proton (*anti-p*), and an indication of the possible existence of magnetic monopoles.
- [LAWRENCE 1931](#) Lawrence proposal for cyclotrons.
- [LAWRENCE 1931B](#) Tests of the first cyclotron.
- [VAN DE GRAAFF 1931](#) Invention of the Van de Graaff electrostatic accelerator.
- [RAMAN 1932](#) Experimental proof that the photon has spin = 1.
- [ANDERSON 1932](#) First experimental evidence for the positron.
- [CHADWICK 1932](#) First evidence for the neutron.
- [CHADWICK 1932B](#) Discovery of the neutron.
- [COCKCROFT 1932](#) First evidence of nuclear reactions with accelerated protons. Cockcroft-Walton accelerator.
- [IWANENKO 1932](#) Suggestion that the neutron is a constituent of the atomic nucleus.
- [UREY 1932](#) Evidence for the deuteron.
- [FOCK 1932](#) Description of the space of states for quantum systems with an arbitrary (infinite) number of particles - Fock space.
- [HEISENBERG 1932](#) Suggestion that atomic nuclei are composed of protons and neutrons. Theory of nuclear exchange forces. Invention of nucleon isotopic spin.

### ANDERSON 1933

*Anderson, C.D.;*  
**The Positive Electron**  
Phys. Rev. **43** (1933) 491;

*Full text*  
English: [PDF TeX](#)

*Reprinted in*  
R. N. Cahn and G. Goldhaber, *The Experimental Foundations of Particle Physics*, Cambridge Univ. Press (1991) 10.  
*The Physical Review - the First Hundred Years*, AIP Press (1995) 610.

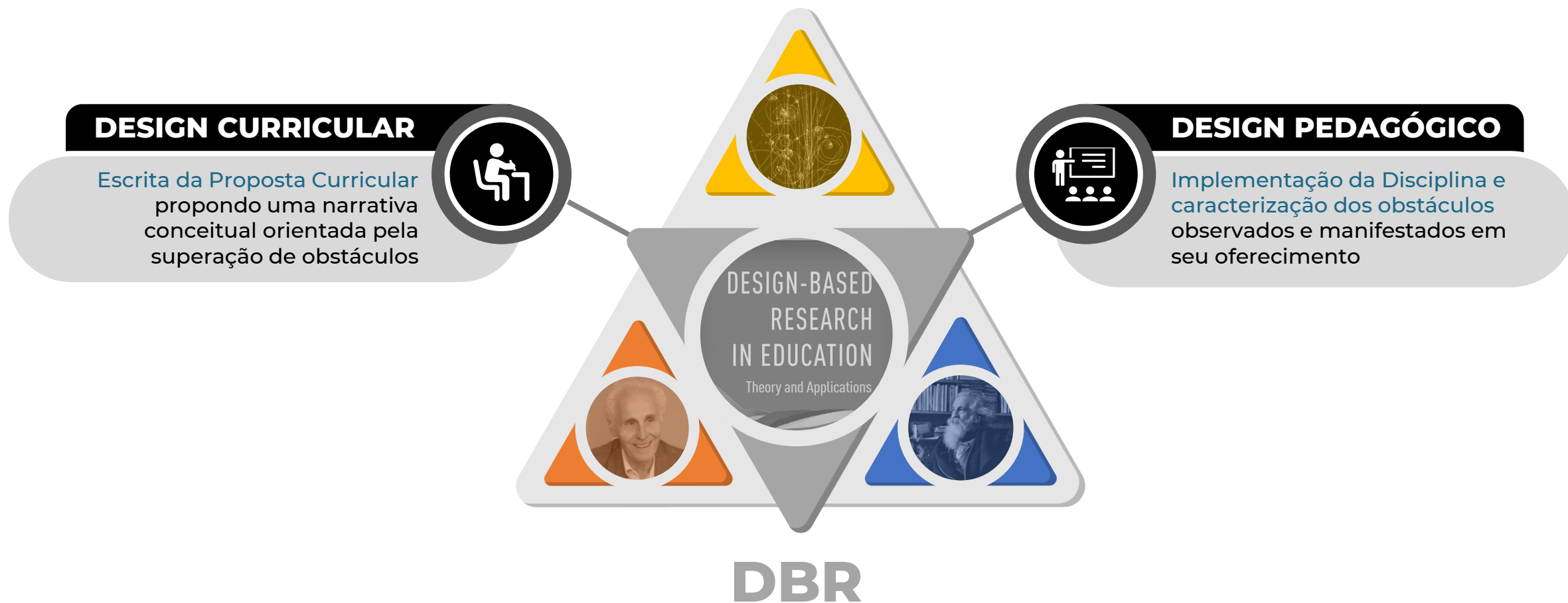
*Abstracts*  
Out of the group of 1300 photographs of cosmic-ray tracks in a vertical Wilson chamber 15 tracks were of positive particles which could not have a mass as great as that of the proton. From an examination of the energy-loss and ionization produced it is concluded that the charge is less than twice, and is probably exactly equal to, that of the proton. If these particles carry unit positive charge the curvatures and ionizations produced require the mass to be less than twenty times the electron mass. These particles will be called positrons. Because they occur in groups associated with other tracks it is concluded that they must be secondary particles ejected from atomic nuclei. *Editor.*

*Accelerator COSM Detectors* CLOUD

*Related references*  
**More (earlier) information appears in**  
*C. D. Anderson*, Science **76** (1932) 238;  
**See also**  
*C. D. Anderson*, Phys. Rev. **43** (1933) 381A;

# ESTRUTURA DA PESQUISA

Etapas de elaboração, implementação e análise



# NARRATIVA CONCEITUAL

Como ir além do famoso quadro do Modelo Padrão?

## O FAMOSO

QUADRO DO MODELO PADRÃO

- 1 ESTRUTURA**  
Interações Fortes
- 2 DECAIMENTOS**  
Interações Fracas
- 3 INTERAÇÕES**  
Fortes, Fracas e Eletromagnéticas
- 4 ORIGEM DAS MASSAS**  
Mecanismo de Higgs

	three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>g</b> gluon	<b>H</b> higgs
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b><math>\gamma</math></b> photon	
	<b>e</b> electron	<b><math>\mu</math></b> muon	<b><math>\tau</math></b> tau	<b>Z</b> Z boson	
	<b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino	<b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino	<b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino	<b>W</b> W boson	

**QUARKS** (rows 1-3)  
**LEPTONS** (rows 4-5)  
**GAUGE BOSONS VECTOR BOSONS** (columns 4-5)  
**SCALAR BOSONS** (column 6)

IDEIAS DE MODELO PADRÃO

**MODELO ESTRUTURAL ATÔMICO**  
1890 - 1935

p	n	e <sup>-</sup>
v	e <sup>+</sup>	
γ		

**MODELO QUÂNTICO DE INTERAÇÕES**  
1935 - 1947

p	n	e <sup>+</sup>	e <sup>-</sup>
π <sup>+</sup>	π <sup>-</sup>	μ <sup>+</sup>	μ <sup>-</sup>
γ	v	v̄	

**MODELO SIMETRIAS E CONSERVAÇÕES**  
1947 - 1964

e <sup>±</sup>	v	p	n	γ
μ <sup>±</sup>	v̄	Σ <sup>±</sup>	Λ <sup>0</sup>	
K <sup>±</sup>	K <sup>0</sup>	Ξ <sup>-</sup>	Ξ <sup>0</sup>	
π <sup>±</sup>	π <sup>0</sup>	Ω <sup>-</sup>		

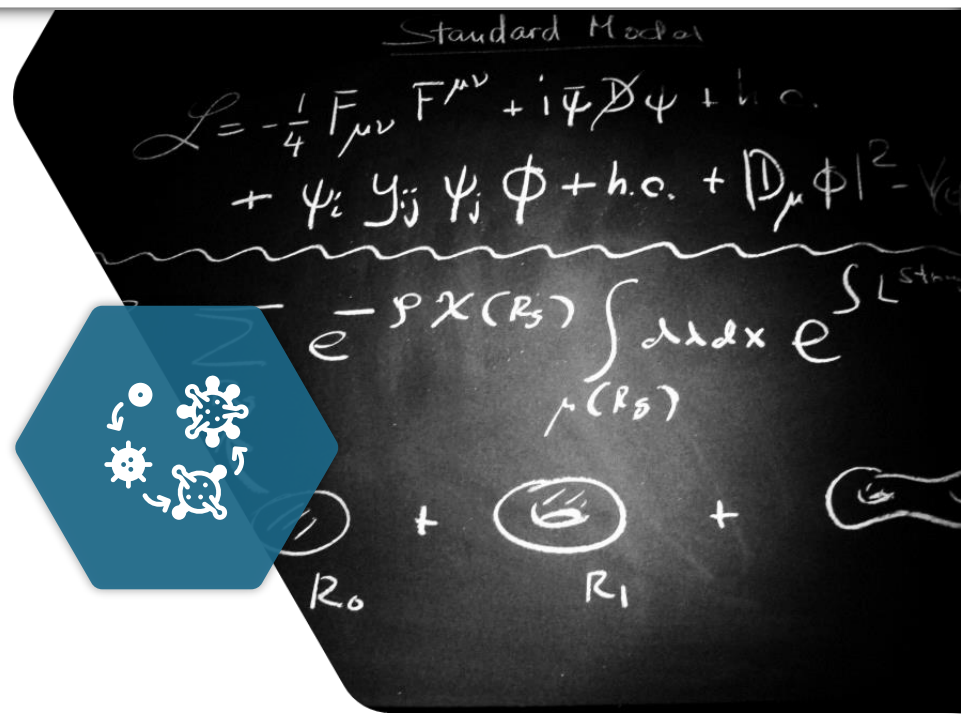
**PRELÚDIO AO MODELO PADRÃO**  
1964

u	e	γ	H
d	μ	g	
s	v	W <sup>±</sup>	

**MODELO PADRÃO DA FÍSICA DE PARTÍCULAS**  
1964 - Atual

three generations of matter (fermions)				interactions (force carriers) (bosons)			
u	c	t	g	H			
d	s	b	γ				
e	μ	τ	Z boson				
ν <sub>e</sub>	ν <sub>μ</sub>	ν <sub>τ</sub>	W boson				

Produzida pelo autor



# A DISCIPLINA

## NARRATIVA CONCEITUAL

Como seria o “Modelo Padrão” de diferentes momentos da Física ao longo do Séc. XX?

AO LONGO DA FÍSICA DO SÉCULO XX



# RESULTADOS OBTIDOS

As frentes de análise da implementação



1

## COMO CHEGAM OS LICENCIANDOS?



Questionário de **Concepções Iniciais** mapeando visões sobre estrutura da matéria



2

## CARACTERIZAÇÃO DE OBSTÁCULOS



Caracterização da **origem das principais dificuldades dos licenciandos** ao longo da implementação



3

## COMO SAEM OS LICENCIANDOS?



Questionário de **Avaliação da Disciplina** mapeando aspectos gerais da proposta e da implementação

# RESULTADOS OBTIDOS

As frentes de análise da implementação



1

## COMO CHEGAM OS LICENCIANDOS?



Questionário de Concepções Iniciais mapeando visões sobre estrutura da matéria



2

## CARACTERIZAÇÃO DE OBSTÁCULOS



Caracterização da **origem das principais dificuldades dos licenciandos** ao longo da implementação



3







## COMO SAEM OS LICENCIANDOS?



Questionário de Avaliação da Disciplina mapeando aspectos gerais da proposta e da implementação

# RESULTADOS OBTIDOS

Dados coletados para a caracterização dos obstáculos

 <b>1</b>	<b>26 HORAS</b> <b>70 PÁGINAS</b>		Gravação e Transcrição Parcial das Aulas da Disciplina
 <b>2</b>	<b>300 PÁGINAS (R)</b> <b>130 PÁGINAS (EC)</b>		Resenhas (R) produzidas Estudos de Caso (EC) resolvidos
 <b>3</b>	<b>16 HORAS</b> <b>130 PÁGINAS</b>		Gravação e Transcrição Total das Aulas do Minicurso

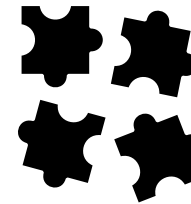
# RESULTADOS OBTIDOS

Movimento proposto pela Análise Textual Discursiva



1

## UNIDADES DE ANÁLISE

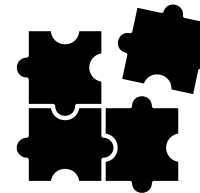


Fragmentação dos dados em “peças”



2

## CATEGORIAS DE ANÁLISE



Junção de peças de “encaixe” similares



3


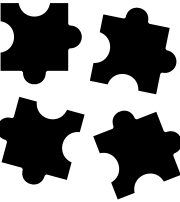

## META-TEXTO C/ RESULTADOS


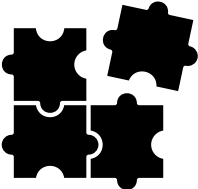






Interpretação da “imagem” formada

# RESULTADOS OBTIDOS

Movimento proposto pela Análise Textual Discursiva

- **1** **ESTRUTURA**  


Contempla trechos que referenciam estruturas
- **2** **INTERAÇÕES E CAMPOS**  


Contempla trechos que referenciam interações e campos
- **3** **SIMETRIAS E LEIS DE CONSERVAÇÃO**  


Contempla trechos que referenciam conservação e simetria

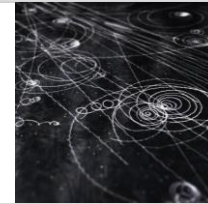
# RESULTADOS OBTIDOS

Categorias de Análise definidas: obstáculos identificados



1

**QUANDO A MATÉRIA DEIXA DE SER ESTRUTURA**



A concepção de que partículas estão inerentemente conectadas à estruturas



2

**QUANDO O CAMPO DEIXA DE SER LINHA (DE CAMPO)**



Concepção de campos como estruturas estáticas e inerentemente representados por linhas



3

**QUANDO A CONSERVAÇÃO MOSTRA A FACE DA SIMETRIA**



Concepção de conservação como princípio único e desvinculado de simetria

# RESULTADOS OBTIDOS

Categorias de Análise definidas: obstáculos identificados



1

## QUANDO A MATÉRIA DEIXA DE SER ESTRUTURA



A concepção de que partículas estão inerentemente conectadas à estruturas



Um dos maiores conflitos que me traz a existência de partículas [...] é entender onde se encontram tais partículas novas. Pergunto-me se elas se encontram dentro dos próprios átomos da matéria como a conhecemos.

**A34 (Bloco 1, Resenha 1, 2023)**

# RESULTADOS OBTIDOS

Categorias de Análise definidas: obstáculos identificados



2

## QUANDO O CAMPO DEIXA DE SER LINHA (DE CAMPO)



Concepção de campos como estruturas estáticas e inerentemente representados por linhas



Acho que nunca entendi, de fato, o que é um campo, seja ele elétrico, magnético ou gravitacional.

Talvez eu não consiga ainda compreender a ideia de campo corretamente, mas acho que hoje sei mais sobre o que não é um campo. Não é uma linha que entra no elétron.

**A25 (Bloco 2, Resenha 2, 2023)**



# RESULTADOS OBTIDOS

Categorias de Análise definidas: obstáculos identificados



3

## QUANDO A CONSERVAÇÃO MOSTRA A FACE DA SIMETRIA



Concepção de  
conservação como  
princípio único

“

Será que também não devemos mudar nossas concepções sobre como ensinar física? Não mais como um modelo sobre a dinâmica de um fenômeno que por acaso obedece a um único princípio, mas sim expressar as simetrias que implicam num conjunto de princípios.

**A11 (Bloco 3, Resenha 3, 2023)**



---

**MUITO  
OBRIGADO!**



RENAN.MILNITSKY@USP.BR