

A “gravitação” segundo Einstein: da gnoseologia à ontologia *

Introdução

Guiados pela experiência, podemos partir à procura das razões metacategoriais da Física Relativista Gravitacional. A reflexão filosófica irá da gnoseologia à ontologia. Einstein é apodítico ao referir que a teoria da relatividade generalizada não pode aderir a uma simples conexão espaço-temporal, permitindo-se uma extensão físico-matemática.

A expressão gnoseológica incide sobre o valor, limites e certezas da teoria físico-matemática, enquanto forma específica do conhecimento científico, traduzida pela objectividade e evidência.

Visto que as equações tensoriais do campo gravítico traduzem a essência e a natureza do fenómeno gravítico, resta à filosofia da ciência determinar o “existir” e a causalidade, bem como o sentido predicamental *dos fenómenos*.

Caberá, pois, à Ontologia Regional da Física Teórica expressar-se em termos de, pela causalidade, explicar o grau analógico pelo *esse* do espaço-tempo e as razões da força gravitacional.

1. Fundamentação Gnoseológica

A Relatividade Generalizada apresenta-se como reflexão sobre a natureza do espaço-tempo, podendo asseverar-se que se aufere duma relação

* Celebração dos 90 anos da Teoria da Relatividade Geral (1915).

triádica: matéria, espaço e tempo. A nova relatividade vai mais longe do que a Relatividade Restrita, porque descreve, tanto a matéria quanto o espaço-tempo, interrelacionados.

A Relatividade Geral foi elaborada em geometria riemanniana sobre a matéria, o espaço e o tempo.

Assim, a Relatividade Generalizada não abstrai da matéria como o faz a Relatividade Restrita, que considera a conexão espaço-tempo como geometria autónoma.

Entretanto, a nova teoria sobre a natureza da matéria e do espaço-tempo define adequada visão sobre o Universo desde os fenómenos gravitacionais.

O Universo apresentar-se-ia, como hipercilíndrico, limitado a uma “esfera curva” a três dimensões e o seu eixo refere o tempo linear. As outras duas soluções estatísticas foram as De Sitter e de Minkowsky.¹

Einstein não conhecia a expansão do Universo, porque a descoberta da velocidade de recessão galáctica foi apresentada em 1927. Einstein já tinha sugerido o seu modelo cosmológico.²

A influência da Relatividade Generalizada, através das equações do campo gravítico, é tão intensa que os novos modelos cosmológicos do Big-Bang são escritos em linguagem relativista.

Einstein inferiu as regras segundo as quais os componentes tensoriais se calculam para um sistema de coordenadas. Não obstante, os tensores do campo e da matéria caracterizam as equações de transformação para as suas componentes como lineares e homogéneas. A lei da covariância generalizada engloba o domínio dos sistemas inerciais e não inerciais (aceleração). Pelo princípio da relatividade generalizada, as equações conservam a sua forma para quaisquer sistemas.

Gnoseologicamente, as duas formulações concordam com a experiência, quer a Relatividade Generalizada, quer a “gravitação” de Newton, parecendo mais simples a última, uma vez que a Relatividade Generalizada se centraliza na explicação do espaço-tempo curvo, pelo tensor métrico, descrevendo a curvatura da gravitação em dez potenciais, em vez de um.

A natureza gosta de coisas tão simples quanto possível. A navalha de Ockam favoreceria Newton. Com efeito, pela experiência de Eötvös,

¹ Carrigan, R. A.; Trower, W. H. (edit.) – *Particle Physics in the Cosmos*, W. H. Freeman and Company, New York, 1987, 22-24.

² Barrow, J. A.; Silk, J. – *A mão esquerda da Criação*, tradução do inglês, Gradiva, Lisboa, 1989, 14-20.

segundo o mesmo Newton, o tensor métrico do espaço-tempo pode definir-se parcialmente, sendo introduzidos dois campos adicionais.

Segundo o espaço-tempo curvo, a “lâmina de Ockam” cortaria em favor da Relatividade Generalizada.

Só a observação e a experiência decidirão entre a teoria gravitacional de Newton e a gravitação segundo Einstein.³

O princípio da relatividade generalizada declara que todos os sistemas de referência se consideram como equivalentes para a descrição das leis da física, qualquer que seja o seu estado de movimento.

Logicamente, as acelerações e o espaço absolutos inferir-se-ão da formulação das leis da física.

Desta feita, a igualdade entre a massa pesada (inercial) e a massa gravitacional, confirmada adequadamente pelas experiências de Eötvös, aparece como acidente do ponto de vista da física clássica, sem explicação gnoseológica, porque a origem das duas massas é distinta.

As acelerações absolutas eliminam-se da física, dado que podem ser substituídas por campos gravitacionais apropriados.

Nada existe de absoluto num movimento que possa ser substituído pela acção de um campo gravitacional. A força gravítica será uma força de inércia, isto é, $m_g \equiv m_i$.

Einstein refere-se a esta relação, num campo gravitacional, com a notável propriedade para comunicar a todos os corpos a mesma aceleração, sendo esta independente da natureza do corpo.⁴

A concepção mais expressiva do novo invariante da relatividade generalizada, introduzida pela equivalência, reside no facto de, para o campo gravitacional, a aceleração ser a mesma. As forças gravitacionais que se verificam, quando estamos num laboratório, em queda livre, não são mais do que uma consequência da curvatura do espaço-tempo.

A ausência do anulamento da gravidade foi tão significativa que Einstein o elevou à categoria de postulado, a que denominou de princípio da equivalência. Porém, a equivalência surge da ideia de que a vida num laboratório em queda livre era equivalente à vida, sem gravidade, e daqui se concluir pelo espaço-tempo curvo.

³ Gordon, A. – “A Modification of Einstein’s first deduction of the Inertia Energy relationship” in *European Journal of Physics*, 8, Bristol, 1985, 25-26.

⁴ Einstein, A. – *The Meaning of Relativity*, second edition, Princeton University Press, New Jersey, 1945, 103.

O princípio da equivalência diz-nos que o espaço-tempo é “curvo”, mas não nos diz “quanto”. Apenas dá-nos o aspecto “qualitativo” do fenómeno.

Todavia, este limite será imposto ao referido princípio, dado que a Relatividade Generalizada forma um conjunto de equações, que permitem calcular “quanta” curvatura espacio-temporal é gerada pela matéria.⁵

Einstein percebeu a importância das consequências que resultam da equivalência entre a massa gravítica e a massa inercial, e, ao compreendê-lo, elevou-o à categoria de princípio fundamental, com vista à elaboração da teoria da gravitação.⁶ A lei proferida engloba todos os casos ou fenómenos da experiência.

Os físicos dizem que o princípio da equivalência é válido apenas localmente, uma vez que as trajectórias das esferas de massas m_1 , m_2 , m_3 não são rigorosamente paralelas para o elevador com massas no interior.

Aceleração e campo gravitacional não são equivalentes na ordem ontológica, sendo-o somente no domínio fenomenológico.

O princípio da equivalência fundamenta-se na categoria do *ubi*, dado ser uma correlação extrínseca e fenoménica do domínio gravítico.

Contrastando com a relatividade do movimento uniforme e rectilíneo, o movimento acelerado ou não uniforme goza de estatuto diferente.

Contudo, que a força centrífuga seja sentida como “força gravítica” já é uma orientação, ao ponto de tanto Galileu, quanto Einstein, terem tido plena consciência da grande semelhança entre as forças centrífugas e gravíticas. Porém, o princípio fundamental da relatividade generalizada afirma que as duas forças são equivalentes.

A Relatividade Generalizada pode ser usada como instrumento na compreensão e na dificuldade revelada pelas observações astronómicas.

Também as “pulsares binárias” confirmaram que as ondas gravitacionais existem e que a descrição relativista da queda orbital através do envio da energia, pelas ondas gravitacionais, está de acordo com os observadores.⁷

Agora, estuda-se a tentativa de medição de deflexão da luz pelo Sol com precisão muito superior à órbita encontrada até ao momento.

Ao nível do microsegundo do arco, a Relatividade Generalizada prevê uma pequena correcção, de ordem superior à deflexão, que será medida nessas condições. Uma ideia, para tentar realizar esta medição, estava a ser considerada pelo centro de Astrofísica de Harvard, como designativo de “Precession Optical Interferometry in Space”, usando-se uma técnica com comprimento de onda inferior ao da luz visível.

A teoria da relatividade decretou novo esquematismo métrico quanto às leis da natureza, definindo-se em novo grau de unificação. A nova estrutura covariante, imposta pela Relatividade Generalizada às leis da natureza, expressou-se numa síntese dialéctica do espaço-tempo e da matéria. O grau de certeza da lei geral da gravitação funda-se, objectivamente, no determinismo causal.

A gravitação, segundo Einstein, define-se numa geometria curva. Mas, em sentido ontológico, determina-se como deformação espacio-temporal.

O conflito epistemológico de generalização e limites da Relatividade Generalizada não resulta tanto das divergências, quanto do que existe em comum. As forças da Relatividade Generalizada derivam das propriedades geométricas do espaço-tempo, muito embora em Mecânica Quântica derivem das mudanças dos *quanta*. Aqui encontramos o valor noético e a definição dos limites da relatividade, pelo facto da “supergravidade” se descrever, segundo a Mecânica Quântica pela Física das Partículas.

Todavia, passamos gnoseologicamente do determinismo relativo das leis causais e observáveis do campo para o indeterminismo do *fieri* da causalidade potencial

A teoria da relatividade geral e a teoria electromagnética de Maxwell fundamentam-se em “simetrias locais”. A recente unificação das teorias do campo electromagnético e de forças fracas são *gauge theories*, dado que as quatro forças implicariam uma “simetria local”.

Na supergravidade existe uma contribuição adicional da mudança de gravitinos de spin $-3/2$, porque os gravitinos são fermiões, que mudam aos pares, seguindo o princípio de Pauli. A força gravitacional deriva da mudança de gravitões para “spin -2 ”.

A supergravidade é uma extensão da Relatividade Generalizada, que determina as mesmas predições para os testes da teoria de Einstein, tais como: determinação das órbitas planetárias; passagem da radiação junto do Sol; deslocação para o vermelho das linhas espectrais das estrelas; determinação de sinais de radar através do campo solar, etc.

⁵ Eddington, A. S. – *The Mathematical Theory of Relativity*, At the University Press, Cambridge, 1958, 2-4.

⁶ Fock, V. – *The Theory of Space-Time and Gravitation*, translation from russian, Pergamon Press, New York, 1959, 173-174.

⁷ Curts, F. (editor) – “Pulsars” in: *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, Academic Press, London, 1989, 457-463.

Para a supergravidade, a superssimetria estende-se desde o nível global até ao nível local. Concluímos, pois, que a força e o campo gravíticos derivam de uma simetria quebrada, que relaciona partículas com diferenciação de propriedades.

Com efeito, um elemento antipositivo, indispensável ao novo método de Einstein, conhecido por relacional, seria o “salto intuitivo” a partir da experiência que estabeleceria o postulado, pela primeira vez, porque a teoria não pode deduzir-se racionalmente. Só a intuição pode inventar o axioma, como o compreendeu Einstein, originando um “salto dialéctico”.

A primeira afirmação tem valor filosófico, podendo-se considerar como aplicação do princípio ontológico: *magis et minus dicuntur de diversis, secundum quod appropinquum diversimo ad aliquid quod maxime est*. A isto deve adicionar-se que, nas perfeições que não podem possuir valor infinito, como é a velocidade do movimento local, o valor máximo deve ser finito. Sendo o máximo absoluto no seu domínio, não pode ser nem acrescentado, nem diminuído, nem de algum modo superado, segundo a fórmula da relatividade, verificando-se de acordo com a velocidade da luz.

A negação do tempo universal, enquanto consignador de absolutos, coincide com outro princípio, segundo o qual não existe um tempo único se não for por meio do movimento.

A teoria da gravitação de Einstein é uma teoria geométrica, segundo a qual os efeitos gravitacionais da massa são vistos como propriedade da geometria não-euclidiana, imposta pelo espaço-tempo como expressão fenomenológica.

Assim, a teoria de Einstein introduz dez potenciais, definidos em dez componentes do tensor métrico: g_{ik} .

Mas, Einstein elaborou um tensor simétrico de 2ª ordem com dez componentes a partir das vinte componentes de Riemann.

Todavia, o tensor de Ricci é relativo à curvatura do espaço-tempo, sendo o tensor da matéria-energia T_{ik} .⁸ A teoria da relatividade generalizada é uma formulação geométrica desse espaço-tempo curvo.

2. Sentido ontológico

Einstein sugeriu diversas verificações experimentais para as distorções do espaço-tempo, sendo uma delas referente à deformação produzida pela “gravidade solar”, durante um eclipse total. Encontrando-se o disco solar obstruído pela Lua, é possível detectar ligeira deslocação das estrelas, próximas da órbita do Sol, em relação às posições que ocupam e que constam da cartografia celeste. A luz proveniente destas estrelas passa perto do Sol, sendo desviada pelo campo gravitacional deste.

Tais provas, bem como outras, envolvendo campos gravitacionais mais intensos das estrelas de neutrões, convenceram os físicos de que a “gravitação” deforma realmente o “espaço-tempo”.

A gravidade é uma propriedade ou qualidade primária inerente a todo e qualquer porção de matéria.

Embora a teoria da gravitação de Newton permanecesse válida durante mais de duzentos anos, viria a ser generalizada pela nova física, que irrompeu no século XX.⁹

A teoria de Newton conserva a sua validade, nas aplicações aproximativas, em pequena escala (como seja a navegação aérea espacial) e constitui instrumento adequado à descrição da maior parte dos sistemas astronómicos. Falha, contudo, sempre que os campos gravíticos forem demasiado intensos, como acontece na vizinhança deste, sejam com estrelas de neutrões, sejam com buracos negros.

Segundo Einstein, a gravidade não é uma força, mas surge preferencialmente como manifestação da curvatura ou da distorção do espaço-tempo. A gravidade não obriga os corpos a descreverem trajectórias curvas, sendo os próprios corpos a seguirem o caminho mais fácil num espaço-tempo curvo.

Mas a curvatura espacio-temporal detecta-se para campos gravíticos não muito intensos. Não obstante, a gravitação, segundo a moderna teoria, é efeito da curvatura métrica do espaço-tempo.

A expressão gravítica de Newton é uma lei de causalidade actual. O efeito colocado à distância implica uma total realização das n-forças que originam o fenómeno.

A gravitação, segundo Newton, traduz-se como “causa”, enquanto que para Einstein trata-se de um fenómeno ou efeito físico. Mas esquematicamente surge:

⁸ Hawking, S. W.; Israel, W. – *Three Hundred Years of Gravitation*, At the University Press, Cambridge, 1989, 482-484.

⁹ Pais, A. – *Subtil é o Senhor*, tradução do inglês, Gradiva, Lisboa, 1993, 325-350.

- Gravitação (segundo Newton) → \vec{F} (n-causas);
- Gravitação (segundo Einstein) → efeito da curvatura.

Para Newton, entende-se a gravidade como relação causa-efeito, uma vez que resulta da interacção de n-forças, manifestando-se como causalidade actual e eficiente dos fenómenos astronómicos. Aquilo que determina o influxo no *esse* fenomenológico será a interacção entre massas pelas atracções ou repulsões da Terra (m) e do Sol (M).

Porém, além de ser uma causalidade eficiente, caracteriza-se por ser a causalidade actual pelo facto de existir na ordem fenomenológica.¹⁰

O fenómeno gravítico, além de ser uma expressão do determinismo físico, é uma “qualidade primária”.

Newton preocupou-se em explicar o fenómeno gravítico segundo uma orientação ontológica. Se a gravitação, para Newton, é resultante de uma interacção de n-causas, implicada pelo conceito de força, para Einstein, a gravitação será uma interacção de n-efeitos.

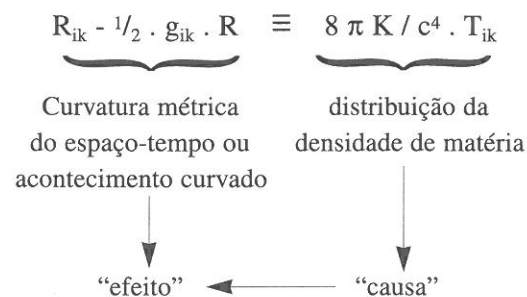
Como realidade dinâmica, a gravitação, segundo Newton, é “actual”, enquanto que, segundo Einstein, a gravitação é um fenómeno potencial, constituindo-se pela interacção de n-efeitos como expressão cinemática.

Porém, o efeito é potencial, surgindo *in fieri*. A gravitação não está em acto, mas antes em potência, porque adquire novas formas de perfeição accidental, tratando-se de uma força fraca. A gravitação determina um grau de perfeição accidental por se tratar de uma propriedade métrica. Logo, a gravitação passou de causa a efeito, porque, segundo Einstein, é efeito cinemático resultando da métrica curvada.

O fundamento da gravitação é a própria curvatura do espaço-tempo, causada pela densidade de distribuição da massa-energia. A experiência mostra que as propriedades e estrutura do espaço-tempo se relacionam com a presença da matéria-energia. A determinação do espaço-tempo origina a “curvatura” do Universo.

Tais fenómenos são manifestação da deformação existente na presença de matéria. Se se submete a lei determinada por Einstein, referimos a essência e a natureza do fenómeno gravítico pela equação do campo:

¹⁰ Einstein, A. – *The Meaning of Relativity*, 80-82.



A lei geral do campo gravítico, como enunciado sintético ou progressivo *a posteriori* (universal e transcendental), exprime, ontologicamente, a causalidade formal.

Com efeito, a gravitação, como fenómeno real, é um efeito ou resultante da curvatura do espaço-tempo. Contudo, no segundo membro, surge a causa do campo gravítico. Formalmente, a “gravitação” traduz-se no primeiro membro da equação.

A gravitação é um efeito de densidade da massa-energia curvada espacio-temporalmente. Na verdade, a gravitação é efeito da estrutura curvada do Universo.

Mas, a lei geral indica uma causalidade potencial *in fieri*, porque o fenómeno da gravitação está a evoluir somente na medida em que a massa-energia adquire novas formas de curvatura (forma de perfeição accidental), tal como é ditado pela essência do invariante absoluto da Relatividade Generalizada:

$$ds^2 = g_{ik} \cdot dx_i \cdot dx_k$$

A gravitação manifesta-se como influxo da interacção de duas massas. Tal interacção é formada por uma força que coloca um efeito à distância, requerendo-se uma velocidade infinita para a propagação dessas forças. Daqui resulta que a gravitação surge como efeito de n-forças:

$$\vec{F} = - G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2} \cdot \vec{r}$$

“causa” → “efeito”

A equação de Einstein determina a curvatura geométrica do espaço-tempo a partir da densidade de matéria. Mas, esta interpretação é análoga

¹¹ Matveev, A. N. – *Mechanics and Theory of Relativity*, Mir Publishers, Moscow, 1989, 301-303.

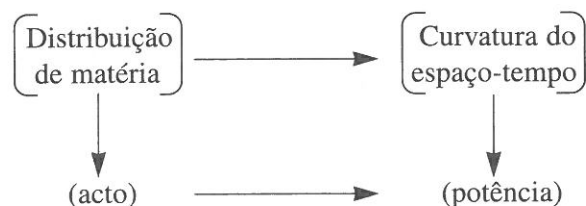
a outra que refere a distribuição da matéria no espaço-tempo, causando a curvatura. Tal interpretação será mais importante, provocando a matéria curvada uma geometria do espaço-tempo.

A equação do campo, no aspecto gnoseológico, não se traduz *ipso facto* com qualquer geometria do espaço-tempo nem com qualquer distribuição da matéria.¹²

O adágio ontológico – *actus et potentia sunt in eodem genere* – enquadra-se na teoria de Einstein, porque se o acto pertence à ordem accidental, então a potência pertence a essa ordem.

Este é o princípio segundo o qual a potência se encontra ordenada ao acto. Se o acto é da ordem substancial, então a potência é ontologicamente.

Aplicando virá:



Predicamentalmente, a gravitação fundamenta-se na correlação primária da *quantitas et qualitas*, como se apresenta ontologicamente pela equação do campo gravítico:

$$\underbrace{R_{ik} - 1/2 \cdot g_{ik} \cdot R}_{\text{Quantitas et qualitas}} \equiv \underbrace{8 \pi K / c^4 \cdot T_{ik}}_{\text{Qualitas}}$$

Os tensores definem a direcção e sentido das geodésicas, traduzindo formalmente a *qualitas* do fenómeno gravítico, como indicadores da curvatura do espaço-tempo, auferindo-se pela determinação dos g_{ik} .

A grandeza R , orientadora do parâmetro escalar, induz a existência dos potenciais clássicos, salientando a quantidade. A gravitação fundamenta-se, também, na relação diádica e secundária: *actio-patio*. O fenómeno gravítico auferi-se como acção e como paixão, devido à curvatura do espaço-tempo:

$$\underbrace{R_{ik} - 1/2 \cdot g_{ik} \cdot R}_{\text{patio}} \equiv \underbrace{\frac{8 \pi K}{c^4} \cdot T_{ik}}_{\text{actio}}$$

O princípio – *actio est in passo* – induz que toda a acção surge no efeito geométrico, que sofre uma modificação da curvatura não linear para o espaço-tempo.

A novidade constitui a própria deformação espacio-temporal expressa na sua densidade.

O tensor T_{ik} , ao implicar esta nova forma de perfeição fenoménica, dá origem à deformação espacio-temporal que é a gravitação segundo Einstein.

Para a Dinâmica Relativista, a "gravitação" existe como qualidade primária dos fenómenos físicos.

Resumidamente, a gravitação torna-se efeito cinemático, como fenómeno independente da causa, porque é resultante da curvatura espacio-temporal.¹³

Conclusão

A Relatividade Restrita faz tanto parte da física, quanto da vida de todos os dias, não se falando da teoria da relatividade, mas antes da "realidade da relatividade", porque se trata de um substrato para as demais teorias.

Tal asserção é mantida pela covariância das leis da física, a qual caracteriza a forma da necessidade e da universalidade para n-sistemas de inércia. Isto significa que a covariância relativista é modelo e indicação para a forma das leis da física.¹⁴

A síntese da Relatividade Restrita com a Mecânica Quântica, e pelo Electromagnetismo, originou uma das teorias físicas mais importantes e de maior significado no século XX, denominada de Electrodinâmica Quântica, que define as interacções entre partículas.

Quando tentamos juntar a Mecânica Quântica com a Relatividade Generalizada, existem tantas dificuldades, de tal forma que nos auxiliamos de simetrias para as superar.

¹² Geroch, R. – *Relatividade Geral de A a Z*, tradução do inglês, Editorial Presença, Lisboa, 1991, 39-45.

¹³ Hawking, S. W. – *Breve História do Tempo*, tradução do inglês, Gradiva, Lisboa, 1988, 117-139.

¹⁴ Salam, A. et. al. – *Em busca da Unificação*, tradução do inglês, Gradiva, Lisboa, 1991, 38-50.

O grande físico do século XX estava correcto na sua pesquisa sobre a relatividade. Ele acreditava que uma “simetria” de base era a origem da unificação das várias forças. Contudo, usara um método errado, pretendendo unir a força da gravidade com a força electromagnética, em vez de usar a força nuclear. Einstein optou conscientemente por não incluir a força nuclear, o que se compreende por ser a mais enigmática das quatro.

Apesar de tudo, Einstein não percebeu que a chave para a teoria do campo unitário se referenciava no seguimento da Relatividade Geral.

Ultrapassando Einstein, surgiu uma teoria que poderá resolver um dos problemas científicos do século ao unir as quatro forças da natureza.¹⁵

No centro deste argumento está a verificação de que as quatro forças, que governam o Universo, são diferentes manifestações de uma “força unificada”

Se a Relatividade Restrita mantém intacta e reafirma a conexão espaço-temporal, então o mesmo se poderá dizer da teoria da Relatividade Generalizada. Esta teoria determina a natureza e evolução espaço-temporal curvada e a sua expressão gravitacional.

Newton, com efeito, descobriu que a física celeste e a telúrica poderiam estar unidas pela lei universal da gravidade, bem como Maxwell descobrira a unidade da electricidade e do magnetismo. Todavia, a contribuição, definida por Einstein, residiu na unificação do espaço-tempo como invariante absoluto.

RAMIRO DÉLIO BORGES DE MENESES

A importância do *exemplum* davídico na teologia política alto-medieval: a conversão de Recaredo e as origens da *ordinatio regis visigótica*

«*Quid est pietas nisi voluntas grata in parentes?*»

M. Tullius Cicero, *Pro Plancio Oratio*, 33, 80.

1. Considerações prévias¹

1. Não é apenas ao modelo constantiniano que S. Gregório Magno recorre para ilustrar, junto dos *reges* ocidentais, a sua concepção do *christianus rector*². O Papa recorre, também, à figura do rei David. E isto principalmente em relação aos reis visigodos. Como se sabe, em 589, um ano antes de S. Gregório Magno ascender à *Cathedra Petri*, o III Concílio de Toledo, condenou energicamente a heresia ariana³. Consolidou-se,

¹ Salvo indicação em contrário, todas as observações entre parênteses rectos e todos os sublinhados são nossos.

² Sobre este ponto, veja-se Pietrina Pellegrini, *Sic enim Constantinus quondam piissimus imperator. L'immagine di Costantino in Gregorio Magno*, *Bullettino dell'Istituto Storico Italiano per il Medio Evo*, n.º 103, 2000-2001, pp. 1-32.

³ Sobre o III Concílio de Toledo, cfr. José Orlandis / Domingo Ramos-Lissón, *Historia de los*

¹⁵ Rindler, W. – *Essential Relativity*, second edition, Springer-Verlag, New York, 1977, 5-40.