

## NOÇÕES DE FORÇA GRAVITACIONAL DE ALUNOS DO ENSINO SUPERIOR NA PERSPECTIVA PIAGETIANA.

**Júnior Saccon Frezza** [junior.frezza@ufrgs.br]

**Luciano Pereira Luduvico** [lucianoluduvico@yahoo.com.br]

*Faculdade de Educação – UFRGS.*

*Campus Centro, 90046-900. Porto Alegre, RS – Brasil.*

*Núcleo de Estudos em Epistemologia Genética e Educação/NEEGE*

**João Alberto da Silva** [joaosilva@furg.br]

*Instituto de Educação - FURG*

*Campus Carreiros, 96201-900 - Rio Grande, RS - Brasil*

*Núcleo de Estudos em Epistemologia Genética e Educação/NEEGE*

*Núcleo de Estudos em Epistemologia e Educação em Ciências*

### Resumo

O fenômeno de atração dos corpos, inferido especialmente na queda livre, é tão casual que às vezes não se dá a devida importância a ele, principalmente por muitos professores que cada vez mais se tornam reprodutores de conhecimento ao invés de construtores e interlocutores. Neste trabalho buscou-se, centrado nas bases da Epistemologia Genética, analisar a compreensão de alunos do Ensino Superior sobre fenômenos que envolvem a força gravitacional. A partir das respostas apresentadas e principalmente da interpretação dos mecanismos mentais envolvidos frente às situações propostas, obteve-se diferentes noções de força gravitacional conforme os processos mentais elaborados pelos sujeitos.

**Palavras chave:** Força Gravitacional; Epistemologia Genética; Método Clínico.

### INTRODUÇÃO

É nítida a dificuldade de sujeitos escolares referente a conteúdos de Física. Professores se queixam da falta de empenho de seus alunos, enquanto estes julgam que essa Física só pode ser aplicada a outro mundo, um mundo ideal de constantes e equações. Juntamente com a Matemática e a Química, a Física é vista por muitos alunos como algo de difícil entendimento e que apesar de pretender explicar a natureza parece não haver vínculo algum com esta. Não obstante a isso, a Física parece exigir um elevado grau de formalização para seu entendimento, fonte de possíveis dificuldades de aprendizagem. Num primeiro momento isso pode parecer contraditório, já que a Física tenta entender fenômenos cotidianos. Contraditório porque entender o real não deveria necessariamente estar ligado a um formalismo, já que se trata de fenômenos empíricos. Porém, mesmo se tratando do estudo destes fenômenos (e suas relações) há necessidade do sujeito construir modelos explicativos para sua interpretação.

Baseando-se teoricamente na Epistemologia Genética de Jean Piaget, procurou-se investigar os processos de pensamento que constituem noções de força gravitacional em sujeitos do Ensino Superior. Este trabalho dá continuidade e complementa a pesquisa feita sobre a queda livre dos corpos (FREZZA & SILVA, 2009; LUDUVICO; FREZZA & SILVA, 2009), onde, como resultado, obteve-se, perante sujeitos das mais variadas idades, noções relacionando a massa dos objetos com o tempo de queda dos mesmos quando soltos da mesma altura (frente um Referencial Inercial) e ao mesmo

instante de tempo. No trabalho sobre a queda livre dos corpos se analisou, por meio de dois corpos de massas diferentes, visualmente idênticos, largados ao mesmo tempo de uma mesma altura, qual dos corpos colidiria primeiro ou se ambos colidiriam com o solo ao mesmo tempo. Unanimemente os sujeitos afirmaram que o de maior massa cairia primeiro. Efetuando-se o experimento proposto, alguns conseguiram abandonar este modelo explicativo conseguindo construir um modelo baseado não mais em seu senso comum, mas em pressupostos baseados em uma nova realidade. Outros, porém, não conseguiram assimilar o fenômeno de que dois corpos, mesmo possuindo diferentes massas, poderiam chegar ao solo ao mesmo tempo. Isso nos evidenciou o caráter ativo do real frente à assimilação pelo sujeito.

Por conseguinte, neste trabalho, dando continuidade ao primeiro, buscou-se analisar como e porquê estes corpos caem quando largados a certa altura dentro da compreensão dos alunos do ensino superior.

## ASPECTOS FÍSICOS RELEVANTES AO TEMA

No que diz respeito ao estudo da força gravitacional, é de primordial importância o conhecimento das leis de Kepler sobre o movimento planetário e as leis que se relacionam à lei da gravitação de Newton. Levando em consideração a evolução desta ciência ao longo da história, é interessante destacar (mesmo que brevemente) os principais modelos astronômicos que visavam explicar o movimento dos corpos celestes conhecidos. O primeiro modelo foi elaborado por Cláudio Ptolomeu (c.90-168 d.C.), aproximadamente em 140 d.C. Seu modelo, conhecido como modelo geocêntrico, propunha a Terra como centro do universo. Segundo seu modelo, os demais planetas orbitariam a Terra em trajetórias constituídas por pequenos círculos sobrepostos aos círculos maiores, enquanto o Sol transladaria a Terra em trajetória circular simples.

O complexo modelo Ptolomaico (hoje visto como não condizente com a realidade) prevaleceu por quatorze séculos até ser polemicamente substituído, em 1543, pelo modelo de Nicolau Copérnico (1473-1543), no qual, o sol e outras estrelas eram fixos e os planetas, inclusive a Terra, orbitavam em torno do sol em órbitas circulares.

No final do século XVI, o astrônomo Tyco Brahe (1546-1601) estudou os movimentos planetários, fazendo observações que foram consideradas as mais exatas até então disponíveis. Com estes dados, Johannes Kepler (1571-1630), depois de muitas tentativas, descobriu que as trajetórias reais dos planetas em torno do sol eram elípticas e não circulares como afirmavam os modelos antecessores. Afirmou também que os planetas não se movem com velocidade constante, dependendo, esta, da distância daqueles em relação ao sol.

Finalmente, Kepler descobriu uma relação matemática precisa entre o período de um planeta e sua distância média do sol. Estes dados foram enunciados como três leis do movimento planetário (ROCHA, 2002, p.80-81):

- “Todos os planetas do sistema solar executam trajetórias elípticas tendo o sol em um dos focos”
- “A linha que liga o sol aos planetas varre áreas iguais em tempos iguais”.
- “O quadrado dos períodos das órbitas dos planetas é proporcional ao cubo de suas distâncias médias ao sol”.

Foram estas leis que, de certa forma, proporcionaram a Newton a base para a elaboração da lei da gravitação. Em 1665, Isaac Newton (1642-1727), então com 23 anos, alavancou o progresso da ciência mostrando que a força que atrai, por exemplo, uma maçã, é a mesma força que mantém a Lua em sua órbita.

Newton concluiu que não somente a Terra atrai uma maçã ou a Lua, mas que qualquer corpo no universo atrai todos os demais, e que uma casca esférica uniforme de matéria atrai uma partícula (estando esta fora da casca) como se toda sua massa estivesse concentrada no seu centro. Assim, quantitativamente, esta força de interação entre as massas pode ser expressa como:

$$F = K \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Pode-se, ainda, enunciar a lei da gravitação universal do seguinte modo: dois corpos se atraem gravitacionalmente com força cuja intensidade é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre seus centros de massa. Nota-se na expressão que representa a força de interação entre duas massas,  $G^1$  é a constante gravitacional cujo valor é  $6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{Kg}^2$ ,  $m_1$  e  $m_2$  são os valores da massa de cada corpo e  $r$  representa a distância entre os centros de massa dos corpos.

## METODOLOGIA CONCEITUAL

Pode-se considerar que a lei da atração universal de Newton e as Leis de Kepler são conhecimentos acabados, senão pelo menos momentaneamente válidos. Porém, se são acabados, o são para quem? A questão que nos motiva a escrever um artigo sobre as noções de força gravitacional é buscar analisar e explicitar que, assim como estes, todos os conhecimentos são construídos pelos alunos. Pensar em conhecimento acabado é, de certa forma, acreditar na transferência de conhecimento pronto para o aluno, algo que não se concretiza no dia a dia escolar. Por outro lado, é inconcebível pensar que um aluno ao ingressar na sala de aula, esperando que o professor ministre uma aula relacionada à Astronomia, possua conhecimento algum frente ao que será abordado. Provavelmente alguma noção, seja esta mais ou menos geral e, conseqüentemente, mais ou menos aceita pela comunidade científica, o aluno terá construída, por mais simples e particular que seja.

Baseando-se na Epistemologia Genética de Jean Piaget, entendendo que o sujeito aprende agindo sobre o conteúdo que busca compreender, visou-se encontrar as possíveis razões para a construção de tais noções que supostamente tinha-se como hipóteses. Mas se a construção é devida a uma interação entre sujeito e objeto de conhecimento, como afirma Piaget, no momento em que o sujeito age sobre o conteúdo que busca dominar, porque não o faz de acordo com a realidade, ou de acordo com o conhecimento aceito pela comunidade científica, ao invés de deformá-lo?

O sujeito age sobre o objeto de conhecimento, mas ao mesmo tempo o objeto impõe certa dificuldade de assimilação, ou seja, o próprio objeto age sobre o sujeito. Daí a necessidade de uma teoria interacionista, que leva em conta os dois pólos, o caráter ativo do sujeito e do objeto, que se funde em uma interação. Piaget (1983, p. 6) afirma que:

---

1 - A constante da gravitação universal  $G$  teve seu valor comprovado experimentalmente por Henry Cavendish por meio de um instrumento denominado balança de torção.

[...] o conhecimento não procede, em suas origens, nem de um sujeito consciente de si mesmo nem dos objetos já constituídos (do ponto de vista do sujeito) que a ele se imporiam. O conhecimento resultaria de interações que se produzem a meio caminho entre os dois, dependendo, portanto dos dois ao mesmo tempo, mas em decorrência de uma indiferenciação completa e não de intercâmbio entre as formas distintas.

Isso nos remete então a ideia de uma construção de noções, que, por sua vez, implica uma construção de esquemas e/ou uma nova relação dos esquemas já construídos. Frente a isso, entende-se que o sujeito, ao se deparar com o objeto de conhecimento, busca assimilá-lo a seus esquemas. Estes últimos sendo resultantes da generalização de uma ação, conceito principal na visão interacionista do desenvolvimento.

Neste artigo optou-se por analisar os dados coletados utilizando-se do processo de Tomada de Consciência elaborada por Piaget. Talvez neste ponto, dentre outros distorcidos por parte dos estudiosos dos processos de desenvolvimento e aprendizagem, poder-se-ia pensar em um inatismo na teoria de piagetiana. É interessante colocar isto à discussão para melhor compreender as ideias de Piaget.

Piaget diferencia, na obra intitulada *A tomada de consciência* (1977), o **processo** de Tomada de Consciência do *insight*, este muito difundido pelo senso comum. Em paralelo com a construção do conhecimento, que é um processo, a passagem do inconsciente ao consciente não se dá de forma abrupta e simples. Esta passagem não pode ser entendida como mera iluminação, mas, como afirma Piaget (1977, p. 11), “[...] sob o ponto de vista psicológico, constitui um processo bem mais complexo do que uma simples percepção interior e ainda precisam ser analisadas as leis da conceituação que ele supõe em todos os casos”. Nesta citação, Piaget diferencia o *insight* do processo que ele chama de Tomada de Consciência pois, esta, “[...] trata-se, na realidade, de uma verdadeira construção, que consiste em elaborar, não, a “consciência considerada como um todo, mas seus diferentes níveis enquanto sistemas mais ou menos integrados” (PIAGET, 1977, p. 9).

Poder-se-ia pensar que para Piaget todo o conhecimento é inato e basta este processo de Tomada de Consciência para ser reconhecido pelo sujeito? Em outras palavras, estaria o conhecimento já constituído no inconsciente do sujeito? Uma afirmação de qualquer uma destas perguntas menosprezaria todo o trabalho de mais de 70 livros publicados por Piaget e seus colaboradores. Não apenas menosprezaria, como descaracterizaria a própria Epistemologia Genética. Epistemologia Genética significa o estudo do conhecimento a partir da sua origem. Por isso Piaget se interessou em pesquisar crianças, pois assim compreenderia de onde “surge” o pensamento do adulto. Para desenvolver uma resposta para justificar o porquê das perguntas levantadas serem incabíveis, tem-se que compreender os conceitos de **forma** e **conteúdo** na teoria piagetiana.

Sobre o conceito de **forma**, existiria alguma semelhança com o estágio operatório formal? Sim e não. Afirmativo pois neste estágio do desenvolvimento tem-se formas de pensamento bem definidas, porém não necessariamente esgotadas ou finalizadas, já que os estados finais de equilíbrio são relativos, mesmo podendo, a um dado nível, separar-se de seu **conteúdo**. Negativo pois não é somente neste estágio (operatório formal) que existem estas formas, pois se a estrutura cognitiva do sujeito tende ao pensamento reversível, correlativamente a um estado de maior equilíbrio cognitivo, as formas de pensamento têm também uma gênese. Esta gênese, como de todo o desenvolvimento, está na AÇÃO do sujeito. Piaget (1971, p. 344) afirma que “[...] existe complementaridade total entre o conteúdo e a forma do pensamento, com o

conteúdo consistindo nos dados do mundo tal como ele é percebido e a forma consistindo o único dispositivo que permite passar do estado T deste mundo para o estado T-1, ou seja, tornar a realidade reversível pelo pensamento”.

Distiguídos os conceitos de conteúdo e forma, pode-se retornar ao processo de Tomada de Consciência e buscar distanciar a teoria piagetiana de más interpretações. O mecanismo da Tomada de Consciência possibilita compreender como as formas de pensamento que, construídas inconscientemente, podem vir à luz da consciência e possibilitar a **compreensão** de algo que se fazia com **êxito**. Ou seja, em aspectos cognitivos, não são os conteúdos que se tornam conscientes pelo processo da Tomada de Consciência, mas sim, as formas de pensamento que podem ou não estarem relacionadas aos conteúdos que as deram origem. Então, pensar que todo o conhecimento está no inconsciente e que basta o sujeito torná-los consciente por meio do processo de Tomada de Consciência é reduzir este a um maturacionismo, algo que não acreditamos e que se diferencia dos ideais piagetianos.

## MÉTODO DE COLETA DE DADOS

Buscou-se utilizar o Método Clínico piagetiano por duas razões: a primeira porque o presente trabalho se fundamenta teoricamente na Epistemologia Genética de Jean Piaget; e a segunda razão porque consideramos um método que possibilita perseguir o pensamento do sujeito. Mais do que coletar as respostas finais dos sujeitos frente aos problemas propostos, está-se interessado nos processos de que derivam tais respostas. Assim sendo, qualquer protocolo de perguntas deve ser extremamente flexível para dar conta das inúmeras variáveis que surgem ao longo da entrevista. Isto porque o Método Clínico constitui-se de um interrogatório “[...] adaptado a cada sujeito. A partir de algumas questões básicas, procura-se desenvolver um diálogo dirigido por hipóteses formuladas pelo examinador no decorrer da entrevista. Cada resposta dada... [pelo sujeito]...leva à formulação de uma hipótese que engendra uma nova questão do examinador. É este encadeamento e sucessão de pergunta, resposta, nova hipótese, nova pergunta que dá coerência e unidade ao interrogatório” (LEITE, 1995, p. 115). Isto, por sua vez, exige uma organização muito rápida das hipóteses e do pensamento do pesquisador que tem como objetivo compreender o pensamento do sujeito.

Piaget (1926, p. 7) afirma que, no método de exploração crítica, o essencial é não induzir o pensamento, não sugerir a resposta, “[...] mas em fazer falar livremente e em descobrir tendências espontâneas, em vez de canalizá-las e as conter. Consiste em situar qualquer sintoma dentro de um contexto mental, em vez de fazer abstração do contexto”. Não obstante, os processos de pensamento não são visíveis exclusivamente pela observação pura do comportamento. O sujeito pode estar em alta atividade mental sem produzir qualquer ação observável. Por isso a importância do Método Clínico na coleta de dados, pois possibilita analisar o raciocínio empregado pelo sujeito e não somente a observação pura dos comportamentos e respostas.

Para este trabalho, criou-se um equipamento constituído de duas bolinhas (esferas de vidro e isopor), uma garrafa de vidro transparente e um aparelho capaz de retirar os gases contidos na garrafa. Abaixo segue um esquema deste equipamento:

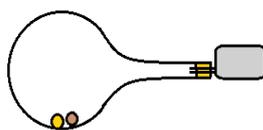


Figura 1

Além disso, elaborou-se também um protocolo de perguntas básicas que norteou as entrevistas. Abaixo seguem algumas das perguntas realizadas:

### 1. Sobre a gravidade na Terra - utilização de um a bolinha de vidro

- 1.1. Se eu soltar este corpo desta altura, o que acontece? Por quê?
- 1.2. De onde vem essa força (ou gravidade, dependendo da resposta anterior)?

### 2. Sobre a gravidade na Lua

- 2.1. Há alguma diferença entre eu soltar este corpo na Lua ou na Terra? Por quê? Explique.

### 3. Experimento - Utilização do equipamento (Figura 1)

- 3.1. Se eu colocar este corpo dentro desta garrafa e, por meio deste aparelho, retirar todo o ar de dentro da mesma, o que acontecerá? Por quê?
- 3.2. (Após o experimento) O que você constatou? Como você explica o ocorrido?

Esta investigação teve como sujeitos quatorze alunos regularmente matriculados na disciplina Física I-C, oferecida pelo Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS para alunos das Engenharias, Química e Ciência da Computação. A escolha por alunos do Ensino Superior se julgou interessante para analisar as noções de força gravitacional que eles trazem consigo e que, agora no Ensino Superior, mais do que nunca se faz necessária para a construção do conhecimento no que se refere aos conteúdos abordados na disciplina.

## **ANÁLISE DOS DADOS**

A questão principal consiste em analisar as possíveis relações da força gravitacional com a massa dos objetos (Terra, Lua e/ou bolinha (de isopor e de vidro)) e a pressão atmosférica. Com os dados coletados elaborou-se três noções de força gravitacional, constituindo, cada uma, níveis de compreensão sobre os problemas propostos. A seguir expõe-se trechos das entrevistas realizadas que, por análise das inferências dos processos mentais, fundam-se em noções de força gravitacional.

Noção I: A força gravitacional está relacionada com a existência de ar.

Ali: Se eu pegar essa bolinha e soltar de certa altura, o que acontece? *Ela vai cair.* Porque ela cai? *Por causa do campo gravitacional que existe na Terra.* E porque existe esse campo gravitacional? *Porque existe uma força, chamada força peso, que a tendência de toda massa é ser puxada para baixo, pelo fato desta gravidade.* Existe essa força porque tem um campo gravitacional, ou tem um campo gravitacional porque existe essa força? *Existe esta força porque tem um campo gravitacional.* E de onde surge este campo gravitacional? *Ele se encontra no centro da Terra. Porque ela atrai todas as massas para baixo. Então qualquer coisa que estiver pendurada em qualquer lugar, sempre vai ser atraída para o centro da Terra. Vamos supor que seja um ímã que puxe tudo para baixo.* Agora se eu pegar esse mesmo objeto e soltar na superfície da Lua, o que aconteceria? *Esse objeto iria flutuar pelo fato da gravidade da Lua ser muito menor que a gravidade da Terra.* Porque a gravidade da Lua é menor que a da Terra? *Pelo fato de não ter... humm... é pela falta de oxigênio.* Mas tu falaste que a gravidade vinha do centro da Terra. *Sim...ãh... posso mudar de opinião? Então se a*

*gravidade vem do centro da Terra então na Lua a gravidade será menor, porque este corpo estará muito mais distante da Terra. E se a massa da Terra fosse menor, a gravidade continuaria a mesma ou mudaria? Tem nada a ver. Teve um outro aluno meu que ele afirmou o fato de existir um campo gravitacional por causa da existência de ar. Segundo ele o ar faria uma pressão no corpo das pessoas, que empurrariam elas para baixo. Mas essa pressão exercida pelo ar é por causa da gravidade. Não por causa do ar que faz a gravidade. É a gravidade que faz com que o ar permaneça aqui embaixo. (Sobre o experimento). Ela vai flutuar. Porque vai tirar o ar, e a gravidade vai ficar menor. Mas tu falaste que a gravidade tinha nada a ver com o ar. Hum...eu não sei... (Faz-se o experimento). Como você explica isso? Hum...não sei. Eu achava que iria flutuar. Hum...mas se a gravidade vem do centro da Terra, então não tem o porque ser afetada pela ausência de ar. Então ela não flutua.*

*Dou: [Inicia com as mesmas reações de Ali] Agora se eu pegar esse mesmo objeto e soltar na superfície da Lua, o que aconteceria? Vai ficar parado. Por que fica parado? Por causa do vácuo. (Sobre o experimento). Iriam ficar paradas, mas se tu virasses a garrafa (giro de 180°) elas ficariam lá em cima [...]*

O sujeito *Ali* julga corretamente a existência de um campo gravitacional, assim como de uma força gravitacional e a dependência deste com aquele. Ao responder “*Esse objeto iria flutuar pelo fato da gravidade da Lua ser muito menor que a gravidade da Terra*”, poder-se-ia inferir que ela relaciona a massa da Lua com a intensidade da ação gravitacional, mas logo afirma que “*Tem nada a ver*”. Julga que o campo gravitacional vem do centro da Terra e limita a esta como o único corpo capaz de “*atrair todas as massas para baixo*”. Assim sendo, confirma a ideia de que, para *Ali*, a força gravitacional independe da massa do corpo considerado.

É interessante como *Ali* muda de opinião ao longo da entrevista. Ao afirmar que na Lua a gravidade seria menor, primeiramente ela a julga pela falta de “*oxigênio*”. Posteriormente julga pelo fato do objeto, estando próximo da superfície da Lua, estar muito distante da Terra (que para *Ali* é a fonte do campo gravitacional). Cabe buscar explicar tal efeito e para isso pode-se levantar duas hipóteses: a primeira, que tal efeito foi resultado de uma sugestão do entrevistador, como se, de alguma forma, a pergunta influenciou *Ali* a dar tal resposta; e a segunda, que buscaremos provar e para isso diferenciar da primeira hipótese, de que *Ali* tomou consciência de um conflito entre duas justificativas não coerentes entre si para o mesmo problema.

A intervenção do entrevistador (que estamos analisando se foi ou não causa da mudança na justificativa de *Ali*) foi “*Mas tu falaste que a gravidade vinha do centro da Terra*”. Esta intervenção é o que se chama de contra-argumentação. Ao se aplicar o Método Clínico, o entrevistador pode se valer do uso de contra-argumentos para verificar a estabilidade e confiança da resposta do entrevistado. Porém, esta contra-argumentação é oriunda justamente da resposta anterior da *Ali*. Então realmente houve uma mudança na sua justificativa ou simplesmente para casos isolados ela se utilizava de explicações diferentes? Notamos que *Ali* explicita esta mudança de justificativa para resolver um problema proposto e compreendido como tal. Então a primeira hipótese levantada para explicar a mudança de justificativa na entrevista pode ser descartada, não sendo ela a causa para tal efeito.

É possível, e neste caso provável, que *Ali*, ao se deparar com os mais variados problemas, buscava explicações baseadas em duas premissas: no vácuo a aceleração da gravidade é nula ( $g = 0$ ); e que a força gravitacional é proveniente, e somente proveniente, do planeta Terra. Ou seja, para diferentes problemas se utilizava de diferentes explicações e isto não a causava contradição já que, para tal efeito, seria necessário um determinado problema que confrontasse estas duas explicações e, como

explicação final, nem uma nem outra satisfariam. Nesta situação, por mérito também do Método Clínico, muitos dos sujeitos, em especial *Ali*, puderam compreender o problema proposto e agir em busca de uma solução, mesmo que esta não tenha sido atingida.

O que há em comum nas entrevistas de *Ali*, *Dou* e nos demais sujeitos que têm esta noção, é que há uma implicação entre a força gravitacional e o ar, como se a ausência deste acarretaria na anulação daquela. Porém, um grande avanço se faz presente em *Ali*, diferentemente de *Dou*, no sentido em que, agindo sobre o problema, se vê frente a uma impossibilidade daquilo que até então tinha como verdadeiro (no caso o fato da força gravitacional vir do centro da Terra). Vê-se isso como uma etapa necessária para a mudança de sua explicação frente ao problema proposto.

**Noção II:** Início da diferenciação entre a ação da massa de um corpo celeste e existência de ar como causa da força gravitacional.

*Gre:* Se eu pegar essa bolinha e soltar de certa altura, o que acontece? *Ela vai cair.* Porque ela cai? *Por causa da gravidade.* E de onde vem essa gravidade? *Viria da massa da Terra, do centro da Terra.* Agora se eu pegar esse mesmo objeto e soltar na superfície da Lua, o que aconteceria? *Ela também cairia, mas com velocidade menor.* Por que menor? *Porque a gravidade na Lua é menor do que na Terra* E por que lá é menor? *Porque a massa da Lua é menor.* (Sobre o experimento). *Vai flutuar. Se não tiver nenhum ar ali dentro, elas flutuariam.* (Faz-se o experimento). O que tu observaste? *Não aconteceu nada, continuaram 'presas', não flutuaram.* Mas tu achaste que iria flutuar. *É, eu achei que iria.* E como você explica isso?  *Talvez pela gravidade mas não saberia por outro motivo.*

*Ric:* Se eu pegar essa bolinha e soltar de certa altura, o que acontece? *Vai bater no chão.* Por quê? *Por que vai ter a fora da gravidade puxando para baixo.* E de onde vem essa gravidade? *Vem da atração que o núcleo da Terra faz na bolinha. É a força que a Terra tem.* Agora se eu pegar esse mesmo objeto e soltar na superfície da Lua, o que aconteceria? *Vai cair também, mas mais lento porque a força da gravidade é menor, eu acho.* Porque a massa da Lua é menor que a da Terra. Teria alguma relação com o fato de na Lua não ter ar? *Acho que tem nada a ver, porque o ar faria uma força dissipativa, teoricamente seria que nem no vácuo, ela cairia mais rápido.* (Sobre o experimento). *Ela vai flutuar.* Por quê? *Porque não vai ter coluna de ar sobre ela né...não vai ter pressão atmosférica...eu acho.* (Faz-se o experimento). O que tu observaste? *Não era o que esperava.* Como tu me explicas? *Não tenho nem idéia... porque ainda assim teria uma força da gravidade atuando sobre ela.* Mas tinha me falado sobre pressão, não? *É, mas teoricamente...tem uma coluna de ar que empurra a gente para baixo.* Mas agora não tem coluna de ar, e as bolinhas continuam para baixo. *Pois é, deve ser a gravidade que é mais forte. Porque lá na Lua a gente cai mais lento, porque a gravidade é menor. E não tem ar. Se lá na Lua não tem ar e a gente cai mesmo assim, é porque existe uma força da gravidade.*

Nota-se que tanto *Gre* quanto *Ric* compreendem que a Terra possuiria uma propriedade capaz de atrair outros corpos, cuja causa seria a gravidade e esta “*Viria da massa da Terra, do centro da Terra*” ou “*da atração que o núcleo da Terra faz na bolinha. É a força que a Terra tem*”. Apesar de *Ric* falar sobre uma atração do núcleo da Terra com a bolinha, afirma a Terra como agente desta atração como se, de alguma forma, talvez até misteriosa, a Terra teria esta propriedade. Quando indagados sobre a situação na superfície da Lua, ambos afirmam que a gravidade(g) seria menor, implicando tal justificativa com o fato da massa(M) da Lua ser menor.

$$g \rightarrow M$$

Isto fica claro quando afirmam “*Porque a massa da Lua é menor*” e “*porque a força da gravidade é menor, eu acho. Porque a massa da Lua é menor que a da Terra*”. Porém, mesmo Ric respondendo a contra-argumentação sobre uma possível relação com a ausência de ar e a diminuição da gravidade, afirmando “*Acho que tem nada a ver, porque o ar faria uma força dissipativa, teoricamente seria que nem no vácuo, ela cairia mais rápido.*”, acaba por, frente ao experimento, afirmar que as bolinhas vão “*flutuar*”.

Nota-se, então, que em um plano hipotético (experimento na superfície da Lua) os sujeitos implicam  $g \rightarrow M$ , porém, frente ao experimento proposto acabam implicando a gravidade com a existência de ar (a):

$$g \rightarrow a$$

Para estes sujeitos, analisando-se as duas situações isoladamente, as implicações  $g \rightarrow M$  e  $g \rightarrow a$  são coerentes, isso porque respondem aos problemas propostos. A contradição se faz presente quando, frente ao experimento, nada acontece com as bolinhas que estão dentro da garrafa de vidro. Ou seja, experimentalmente coloca-se um novo problema em que a implicação  $g \rightarrow a$  não explica os fatos da realidade. Há, então, a necessidade de superar tal conflito entre o que se esperava e o que realmente acontece experimentalmente. Com isso, após o experimento, os sujeitos buscam dar uma explicação para o fenômeno inesperado visando mais do que dar uma resposta ao experimentador, mas sim, construir uma resposta que seja coerente e aceitável para ele próprio. Isso fica evidente na fala de Ric quando busca uma explicação: “*Porque lá na Lua a gente cai mais lento, porque a gravidade é menor. E não tem ar. Se lá na Lua não tem ar e a gente cai mesmo assim, é porque existe uma força da gravidade*”. Ressaltando que no início de sua entrevista Ric afirma que a gravidade vem do “*núcleo da Terra*”, poder-se-ia concluir que ele visa a generalizar, mesmo que somente para as duas situações apresentadas, a implicação  $g \rightarrow M$ .

Noção III: Diferenciação completa entre a massa de um corpo celeste e a existência de ar como causa da força gravitacional. Compreensão da atração mútua de corpos físicos.

Vin: Se eu pegar essa bolinha e soltar de certa altura, o que acontece? *Ela vai cair.* Porque ela cai? *Por que tem uma atração entre dois corpos.* E de onde vem essa atração? *Da massa...da gravidade.* Agora se eu pegar esse mesmo objeto e soltar na superfície da Lua, o que aconteceria? *Tenderia a ir para o centro da Lua.* Por quê? *Por que lá também tem uma gravidade.* Vai cair igual aqui na Terra? *Não, por que lá tens uma força diferente.* Por quê? *Por que a Lua tem muito menos massa do que a Terra, então na Lua teria uma força gravitacional menor.* (Sobre o experimento). *Não vai ter resistência do ar, só isso.* Mas teve um colega teu que disse que iria flutuar. *Olha...eu não acredito nisso.* Mas o mesmo colega disse que existiu um campo gravitacional por causa da existência de ar. Segundo ele o ar faria uma pressão no corpo das pessoas, que empurrariam elas para baixo. Na Lua como não tem ar, então lá a bolinha iria flutuar, por não ter gravidade. *Mas a própria pressão atmosférica é uma resultante da força gravitacional, que puxa o ar.*

Mau: Se eu pegar essa bolinha e soltar de certa altura, o que acontece? *Vai cair.* Porque ela cai? *Por causa da gravidade, da força gravitacional.* E de onde vem essa gravidade? *Da atração do centro da Terra com o centro de massa da bolinha. Os*

*centros de massa dos objetos se atraem, no caso. Agora se eu pegar esse mesmo objeto e soltar na superfície da Lua, o que aconteceria? Provavelmente cairia mais devagar. Porque a gravidade da Lua é menor, porque a massa dela é menor. É que a gravidade depende da massa né... (Sobre o experimento). Acho que elas não vão se mexer, vão ficar paradas. Porque vai continuar com a gravidade normal da Terra né... Mas teve um colega teu que disse que essa bolinha flutuaria. Não, no caso elas estão sobre a gravidade da Terra, tu só retiraste o ar.*

Neste nível, diferentemente dos anteriores, tem-se uma evolução frente à noção de força gravitacional. Neste sentido, pode-se perceber que há algumas semelhanças entre as falas dos sujeitos deste nível com as dos anteriores. Porém, detenhamo-nos às características que as diferenciam, possibilitando concluir este nível como o que responde uma maior gama de problemas da Física. Desta forma, não vemos os níveis anteriores, I e II, como refletindo um pensamento errôneo dos sujeitos, até porque todo pensamento é coerente frente a uma totalidade já constituída pelo sujeito, mas sim um pensamento proveniente de uma estrutura cujas implicações limitam a responderem poucos problemas da Física que envolvam tais conteúdos. Buscando compreender o processo pelo qual as respostas são percebidas como uma etapa final, mesmo que relativa, pode-se perceber a evolução das respostas dos sujeitos comparando os diferentes níveis de raciocínio empregados para a resolução dos problemas propostos. Diferente dos sujeitos dos níveis I e II, *Vin* afirma que a bolinha cai em direção à Terra “*Por que tem uma atração entre dois corpos*”. De forma similar, *Mau* explica o fato pela “*atração do centro da Terra com o centro de massa da bolinha. Os centros de massa dos objetos se atraem, no caso*”. Pode-se notar que os sujeitos deste nível buscam uma explicação perante uma atração entre os corpos envolvidos, como se a ideia de força gravitacional somente seria coerente se esta fosse relacionada dentro de um sistema constituído por, no mínimo, dois corpos.

Um dos aspectos interessantes em se analisar as entrevistas dos sujeitos deste nível é o quão estável são as implicações que visam dar significado e coerência às situações propostas. Quando indagado sobre o experimento, *Vin* responde simplesmente que “*Não vai ter resistência do ar, só isso*”. *Mau*, mais contido, explicita: “*Acho que elas não vão se mexer, vão ficar paradas. Porque vai continuar com a gravidade normal da Terra né...*”. Antecipam corretamente o que acontecerá experimentalmente, restando, após efetuar o experimento, apenas comprovar tais antecipações. *Mau* resume com clareza a todas as contra-argumentações feitas pelo entrevistador: “*Não, no caso elas estão sobre a gravidade da Terra, tu só retiraste o ar.*” Nota-se que, mesmo frente a contra-argumentações, os sujeitos deste nível não as vêem como coerentes frente às suas explicações para os problemas propostos. Isso mostra a estabilidade da implicação  $F_g \rightarrow Mm$ , ou seja, a força gravitacional ( $F_g$ ) implicando atração mútua entre dois corpos ( $Mm$ ) de massas  $M$  e  $m$ .

## CONCLUSÕES

Pode-se perceber que, frente aos dados coletados, mesmo que quantitativamente insuficientes para generalizarmos, os sujeitos, independentemente de terem ou não sido expostos ao ensino formal, tem noções que visam explicar e dar coerência aos problemas propostos ou postos pela realidade. Abaixo é apresentado um gráfico com as proporções encontradas na presente coleta de dados, relacionando o número de sujeitos com as noções que deles provêm:

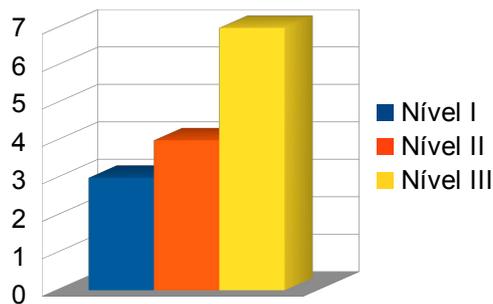


Gráfico 1

Partindo destas noções, é inconcebível um professor, ao preparar uma aula sobre qualquer assunto, não ter a consciência de que não necessariamente, após a exposição dos conteúdos por ele, todos os alunos irão passar a pensar da forma que ele gostaria ou almeja. Entendendo o conhecimento como uma construção individual, porém compartilhada no meio social por transmissão de informações, é também função do professor conhecer ou buscar conhecer as possíveis noções que seus alunos tem frente ao que procura ensinar. O problema é como, frente às noções que se encontrou nos dados coletados e analisados, o professor poderá trabalhar problemas relacionados à força gravitacional à luz da construção do conhecimento.

Pode o professor simplesmente ignorar tais noções e buscar ensinar o que é *certo* (vinculado ao saber aceito pela comunidade científica) reprimindo, ou buscando reprimir ou extinguir, os saberes *errôneos* (compreendido assim pelo professor quando se compara este conhecimento com a da comunidade científica). Ou o professor pode, com posse do conhecimento das noções dos seus alunos, propor situações onde as noções I e II, logo menos elaboradas e menos gerais, começam a ser questionadas quanto a sua validade. Ou seja, o professor proporia situações que possibilitasse o sujeito agir sobre seu conhecimento, modificando sua noção visando construir uma totalidade mais equilibrada, mais estável frente às perturbações, conseqüentemente mais geral, possibilitando uma aproximação gradativa e coerente do conhecimento aceito pela comunidade científica. Gradativa pois o conhecimento é um processo de construção, logo mediato, envolvendo as peculiaridades do que se busca assimilar e os esquemas já construídos pelo sujeito. Desta forma, pensa-se que o professor deve, além de, necessariamente, dominar o conteúdo que busca ensinar, conhecer que o aluno aprende não por transferência dos conhecimentos, mas por uma construção que, sendo um processo ativo do sujeito, exige do professor conhecer ou buscar conhecer as noções que os alunos já construíram. Assim exerce-se o papel de professor, contribuindo para aprendizagem de seus alunos visando a autonomia, aspecto fundamental para se viver e aprender em sociedade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FREZZA, J. & SILVA, J. A. (2009) Um estudo transversal sobre a construção do conhecimento no movimento de queda livre dos corpos na perspectiva da Epistemologia Genética. In: MOREIRA, M. A. et al. (Ed.). III ENCONTRO ESTADUAL DE ENSINO DE FÍSICA, Porto Alegre: 2009. Atas do III Encontro Estadual de Ensino de Física. Porto Alegre: Instituto de Física, p. 37-48.

LEITE, B. (1995) **Piaget e a Escola de Genebra**. São Paulo: Cortez.

LUDUVICO, L. P. ; FREZZA, J. S. & SILVA, J. A. . A Epistemologia Genética na Física: uma análise sobre as operações mentais envolvidas na interação com o fenômeno da queda livre de corpos. In: XVIII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2009, Vitória - ES. Anais do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2009., 2009.

PIAGET, J. & INHELDER, B. (1971) **O desenvolvimento das quantidades físicas na criança: conservação e atomismo**. Rio de Janeiro: Zahar.

PIAGET, J. (1926) **A representação do mundo na criança**. Rio de Janeiro: Record.

\_\_\_\_\_. (1977) **A tomada de Consciência**. São Paulo: Melhoramentos/Edusp.

\_\_\_\_\_. (1983) **A epistemologia genética / Sabedoria e ilusões da filosofia; Problemas de psicologia genética**. 2a ed. São Paulo: Abril Cultural.

ROCHA, J. F. M.(Org) **Origens e evolução das ideias da Física**. Bahia: EDUFBA, 2002.