

*Revista Eletrônica*

# ***AeroDesign***

*Magazine*



**Volume 18 - Número 1 – 2026**

ISSN - 2177-5907

## **Dinâmica de Blocos em Planos Inclinados Com e Sem Atrito.**

**Arthur Duarte dos Santos**

[arthur.duarte@aluno.ifsp.edu.br](mailto:arthur.duarte@aluno.ifsp.edu.br)

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo**

**Ary Cardoso Pinto**

[ary.cardoso@aluno.ifsp.edu.br](mailto:ary.cardoso@aluno.ifsp.edu.br)

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo**

### **Resumo**

Este trabalho apresenta uma análise da dinâmica de blocos em planos inclinados, considerando situações com e sem a presença de atrito. A partir da aplicação das leis de Newton, foram desenvolvidos modelos matemáticos capazes de descrever o comportamento do sistema em diferentes condições. Inicialmente, analisou-se o caso ideal, no qual não há forças resistivas, permitindo observar a dependência da aceleração exclusivamente em relação à inclinação do plano. Em seguida, foi incorporado o efeito do atrito, evidenciando sua influência na redução da aceleração e na alteração da força resultante. Também foi estudada a condição necessária para o início do movimento, considerando o atrito estático. Os resultados obtidos demonstram que o atrito exerce papel fundamental na dinâmica do sistema, tornando a análise mais representativa de situações reais. Dessa forma, o trabalho contribui para a compreensão dos princípios fundamentais da dinâmica e sua aplicação em problemas de engenharia.

### **Palavras-chave**

Plano inclinado; Dinâmica; Atrito; Leis de Newton; Movimento.

### **Abstract**

This work presents an analysis of the dynamics of blocks on inclined planes, considering situations with and without friction. Based on Newton's laws, mathematical models were developed to describe the behavior of the system under different conditions. Initially, the ideal case without resistive forces was analyzed, showing that the acceleration depends only on the inclination of the plane. Then, the effect of friction was included, highlighting its influence in reducing acceleration and modifying the resultant force. The condition required for the beginning of motion was also studied, considering static friction. The results show that friction plays a fundamental role in the system dynamics, making the analysis more

representative of real situations. Thus, this work contributes to the understanding of fundamental concepts of dynamics and their application in engineering problems.

## **Keywords**

Inclined plane; Dynamics; Friction; Newton's laws; Motion.

## **1- Introdução**

O estudo da dinâmica de corpos em movimento constitui uma das bases fundamentais da mecânica clássica, sendo amplamente aplicado na análise de sistemas presentes na engenharia. Nesse contexto, Halliday, Resnick e Walker (2016) destacam que a compreensão das leis do movimento é essencial para descrever e prever o comportamento de corpos sujeitos a diferentes forças.

Entre os problemas mais recorrentes nessa área, destaca-se o movimento de blocos em planos inclinados, que permite analisar, de forma simplificada, a atuação das forças e a aplicação direta das leis de Newton. De acordo com Hibbeler (2011), esse tipo de sistema é amplamente utilizado como modelo didático e prático para o estudo da dinâmica.

Um plano inclinado é caracterizado por uma superfície que forma um ângulo com a horizontal, possibilitando a decomposição das forças atuantes sobre um corpo. Essa abordagem facilita a análise do movimento, pois permite separar as componentes responsáveis pelo deslocamento e pelo equilíbrio do sistema, sendo um procedimento clássico na mecânica (BEER; JOHNSTON, 2012).

A presença do atrito é um fator relevante nesse tipo de análise, pois altera significativamente o comportamento do sistema. Em situações ideais, sem atrito, o movimento depende apenas da componente do peso ao longo do plano; entretanto, em condições reais, o atrito atua como uma força resistente, reduzindo a aceleração e podendo até impedir o movimento. Esse fenômeno é amplamente discutido em materiais didáticos modernos, como os apresentados por OpenStax (2020).

Além disso, conteúdos acadêmicos e cursos de engenharia, como os disponibilizados pelo MIT (2020), reforçam a importância do estudo de sistemas simples, como o plano inclinado, para a compreensão de conceitos mais complexos da dinâmica.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo analisar a dinâmica de blocos em planos inclinados com e sem atrito, por meio da aplicação das leis de Newton e da modelagem das forças envolvidas. Para isso, serão construídos diagramas de corpo livre, desenvolvidas as equações de movimento e realizada uma comparação entre os diferentes cenários, visando compreender a influência do atrito no comportamento do sistema.

## 2 - Fundamentação Teórica

### 2.1 - Leis de Newton Aplicadas à Dinâmica

A análise do movimento de corpos em sistemas mecânicos é fundamentada nas leis de Newton, que estabelecem a relação entre as forças atuantes sobre um corpo e o seu comportamento dinâmico. Dentre essas leis, a Segunda Lei de Newton é a mais relevante para o estudo de sistemas em movimento, pois permite determinar quantitativamente a aceleração de um corpo a partir das forças que atuam sobre ele.

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2016), a Segunda Lei de Newton estabelece que a resultante das forças aplicadas a um corpo é igual ao produto de sua massa pela aceleração adquirida. Matematicamente, essa relação pode ser expressa por:

$$Fr = m \cdot a \quad (1)$$

Essa relação é essencial para a modelagem de sistemas mecânicos, pois permite determinar o comportamento dinâmico de um corpo a partir das forças aplicadas.

### 2.2 - Análise das Forças em um Plano Inclinado

A análise do movimento de um bloco em um plano inclinado requer a identificação e a decomposição das forças que atuam sobre o sistema. Para isso, utiliza-se o diagrama de corpo livre, no qual todas as forças aplicadas ao corpo são representadas de forma isolada, facilitando a aplicação das leis de Newton.

Considere um bloco de massa  $m$  apoiado sobre um plano inclinado que forma um ângulo  $\theta$  em relação à horizontal. As principais forças que atuam sobre o bloco são:

A força peso  $P$  devido a gravidade;

A força normal  $N$  exercida pela superfície do plano;

E a força de atrito  $Fat$  que se opõe ao movimento.

A força peso pode ser descrita como:

$$P = mg \quad (2)$$

Ela atua verticalmente para baixo e pode ser decomposta por duas componentes em relação ao plano. Uma componente paralela ao plano  $P_x$  outra perpendicular ao plano  $P_y$

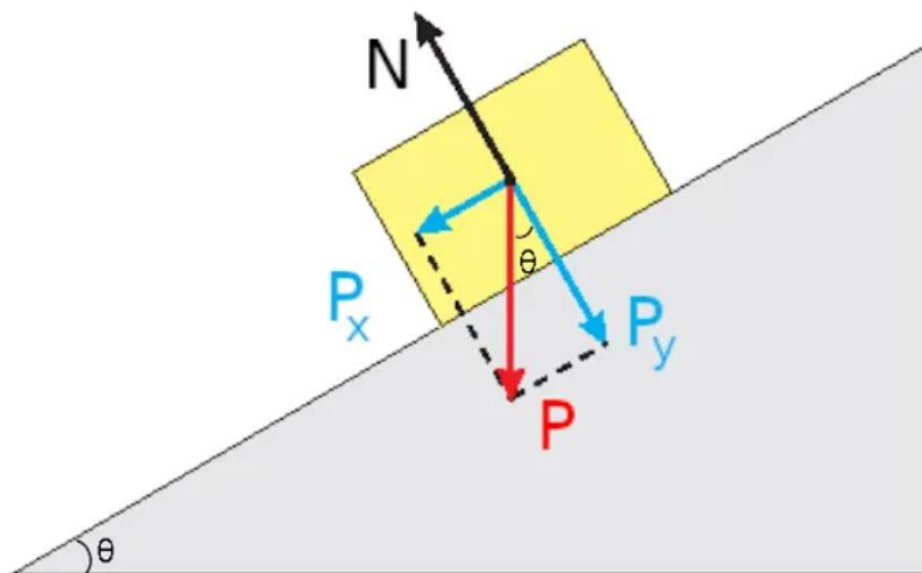


Figura 1 - Diagramas das forças em bloco sobre plano inclinado

As forças  $P_x$  e  $P_y$  podem ser descritas como:

$$P_x = P \cdot \sin \theta \quad (3)$$

$$P_y = P \cdot \cos \theta \quad (4)$$

A componente  $P_x$  atua ao longo do plano inclinado e tende a provocar o movimento do bloco no sentido descendente. Já a componente  $P_y$  atua perpendicularmente ao plano, contribuindo para a compressão do bloco contra a superfície.

A força normal  $N$  a reação do plano sobre o bloco e atua perpendicularmente à superfície. Em um plano inclinado sem outras forças verticais adicionais, a normal é igual à componente perpendicular do peso  $P_y$ , podendo ser expressa por:

$$N = mg \cdot \cos \theta \quad (5)$$

Essa relação é válida enquanto não há aceleração na direção perpendicular ao plano, ou seja, o bloco permanece em contato com a superfície sem se afastar dela.

Quando existe atrito entre as superfícies, surge uma força de atrito que atua paralelamente ao plano inclinado, sempre no sentido oposto ao movimento ou à tendência de movimento do bloco. O módulo dessa força é proporcional à força normal e pode ser descrito por:

$$F_{at} = \mu N \quad (6)$$

Onde  $\mu$  representa o coeficiente de atrito entre as superfícies em contato.

### 2.3 - Movimento sem Atrito

A análise do movimento de um bloco em um plano inclinado sem atrito corresponde a uma situação ideal, na qual não há forças resistivas atuando no sistema. Nesse caso, o movimento do bloco é determinado exclusivamente pela componente da força peso paralela ao plano inclinado.

Considerando o sistema descrito anteriormente, aplica-se a Segunda Lei de Newton na direção paralela ao plano inclinado. Como não há atrito, a única força responsável pelo movimento é a componente do peso  $P_x$ , dada por:

$$P_x = mg \cdot \sin\theta \quad (7)$$

Assim, a equação da dinâmica na direção do movimento pode ser escrita como:

$$\sum F_x = ma = mg \cdot \sin\theta \quad (8)$$

Simplificando a equação, obtém-se a expressão para a aceleração do bloco:

$$F_{at} = \mu \cdot mg \cos\theta \quad (9)$$

Essa equação mostra que a aceleração do bloco depende exclusivamente da aceleração da gravidade e do ângulo de inclinação do plano, sendo independente da massa do corpo. Esse resultado é consistente com os princípios da mecânica clássica, nos quais a massa não influencia a aceleração em sistemas sujeitos apenas à ação da gravidade.

Do ponto de vista físico, observa-se que, para  $\theta = 0^\circ$ , a aceleração é nula, indicando que não há movimento ao longo do plano. À medida que o ângulo de inclinação aumenta, a componente da força peso paralela ao plano também aumenta, resultando em maior aceleração do bloco. Para valores de  $\theta$  próximos de  $90^\circ$ , a aceleração tende ao valor da aceleração da gravidade, caracterizando uma queda praticamente livre.

Portanto, na ausência de atrito, o movimento do bloco em um plano inclinado é uniformemente acelerado e completamente determinado pela inclinação do plano, constituindo um modelo ideal que

serve como referência para a análise de sistemas mais complexos, nos quais forças resistivas estão presentes.

## 2.4 - Movimento com Atrito

A origem da força de atrito está associada às interações microscópicas entre as superfícies em contato. Mesmo superfícies aparentemente lisas apresentam irregularidades que se interpenetram, além de efeitos de adesão e deformações locais, contribuindo para a resistência ao movimento (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

Em situações reais, o movimento de um bloco em um plano inclinado ocorre na presença de atrito entre as superfícies em contato. Essa força atua no sentido oposto ao movimento, reduzindo a aceleração do sistema (BEER; JOHNSTON, 2015).

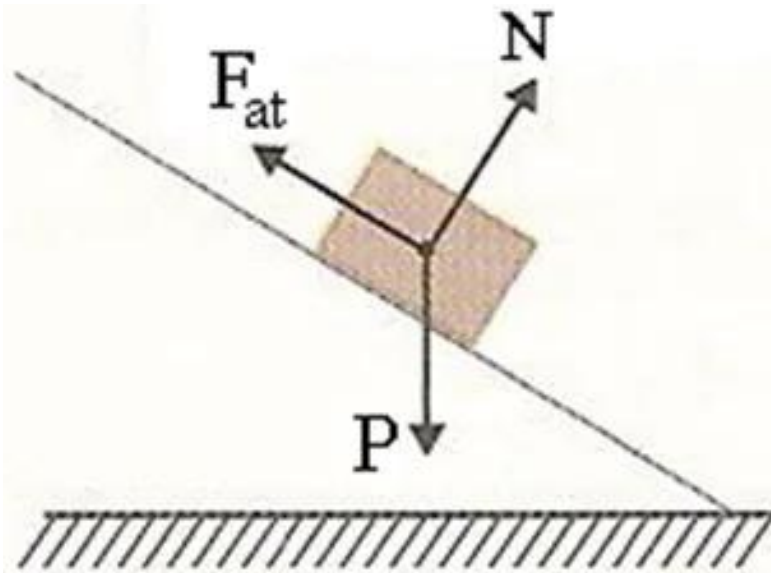


Figura 2 – Diagrama da força de atrito

A força de atrito pode ser classificada em atrito estático, que impede o início do movimento, e atrito cinético, que atua quando o corpo já está em deslocamento. O módulo da força de atrito é dado por:

$$F_{at} = \mu N \quad (10)$$

Substituindo a expressão da força normal:

$$F_{at} = \mu \cdot mg \cos(\theta) \quad (11)$$

Aplicando a Segunda Lei de Newton na direção do movimento:

$$\sum F_x = ma = Px - Fat \quad (12)$$

Então:

$$\sum F_x = mg \sin \theta - \mu \cdot mg \cos \theta \quad (13)$$

Simplificando:

$$a = g(\sin \theta - \mu \cos \theta) \quad (14)$$

Essa expressão mostra que o atrito reduz a aceleração do bloco e pode, dependendo do valor do coeficiente de atrito e do ângulo do plano, impedir completamente o movimento.

## 2.5 - Condições para Início de Movimento

Nem sempre um bloco colocado sobre um plano inclinado entra em movimento imediatamente. Em muitas situações, a força de atrito estático é suficiente para equilibrar a componente da força peso paralela ao plano, mantendo o corpo em repouso.

O atrito estático atua impedindo o início do movimento até um valor máximo, dado por:

$$Fat_{máx} = \mu_s N \quad (15)$$

Onde  $\mu_s$  é o coeficiente do atrito estático, e  $N$  a força normal

Para que o bloco permaneça em equilíbrio, a força de atrito deve ser capaz de equilibrar a componente do peso ao longo do plano inclinado. Assim, a condição de equilíbrio é:

$$mg \sin \theta \leq \mu_s \cdot mg \cos \theta \quad (16)$$

Simplificando:

$$\sin \theta \leq \mu_s \cos \theta \quad (17)$$

Dividindo ambos os lados por  $\cos \theta$ , obtém-se:

$$\tan \theta \leq \mu_s \quad (18)$$

Essa relação define o limite para o início do movimento. Quando:

$\tan \theta < \mu_s$ , o bloco permanece em repouso;

$\tan \theta = \mu_s$ , o sistema está em eminência de movimento;

$\tan \theta > \mu_s$ , o bloco entra em movimento.

Fisicamente, isso significa que, para ângulos pequenos, o atrito é suficiente para impedir o deslizamento. À medida que o ângulo do plano inclinado aumenta, a componente da força peso paralela ao plano cresce até superar o valor máximo da força de atrito estático, iniciando o movimento do bloco.

Portanto, a condição  $\tan \theta = \mu_s$  define o ângulo crítico a partir do qual o bloco começa a se mover, sendo um parâmetro importante na análise de sistemas reais envolvendo contato entre superfícies.

### 3. Metodologia

#### 3.1 Descrição do Sistema Físico

O sistema físico analisado neste trabalho consiste em um bloco de massa  $m$  apoiado sobre um plano inclinado rígido que forma um ângulo  $\theta$  em relação à horizontal. O bloco encontra-se inicialmente em repouso e pode entrar em movimento devido à ação da força gravitacional, dependendo das condições de atrito entre as superfícies em contato.

Esse tipo de sistema é amplamente utilizado na análise da dinâmica de partículas, pois permite estudar a decomposição de forças e a aplicação direta das leis de Newton. Conforme apresentado em Fundamentos de Física, o plano inclinado constitui um modelo clássico para a investigação do movimento acelerado sob a ação da gravidade.

As principais forças que atuam sobre o bloco são a força peso, a força normal e, quando considerado, a força de atrito. A força peso atua verticalmente para baixo e é dada pelo produto da massa do corpo pela aceleração da gravidade. Essa força é responsável pela tendência de movimento do bloco ao longo do plano inclinado.

Quando o bloco é colocado sobre uma superfície inclinada, a força peso pode ser decomposta em duas componentes: uma paralela ao plano inclinado e outra perpendicular à superfície. A componente paralela ao plano é responsável pelo movimento do bloco, enquanto a componente perpendicular contribui para a força normal exercida pela superfície.

A força normal surge devido ao contato entre o bloco e o plano inclinado e atua perpendicularmente à superfície. Essa força impede que o bloco atravesse o plano e ajusta-se de acordo com a componente perpendicular da força peso. De acordo com Mecânica Vetorial para Engenheiros – Dinâmica, a força normal não provoca movimento ao longo do plano, mas influencia diretamente o valor da força de atrito.

Quando existe atrito entre as superfícies, surge uma força tangencial ao plano inclinado que se opõe ao movimento do bloco. Essa força depende das características das superfícies em contato e é proporcional à força normal. A presença do atrito modifica o comportamento dinâmico do sistema, reduzindo a aceleração do bloco e podendo, em determinadas condições, impedir o início do movimento.

A análise do sistema será realizada considerando duas situações distintas: o movimento sem atrito, representando uma condição ideal, e o movimento com atrito, representando uma condição mais próxima da realidade. A comparação entre essas duas situações permite avaliar a influência da força de atrito na dinâmica do bloco.

Portanto, o sistema físico estudado consiste em um bloco sujeito à ação da gravidade sobre uma superfície inclinada, no qual são analisadas as forças atuantes e suas influências no movimento, com o objetivo de compreender o comportamento dinâmico em condições ideais e reais.

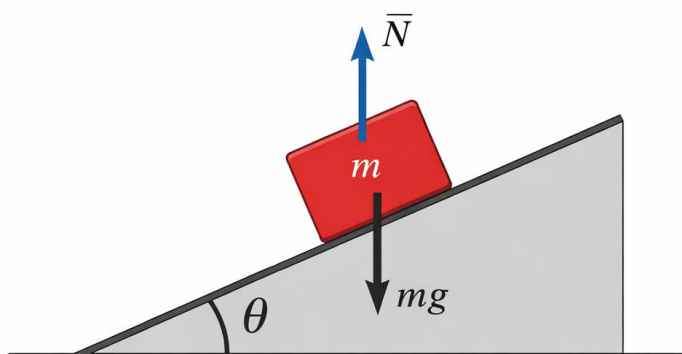


Figura 3 – Bloco apoiado sobre um plano inclinado

### 3.2 Hipóteses Adotadas

Para a análise da dinâmica do bloco em um plano inclinado, foram adotadas algumas hipóteses simplificadoras com o objetivo de tornar o problema matematicamente tratável, sem comprometer a interpretação física do fenômeno. Essas simplificações são amplamente utilizadas na literatura de mecânica clássica e permitem a aplicação direta das leis de Newton na modelagem do sistema, conforme descrito em Dinâmica: Mecânica para Engenharia.

Inicialmente, o bloco é tratado como uma partícula material. Isso significa que suas dimensões são desprezadas e todo o movimento é descrito apenas pela translação do seu centro de massa. Essa aproximação é válida quando não há necessidade de analisar rotações ou efeitos associados à distribuição de massa do corpo.

Outra hipótese adotada é que o plano inclinado é considerado rígido e indeformável. Dessa forma, não são levadas em conta deformações da superfície durante o contato com o bloco. Essa simplificação é comum em problemas de dinâmica e permite considerar que a força normal atua sempre perpendicularmente à superfície, sem variações devido à deformação do material.

Também se assume que a aceleração da gravidade é constante ao longo de todo o movimento, com valor aproximado de  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Essa hipótese é válida para movimentos próximos à superfície terrestre e é amplamente utilizada na análise de sistemas mecânicos.

A resistência do ar é desprezada na modelagem do sistema. Isso significa que não há forças dissipativas associadas ao fluido envolvendo o movimento do bloco. Essa simplificação é adequada quando as velocidades envolvidas são relativamente baixas e a influência do arrasto aerodinâmico é pequena, conforme discutido em Fundamentos de Física.

Quando o atrito é considerado, assume-se que o coeficiente de atrito entre o bloco e o plano inclinado é constante durante todo o movimento. Isso implica que as propriedades das superfícies em contato não variam ao longo do deslocamento e que o modelo de atrito seco de Coulomb é válido para o problema analisado.

Além disso, considera-se que o movimento do bloco ocorre apenas ao longo do plano inclinado. Não há deslocamento na direção perpendicular à superfície, o que implica que o bloco permanece em contato com o plano durante todo o movimento. Dessa forma, a aceleração na direção perpendicular ao plano é nula.

Por fim, assume-se que não existem forças externas adicionais atuando sobre o sistema, além da força peso, da força normal e da força de atrito quando presente. Com essas hipóteses, o sistema pode ser descrito completamente pelas equações da dinâmica translacional.

Essas simplificações permitem desenvolver um modelo matemático consistente e adequado para analisar a influência do atrito no movimento do bloco em um plano inclinado, mantendo a coerência com os princípios da mecânica clássica.

### **3.3 Diagrama de Corpo Livre (DCL)**

O diagrama de corpo livre (DCL) é uma ferramenta fundamental na análise da dinâmica de sistemas mecânicos, pois permite identificar e representar graficamente todas as forças atuantes sobre um corpo isolado. De acordo com Engineering Mechanics: Dynamics, a construção correta do diagrama de corpo livre é a etapa mais importante na aplicação das leis de Newton, pois qualquer erro na identificação das forças compromete toda a análise do movimento.

No presente artigo, o diagrama de corpo livre é construído isolando o bloco apoiado sobre o plano inclinado e representando todas as forças que atuam sobre ele. As forças consideradas são:

Força peso (P)

Força normal (N)

Força de atrito (Fat), quando existente

A força peso atua verticalmente para baixo e é dada por:

$$P = mg$$

Como o movimento ocorre ao longo do plano inclinado, a força peso é decomposta em duas componentes em relação ao sistema de coordenadas adotado. A componente paralela ao plano inclinado é responsável pelo movimento do bloco, enquanto a componente perpendicular atua comprimindo o bloco contra a superfície.

As componentes da força peso são dadas por:

Componente paralela ao plano:

$$P_x = mg \sin \theta$$

Componente perpendicular ao plano:

$$P_y = mg \cos \theta$$

A força normal é exercida pela superfície do plano inclinado sobre o bloco e atua perpendicularmente à superfície. Essa força surge como reação ao contato entre o bloco e o plano inclinado. Em condições nas quais o bloco permanece em contato com a superfície, a força normal é igual à componente perpendicular da força peso.

$$N = mg \cos \theta$$

Quando existe atrito entre as superfícies, surge uma força adicional paralela ao plano inclinado, denominada força de atrito. Essa força atua sempre no sentido oposto ao movimento ou à tendência de movimento do bloco. O módulo da força de atrito é proporcional à força normal e pode ser descrito por:

$$Fat = \mu N$$

Segundo Fundamentos de Física, a direção da força de atrito depende do sentido do movimento do bloco. Se o bloco tende a deslizar para baixo do plano inclinado, a força de atrito atua para cima do plano. Caso o movimento seja no sentido ascendente, a força de atrito atua para baixo do plano.

A construção do diagrama de corpo livre permite identificar claramente as forças atuantes em cada direção, facilitando a aplicação da Segunda Lei de Newton. A partir do DCL, é possível escrever as equações de equilíbrio ou de movimento nas direções paralela e perpendicular ao plano inclinado.

Portanto, o diagrama de corpo livre constitui a base para a análise dinâmica do sistema, permitindo visualizar as interações físicas envolvidas e desenvolver corretamente as equações que descrevem o movimento do bloco em um plano inclinado com e sem atrito.

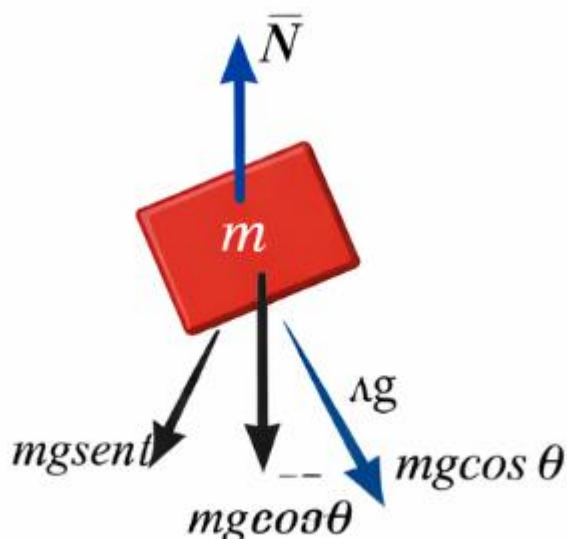


Figura 4 – Diagrama de corpo livre do bloco no plano inclinado.

### 3.4 Sistema de Coordenadas

Para a análise do movimento do bloco no plano inclinado, é necessário definir um sistema de coordenadas adequado. A escolha do sistema de eixos é fundamental para simplificar a decomposição das forças e a aplicação da Segunda Lei de Newton. Conforme discutido em Dinâmica: Mecânica para Engenharia, a orientação dos eixos deve ser feita de modo a alinhar uma das direções com o movimento do corpo, reduzindo a complexidade das equações.

Neste trabalho, adota-se um sistema de coordenadas inclinado, no qual:

O eixo x é paralelo à superfície do plano inclinado

O eixo y é perpendicular ao plano inclinado

Essa escolha é particularmente conveniente, pois o movimento do bloco ocorre exclusivamente ao longo do plano, ou seja, apenas na direção do eixo  $x$ . Assim, a aceleração na direção perpendicular ao plano é nula, o que simplifica significativamente a análise matemática.

Com essa definição, a decomposição da força peso torna-se direta. A componente da força peso paralela ao plano é responsável pelo movimento do bloco, enquanto a componente perpendicular é equilibrada pela força normal exercida pela superfície. Dessa forma, tem-se:

Na direção  $x$ :

$$\sum F_x = ma$$

Na direção  $y$ :

$$\sum F_y = 0$$

A equação na direção  $y$  permite determinar a força normal. Como não há movimento nessa direção, a soma das forças deve ser nula, resultando em:

$$N - mg \cos\theta = 0$$

Logo:

$$N = mg \cos\theta$$

Já na direção  $x$ , aplica-se a Segunda Lei de Newton considerando as forças paralelas ao plano inclinado. No caso sem atrito, a única força nessa direção é a componente da força peso. Quando o atrito está presente, deve-se incluir também a força de atrito, que atua no sentido oposto ao movimento.

Segundo Fundamentos de Física, a escolha de um sistema de coordenadas alinhado ao plano inclinado evita a necessidade de decompor a força normal e reduz o número de equações necessárias para resolver o problema.

Além disso, essa abordagem facilita a interpretação física do fenômeno, pois a aceleração obtida diretamente representa a aceleração do bloco ao longo do plano inclinado. Essa metodologia é

amplamente utilizada em problemas de dinâmica envolvendo superfícies inclinadas, sendo considerada a forma mais eficiente de modelagem.

Portanto, a adoção de um sistema de coordenadas inclinado permite simplificar a análise matemática, reduzir o número de incógnitas e facilitar a aplicação das leis de Newton na determinação do movimento do bloco.

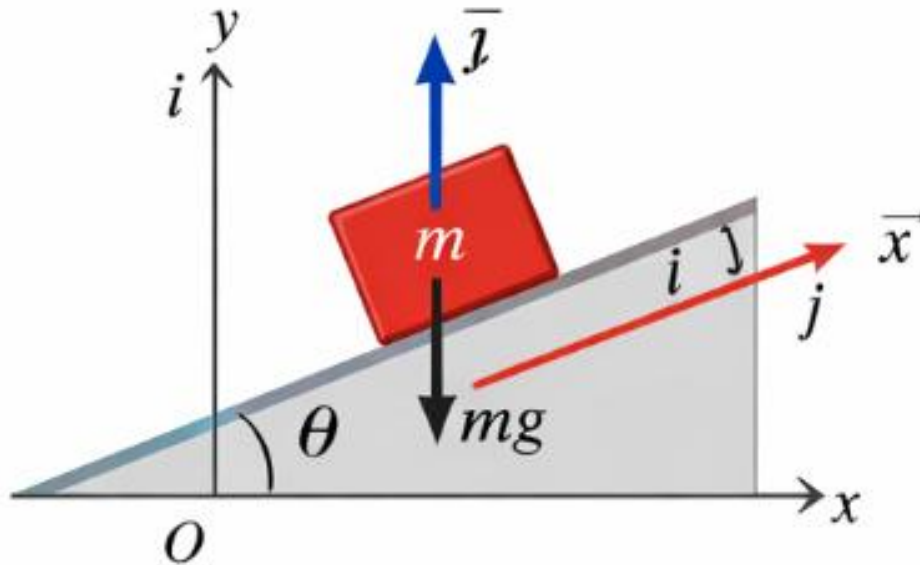


Figura 5 – Sistema de coordenadas adotado no plano inclinado.

#### 4. Análise e Desenvolvimento

##### 4.1 Caso sem Atrito (com valores numéricos)

Considere um bloco com:

$$m = 6kg$$

$$\theta = 35^\circ$$

$$g = 9,81m/s^2$$

Aplicando a Segunda Lei de Newton na direção do movimento:

$$\sum F_x = ma$$

$$mg \sin \theta = ma$$

Cancelando a massa:

$$a = g \sin \theta$$

Substituindo:

$$a = 9,81 \sin(35^\circ)$$

$$a = 9,81 \times 0,574$$

$$a = 5,63m/s^2$$

Portanto, a aceleração do bloco sem atrito é:

$$a = 5,63m/s^2$$

Força resultante:

$$Fr = ma$$

$$Fr = 6 \times 5,63$$

$$Fr = 33,78N$$

#### 4.2 Caso com atrito (com valores numéricos)

Considere agora:

$$m = 6kg$$

$$\theta = 35^\circ$$

$$\mu = 0,25$$

$$g = 9,81m/s^2$$

Equação do movimento:

$$\sum Fx = mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta$$

$$a = g(\sin \theta - \mu \cos \theta)$$

Substituindo:

$$a = 9,81(0,574 - 0,25 \times 0,819)$$

$$a = 9,81(0,574 - 0,2047)$$

$$a = 9,81 \times 0,3693$$

$$a = 3,62m/s^2$$

Logo:

$$a = 3,62m/s^2$$

Força resultante:

$$Fr = ma$$

$$Fr = 6 \times 3,62$$

$$Fr = 21,72N$$

### 4.3 Comparação entre os Casos

A comparação entre o movimento do bloco em um plano inclinado com e sem atrito permite avaliar quantitativamente a influência das forças resistivas na dinâmica do sistema. No caso ideal, sem atrito, a única força atuante na direção paralela ao plano inclinado é a componente da força peso, resultando em uma aceleração dada por:

$$a = g \sin\theta$$

Já no caso com atrito, a força resistiva reduz a força resultante ao longo do plano, modificando a equação da aceleração para:

$$a = g(\sin\theta - \mu\cos\theta)$$

Observa-se que a presença do termo  $\mu\cos\theta$  reduz diretamente o valor da aceleração, demonstrando que o atrito atua como uma força dissipativa. Conforme descrito em Fundamentos de Física, o atrito converte parte da energia mecânica em energia térmica, reduzindo a energia disponível para o movimento.

Comparando os resultados obtidos numericamente:

Sem atrito:

$$a1 = 5,63m/s^2$$

Com atrito:

$$a2 = 3,62m/s^2$$

A diferença entre as acelerações é:

$$\Delta a = a1 - a2$$

$$\Delta a = 5,63 - 3,62$$

$$\Delta a = 2,01m/s^2$$

Isso representa uma redução significativa na aceleração do bloco. Em termos percentuais:

$$\text{Redução} = (\Delta a/a_1) \times 100$$

$$\text{Redução} = (2,01/5,63) \times 100$$

$$\text{Redução} \approx 35,7 \%$$

Esse resultado demonstra que o atrito altera de forma relevante o comportamento dinâmico do sistema. Segundo Dinâmica: Mecânica para Engenharia, quanto maior o coeficiente de atrito, menor será a aceleração do corpo, podendo inclusive ocorrer equilíbrio estático.

Outro ponto importante é que, no caso sem atrito, a aceleração depende apenas do ângulo do plano inclinado, sendo independente da massa do bloco. Já na presença de atrito, embora a massa continue se cancelando matematicamente, o comportamento físico do sistema passa a depender das características das superfícies em contato, representadas pelo coeficiente de atrito.

Além disso, observa-se que, para valores elevados do coeficiente de atrito, a aceleração pode se tornar nula, indicando que o bloco não entra em movimento. Essa condição ocorre quando:

$$\tan\theta \leq \mu$$

Nessa situação, a força de atrito estático é suficiente para equilibrar a componente da força peso paralela ao plano, mantendo o bloco em repouso.

Fisicamente, isso significa que o atrito atua como um mecanismo de controle do movimento, sendo fundamental em diversas aplicações de engenharia, como sistemas de frenagem, rampas industriais, transportadores inclinados e estruturas mecânicas sujeitas ao deslizamento.

Portanto, a comparação entre os dois casos evidencia que o atrito reduz a aceleração, diminui a força resultante e pode até impedir o movimento, mostrando sua importância na análise de sistemas reais.

## 5. Resultados e Discussão

Com base no modelo matemático desenvolvido ao longo deste trabalho, foi possível analisar de forma clara a influência do atrito no movimento de um bloco em um plano inclinado. Para isso, considerou-se um bloco de massa  $m = 6\text{kg}$ , posicionado em um plano inclinado de  $35^\circ$ , com aceleração da gravidade igual a  $9,81\text{ m/s}^2$ . No caso com atrito, adotou-se um coeficiente  $\mu = 0,25$ , permitindo a comparação entre uma situação ideal e outra mais próxima de aplicações reais.

Inicialmente, analisando o sistema sem a presença de atrito, obteve-se uma aceleração de  $5,63\text{ m/s}^2$  e uma força resultante de  $33,58\text{N}$ . Esse resultado está de acordo com o esperado, já que, nessa condição, o movimento depende apenas da componente da força peso ao longo do plano inclinado. Dessa

forma, observa-se que o bloco tende a deslizar com maior facilidade quando não há resistência ao movimento.

Ao considerar o atrito, houve uma redução significativa nos valores obtidos. A aceleração passou a ser  $3,62\text{m/s}^2$ , enquanto a força resultante foi de  $21,72\text{N}$ . Comparando os dois casos, verifica-se uma diminuição de  $2,1\text{m/s}^2$  na aceleração, o que corresponde a uma redução de aproximadamente 35,7%. Esse resultado evidencia o papel do atrito como uma força que se opõe ao movimento, reduzindo a intensidade do deslocamento do bloco.

Do ponto de vista físico, essa diferença mostra que o comportamento do sistema não depende apenas da inclinação do plano, mas também das características das superfícies em contato. Enquanto no caso ideal a análise é mais simples, na presença de atrito o sistema se torna mais representativo de situações reais, em que sempre há algum tipo de resistência ao movimento.

Outro ponto relevante diz respeito à condição de início do movimento. Conforme discutido anteriormente, o bloco só entra em movimento quando a componente da força peso ao longo do plano supera o valor máximo da força de atrito estático. Isso implica que, para determinados valores de inclinação e coeficiente de atrito, o bloco pode permanecer em repouso, mesmo estando em um plano inclinado. Esse comportamento é bastante comum em aplicações práticas e reforça a importância de considerar o atrito nas análises.

De modo geral, os resultados obtidos são coerentes com o modelo adotado e com o comportamento esperado do sistema. A diferença observada entre os casos com e sem atrito destaca a relevância dessa força em problemas de engenharia, especialmente em situações que envolvem movimento sobre superfícies inclinadas, como sistemas de transporte, rampas e mecanismos de contato.

Por fim, é importante destacar que o modelo utilizado considera algumas simplificações, como a adoção de um coeficiente de atrito constante e a desconsideração de efeitos como resistência do ar e deformações das superfícies. Ainda assim, essas aproximações são adequadas para o nível de análise proposto, permitindo compreender de forma consistente a influência do atrito na dinâmica do sistema.

## 6. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo analisar a dinâmica de blocos em planos inclinados, considerando situações com e sem a presença de atrito. A partir da aplicação das leis de Newton e da modelagem das forças atuantes, foi possível compreender como diferentes fatores influenciam diretamente o comportamento do sistema.

A análise mostrou que, no caso ideal sem atrito, o movimento do bloco depende exclusivamente da inclinação do plano, resultando em maiores valores de aceleração. Por outro lado, ao considerar o

atrito, observou-se uma redução significativa na aceleração e na força resultante, evidenciando o papel dessa força como resistência ao movimento. Essa diferença entre os dois cenários reforça a importância de incluir o atrito em análises que buscam representar situações reais.

Além disso, a condição para o início do movimento demonstrou que nem sempre um corpo em um plano inclinado estará em movimento. Dependendo da relação entre o ângulo de inclinação e o coeficiente de atrito estático, o bloco pode permanecer em repouso, o que tem grande relevância em diversas aplicações práticas.

De modo geral, os resultados obtidos foram coerentes com o comportamento físico esperado e permitiram uma melhor compreensão do problema proposto. Mesmo com as simplificações adotadas, como a consideração de um coeficiente de atrito constante e a ausência de resistência do ar, o modelo se mostrou adequado para a análise desenvolvida.

Por fim, o estudo contribui para a compreensão de conceitos fundamentais da dinâmica, que são amplamente utilizados na engenharia, especialmente em sistemas que envolvem movimento e interação entre superfícies. Como continuidade, o modelo pode ser ampliado para incluir outros fatores, como variações no coeficiente de atrito, análise energética ou até simulações computacionais, tornando a análise ainda mais próxima de situações reais.

## Referências

- BEER, Ferdinand P.; JOHNSTON, E. R. *Mecânica vetorial para engenheiros: dinâmica*. Porto Alegre: AMGH, 2012.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de física: mecânica*. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- HIBBELER, R. C. *Dinâmica: mecânica para engenharia*. São Paulo: Pearson, 2011.
- OPENSTAX. *University Physics Volume 1*. Houston: OpenStax, Rice University, 2020. Disponível em: <https://openstax.org/details/books/university-physics-volume-1>. Acesso em: 25 mar. 2026.
- MIT. *MIT OpenCourseWare – Physics Courses*. Massachusetts Institute of Technology. Disponível em: <https://ocw.mit.edu/courses/physics/>. Acesso em: 25 mar. 2026.