

# FILAMENTO DE POLIPROPILENO

## Guia de Impressão

## Introdução

O filamento de polipropileno (PP) da Braskem foi desenvolvido especificamente para otimização de performance em Manufatura Aditiva. As propriedades mecânicas, resistência química, baixa densidade e alta resistência à fadiga (*living hinge*) fazem do polipropileno um ótimo material para o uso na indústria da Manufatura Aditiva. Este guia de processamento pretende fornecer informações que você talvez precise para obter o máximo desempenho do filamento de polipropileno da Braskem. Este é um guia completo com informações de como preparar a mesa de impressão, condições de fatiamento e considerações quanto ao design.

## Métodos de Adesão na Mesa

Assim como para outros filamentos, a adesão na mesa e o seu nivelamento adequado são chave quando se imprime com PP. Abaixo são apresentados três métodos que irão assegurar seu sucesso com o filamento de PP, garantindo uma boa adesão à base de impressão, que auxilia a mitigação do empenamento.

Os métodos abaixo descritos se adequam à maioria das geometrias. Entretanto, geometrias propensas ao empenamento que contenham cantos vivos, grandes dimensões ou seções transversais de grande espessura talvez apresentem variações de resultados. **É importante ressaltar que o sucesso de qualquer solução de adesão na mesa é fortemente dependente do nivelamento da mesa e da deposição da primeira camada de filamento.** Antes de utilizar qualquer produto para adesão na mesa, recorra ao manual de operação de sua impressora para assegurar-se que a mesa de impressão está corretamente nivelada. Isso irá ajudar a garantir uma adequada deposição da primeira camada na mesa.

Além dos métodos descritos abaixo, existem diversos produtos que podem funcionar como soluções de adesão na mesa. Porém, as soluções neste guia são recomendadas para maior consistência e conveniência.

**IMPORTANTE:** Métodos tradicionais de adesão na mesa utilizados em impressões de PLA e ABS, como fita crepe (*blue tape*), spray para cabelo e cola em bastão NÃO fornecerão adesão na mesa adequada para filamento de polipropileno. As partes impressas não terão adesão suficiente na mesa de impressão, o que levará ao empenamento das mesmas, que começarão a descolar da base. O filamento de PP não é quimicamente compatível com os adesivos utilizados para PLA e ABS geralmente e requerem adesivo específico para adesão de poliolefinas para garantia do melhor resultado de durante a impressão.

## Cola Líquida para Adesão de PP

O método preferível de adesão na mesa é a utilização de uma cola líquida para adesão especialmente desenvolvido para aplicações de impressão 3D em PP. A cola líquida para adesão de polipropileno fornece uma ótima adesão na mesa e é solúvel em água, tornando-a de fácil limpeza. Esse método funciona melhor com mesas de impressão de vidro.



- Primeiro certifique-se que o equipamento está frio ao toque e limpe completamente a superfície da mesa de impressão para remover qualquer tipo de possível contaminação.
- Nivele a mesa de impressão antes da aplicação da cola. O nivelamento da mesa de impressão é crítico para assegurar a correta deposição da primeira camada de PP, permitindo uma adequada adesão na mesa.
- Aplique uma fina e uniforme camada do adesivo na mesa de impressão utilizando o aplicador de espuma ou *roll-on*, utilizando um movimento circular, sobrepondo camadas até a área de impressão estar coberta. Você notará uma superfície fina e opaca sob a mesa referente à camada de cola aplicada.
- Ajuste os parâmetros de impressão para garantir que a mesa de impressão aqueça em uma temperatura entre 60-80°C conforme orientações do fabricante. A real temperatura da mesa de impressão pode variar entre equipamentos, portanto podem ser necessários ajustes fora do faixa de temperatura recomendada.
- Uma vez que a impressão é finalizada e a mesa de impressão é resfriada a temperatura ambiente, a peça pode ser cuidadosamente removida da mesa usando luvas de proteção e uma espátula. Para facilitar a remoção das peças, aqueça a mesa de impressão até 80°C para ajudar a liberar a peça impressa.
- É possível reaplicar o adesivo após a remoção da peça para impressões subsequentes, mas a adesão será negativamente afetada a cada reaplicação. A mesa de impressão pode ser limpa utilizando água morna e sabão com uma esponja abrasiva. Não limpe a mesa de impressão quando esta estiver dentro ou presa à impressora.

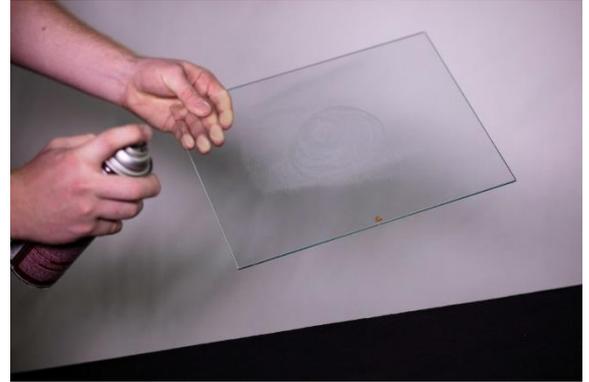
**IMPORTANTE:** A cola líquida para adesão de polipropileno funciona melhor para impressões cujo tempo seja menor que 24 horas. Quando o tempo de impressão for superior a 24 horas, as peças podem começar a empenar como resultado a longa exposição à mesa aquecida. Para peças que necessitam de tempos de impressão superiores a 24 horas, é melhor programar a temperatura da mesa para 80°C na primeira camada e 23°C para as demais camadas.

© 2020 Braskem S.A. Todos os direitos reservados.

Esse material e seu conteúdo não pode ser revelado, reproduzido, disseminado ou usado (total ou parcialmente) sem a prévia autorização por escrito da Braskem. O presente material contém recomendações visando otimizar sua experiência com o produto da Braskem. A Braskem não se responsabiliza por resultados ou efeitos adversos aos reportados no manual, que poderão decorrer de características técnicas e/ou operacionais específicas de seu equipamento.

## Spray Adesivo

Spray adesivo também funciona bem para filamentos de PP, mas o uso desse método é recomendado apenas para mesas de impressão removíveis. Não é recomendado aplicar o spray adesivo diretamente em mesas de impressão fixas. A aplicação do spray adesivo dentro da impressora pode levar ao revestimento de outras partes além da mesa de impressão, o que pode gerar dano à impressora depois de muitas aplicações.



- Primeiro certifique-se que o equipamento está frio ao toque e limpe completamente a superfície da mesa de impressão para remover qualquer tipo de possível contaminação.
- Nivele a mesa de impressão antes da aplicação do spray. O nivelamento da mesa de impressão é crítico para assegurar a correta deposição da primeira camada de PP, permitindo uma adequada adesão na mesa.
- Remova a mesa de impressão para eliminar possíveis aplicações de spray em hastes, correias ou partes eletrônicas. Se sua mesa de impressão não pode ser removida, posicione um vidro ou um espelho acima da mesa de impressão utilizando prendedor de papel (*binder clips*), a mesa precisará ser nivelada novamente com a nova altura. O spray adesivo funciona melhor em superfícies de vidro; mesas de impressão de outros materiais podem não apresentar propriedades de adesão adequadas.
- Em uma área bem ventilada, aplique brevemente o spray adesivo (2-4 segundos) na mesa de impressão gerando na superfície uma camada uniforme de cola. A superfície da mesa de impressão deve aparentar uma textura fina e homogênea. Aplicar o spray adesivo em excesso pode resultar na redução da performance do mesmo.
- Deixe o adesivo secar em área ventilada por 2 minutos antes de aquecer o bico de extrusão.
- A mesa agora está pronta para a impressão. Lembre-se, a melhor adesão na mesa para spray adesivo ocorre quando a mesa de impressão tem seu aquecimento desligado ou programado para 20-30 °C.
- Uma vez que a impressão é finalizada, a peça pode ser cuidadosamente removida da mesa usando luvas de proteção e uma espátula.
- Recomenda-se a limpeza da mesa de impressão após a retirada da peça. Aplicações subsequentes de camadas de cola sem limpeza da mesa terão como consequência uma perda de performance de adesão.
- A mesa de impressão pode ser limpa utilizando removedores de adesivos ou por uma lavagem com água morna e sabão com uma esponja abrasiva. Não limpe a mesa de impressão quando esta estiver dentro ou presa à impressora. Em caso de dúvidas, consulte as informações de remoção do fabricante do spray adesivo.

## Cola Multifuncional para PP

O uso da cola multifuncional para polipropileno funciona bem para impressões 3D utilizando filamentos de PP. O uso desse método é recomendado para mesas de impressão removíveis de vidro. É importante verificar as condições de temperatura a serem utilizadas para a melhor performance da cola. Nesse caso, indica-se aquecer a mesa de impressão a 90-100°C para a primeira camada de impressão e, depois de finalizada a impressão, para soltar a peça da mesa.



- Primeiro certifique-se que o equipamento esteja frio ao toque e limpe completamente a superfície da mesa de impressão para remover qualquer tipo de possível contaminação.
- Nivele a mesa de impressão antes da aplicação da cola. O nivelamento da mesa de impressão é crítico para assegurar a correta deposição da primeira camada de PP, permitindo uma adequada adesão na mesa.
- Aplique uma fina e uniforme camada da cola na mesa de impressão utilizando uma espátula ou ferramenta similar até a área de impressão estar totalmente coberta. Você notará uma superfície fina e translúcida sob a mesa referente à camada de cola aplicada.
- Ajuste os parâmetros de impressão para garantir que a mesa de impressão aqueça em uma temperatura entre 90-100°C somente na primeira camada de impressão e 20-30°C para demais camadas.
- Uma vez que a impressão é finalizada, aqueça a mesa a uma temperatura entre 90-100°C para que a peça se solte da cola aplicada na mesa.
- Retire a peça cuidadosamente com uma espátula ou manualmente, usando equipamentos de proteção individual para garantir sua segurança durante o processo.
- Recomenda-se a limpeza da mesa de impressão após a retirada da peça. É possível reaplicar o adesivo após a remoção da peça para impressões subsequentes, mas a adesão será negativamente afetada a cada reaplicação, assim como será cada vez mais trabalhoso remover a cola da mesa conforme a camada aplicada vai ficando mais espessa.
- A mesa de impressão pode ser limpa utilizando água morna e sabão com uma esponja abrasiva ou conforme indicação do fabricante. Não limpe a mesa de impressão quando esta estiver dentro ou presa à impressora.

## Guia de Fatiamento e Design

As configurações de fatiamento e o design são outros parâmetros importantes para assegurar a qualidade da sua peça impressa final. Seu filamento da Braskem é acompanhado de uma ficha técnica do produto com recomendações básicas de condições de impressões para lhe ajudar a começar a imprimir com PP. Essas condições são encontradas em uma tabela similar à apresentada abaixo. Entretanto, existem alguns parâmetros adicionais que talvez precisem de atenção como as condições de primeira camada, configurações de *brim* e *raft*, velocidade de impressão e estruturas de suporte. Antes de ajustar qualquer destes parâmetros, verifique novamente se a mesa de impressão está nivelada. Inconsistências na altura da mesa em relação ao bico de extrusão podem resultar em efeitos de cascata que afetarão negativamente sua peça final.

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Faixa</b>
<b>Temperatura de Extrusão</b>	°C	220 - 230
<i>Temperatura de extrusão da primeira camada</i>	°C	235
<b>Temperatura da Mesa - Cola líquida de adesão para PP</b>	°C	60 - 80
<b>Temperatura da Mesa - Spray Adesivo e Cola multifuncional*</b>	°C	20 - 40
<b>Velocidade de Impressão</b>	mm/s	35 - 65
<i>Velocidade de impressão da Primeira Camada</i>	mm/s	20 - 40
<b>Velocidade do Ventilador</b>	%	50 - 100
<i>Velocidade do Ventilador na Primeira Camada</i>	%	0
<b>Multiplicador de extrusão</b>	–	0.90 - 1.10
<b>Percentual de Overlap</b>	%	20 - 40
<b>Brim</b>	Linhas	≥5
<b>Raft Air Gap</b>	mm	0,1

\* Cola multifuncional: Recomenda-se aquecer a mesa de impressão de 90-100°C na primeira camada de impressão e após a impressão estiver finalizada para retirar a peça da mesa. A temperatura de mesa para o restante da impressão é de 20-40°C.

### Configurações da Primeira Camada

As configurações de extrusão para a primeira camada de deposição de filamento são críticas para o sucesso da impressão com o seu filamento de PP. As configurações para a primeira camada serão diferentes para assegurar uma forte interface com a mesa de impressão e minimizar o empenamento.

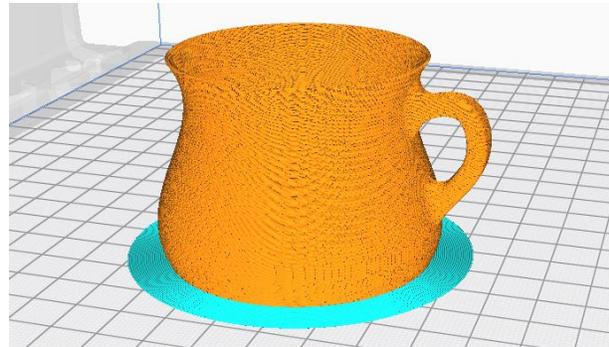
- Certifique que a mesa está nivelada para assegurar que a primeira camada faça contato completo com a mesa de impressão.
- Se o bico de extrusão estiver muito longe da mesa de impressão em algum ponto da primeira camada, esta seção não irá aderir adequadamente na mesa e começará a empenar.
- A velocidade do ventilador deverá ser desativada ou configurada para 0% para a primeira camada, isso permitirá uma melhor adesão à base.

- A velocidade de impressão deverá ser menor (20-40 mm/s) para a primeira camada para assegurar que o bico de extrusão deposite uma camada uniforme de polímero na mesa.
- A temperatura do bico de extrusão deverá ser configurada para 235°C para a primeira camada. Assegure-se que a primeira camada foi totalmente extrudada e depositada constantemente.
- Multiplicador de extrusão deverá ser configurado para 0,90-1,10.

**Nota:** Se a primeira camada aparentar estar com extrusão insuficiente, aumente o multiplicador de extrusão para assegurar uma deposição de material satisfatória.

## Configurações de *Brim*

Saber como e quando utilizar o *raft* e o *brim* pode ser muito importante para imprimir diferentes geometrias utilizando o filamento de PP da Braskem. Utilizar o *brim* pode ser uma rápida maneira de aumentar a adesão de uma peça na mesa sem aumentar significativamente o tempo de impressão ou a utilização de material.

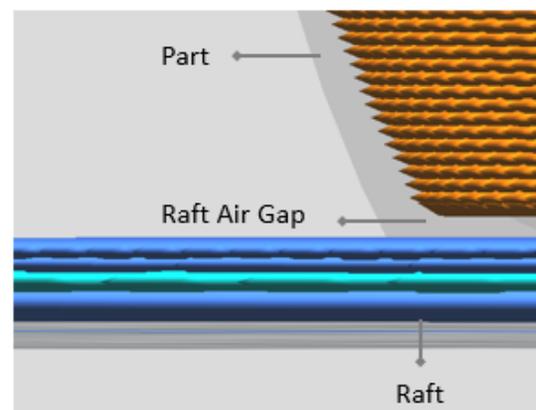


A largura de *brim* necessária irá depender da geometria da peça a ser impressa. É recomendado, inicialmente, no mínimo 5 linhas de largura de *brim*, mas este número pode ser maior para geometrias complexas ou propensas ao empenamento.

## Configurações de *Raft*

Se o *brim* não fornecer adesão suficiente na mesa de impressão para determinada geometria, o *raft* pode ser utilizado para aumentar a adesão entre a peça e a mesa. Ao utilizar o *raft*, existem dois parâmetros principais a serem considerados no ajuste: o *raft air gap* e a margem extra de *raft*.

**Raft Air Gap:** O parâmetro mais importante é o *raft air gap*, que é o espaçamento entre a camada superior do *raft* e a camada inferior da peça. O parâmetro ideal para o *raft air gap* é de 0,1 mm (esse valor pode variar levemente para mais ou para menos de acordo com o modelo e marca da sua impressora).



**Nota:** Se o valor do raft air gap configurado é muito baixo, a peça irá fundir diretamente no raft, tornando sua remoção difícil. Se o valor do raft air gap configurado é muito alto, a peça não irá aderir suficientemente ao raft, com isso a peça irá empenar ou não aderir na mesa de impressão.

**Margem extra de Raft:** Outro parâmetro importante do raft é a margem extra de raft, que é a distância que o raft se estende além da dimensão da peça impressa. Recomenda-se começar com uma margem extra de raft de 10 mm (pode ser necessário aumentar este valor para geometrias complexas ou propensas ao empenamento).

A velocidade de impressão da primeira camada também pode influenciar significativamente a performance de adesão, por favor verifique a seção de Velocidade de Impressão para mais informações.

**Nota:** É importante ressaltar que a adesão na mesa de impressão é extremamente dependente do nivelamento da mesa, assegure-se que o bico de extrusão está nivelado em todos os pontos da mesa para os melhores resultados de impressão. Além disso, por favor siga o guia de adesão na mesa para prevenir empenamentos.

## Velocidade de Impressão

A velocidade de impressão normalmente determina tanto a velocidade do cabeçote de impressão quanto a taxa na qual o material é extrudado pelo bico. Essa configuração pode variar significativamente dependendo do tipo de geometria da peça a ser impressa. A velocidade da primeira camada influencia significativamente a performance de adesão na mesa e deve ser lenta para assegurar um contato próximo e preciso com a mesa de impressão.

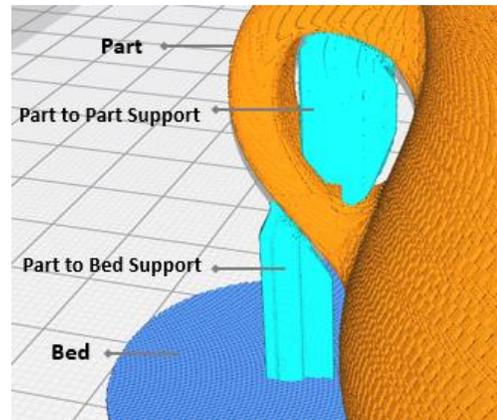
- A velocidade de impressão recomendada dependerá da geometria da peça.
- É recomendado o ajuste da velocidade de impressão da primeira camada para 20-40 mm/s.
- Para peças com alta resolução que requerem resistência mecânica, velocidades menores que 20 mm/s são recomendadas.
- Para impressões rápidas, a velocidade de impressão da primeira camada pode ser aumentada até 40-65 mm/s.
- Para camadas subsequentes as velocidades de impressão podem ser aumentadas até 35-65 mm/s

**Nota:** Se seu equipamento aparentar estar com volume de extrusão inadequado, em excesso ou em falta, tente ajustar o parâmetro de multiplicador de extrusão para compensar essas variações.

## Estruturas de Suporte

Estruturas de suporte são chaves no sucesso de impressões de geometrias complexas contendo regiões com ângulos elevados ou íngremes (*overhang* e *steep angles*). Essas regiões necessitarão de suportes adequados visando obter sucesso na impressão.

Existem dois tipos de estruturas de suporte para fabricação com filamento fundido (FFF) – estruturas que são posicionadas entre a mesa e a peça e estruturas que são posicionadas entre diferentes níveis da peça. Para ambos tipos de suporte, é recomendado exclusivamente o uso de PP como material de suporte.



Similar aos parâmetros de *raft*, as estruturas de suporte precisam ter configurados um *air gap* no topo e na base do suporte, permitindo uma fácil remoção da estrutura. O *air gap* é normalmente configurado por incrementos da altura de camada. Portanto, é recomendado configurar o *air gap* em 1 camada para ambos, topo e base do material de suporte. Se a altura de camada é grande (> 0,25 mm) e as estruturas de suporte estão falhando ao utilizar 1 camada de *air gap*, considere utilizar um *air gap* de 0. Isso poderá exigir pós-processamento para remover as estruturas de suporte mas irá assegurar um suporte adequado da geometria.

**Nota:** Outros materiais geralmente utilizados para suporte como PVA (solúvel em água), PLA, ABS ou PETG não irão aderir ao PP. Esta falta de adesão provavelmente causará uma falha, especialmente em estruturas de suportes que aderem em diferentes níveis da peça.

## Design de Peças para Redução de Empenamento

Com o objetivo de produzir peças de alta qualidade, é importante entender o que causa o empenamento. Existem muitas situações nas quais é necessário ter atenção ao tentar minimizar o empenamento de peças.

- **Seções transversais de grande espessura** são mais suscetíveis ao empenamento. Essa susceptibilidade é causada pelo resfriamento desigual entre interior e exterior da peça. Empenamentos associados a seções transversais de grande espessura podem ser minimizados ao ajustar o design ou reduzir a densidade de preenchimento da peça.
- **Cantos vivos** são normalmente propensos ao empenamento já que são pontos de concentração de tensão. Empenamento nestas regiões podem ser reduzidos com o arredondamento dos cantos vivos.
- **Overhangs sem suporte** são também muito propensos ao empenamento já que possuem uma mínima quantidade de interação com a camada anterior. Para reduzir a tendência ao empenamento, é recomendado adicionar estruturas de suporte, alterar o design para reduzir o ângulo de *overhang* ou rotacionar a peça no software de fatiamento para artificialmente reduzir o ângulo de *overhang*.
- **Paredes finas** impressas diretamente na mesa de impressão podem levar ao empenamento pois este tipo de geometria possui mínima área de contato com a mesa de impressão. O efeito de empenamento causado por essa geometria é significativamente aumentado com o crescimento da altura da parede ou caso a parede contenha cantos vivos (observar “cantos vivos”). Estruturas de paredes finas em padrões circulares, similares à um vaso, possuem melhor resistência o empenamento. Usar *brim* pode ajudar a aumentar a área de contato superficial e prevenir empenamento.

# Imprimindo com Filamentos de Polipropileno:

## Perguntas Frequentes

Por favor, lembre-se que equipamentos de fabricação com filamento fundido (FFF) podem variar significativamente entre marcas e modelos. Sempre recorra ao manual de operação de seu equipamento para assegurar a operação segura de sua impressora.

### Por que meu filamento de PP não está aderindo na mesa de impressão?

Garanta que sua primeira camada de impressão esteja ajustada para obter sucesso

- Certifique que a mesa de impressão esteja nivelada, a adesão de filamento de PP na base é muito sensível ao nivelamento da mesa. Por favor recorra ao manual de operação do seu equipamento para o correto nivelamento da mesa.
- Utilize métodos de adesão na mesa especialmente desenvolvidos para filamentos de PP. Nós recomendamos cola líquida de adesão desenvolvida especificamente para impressão 3D de PP, spray adesivo específico para poliolefinas ou cola multifuncional para PP (NOTA: Fita crepe e/ou spray para cabelo não funcionarão com filamentos de PP).
- Certifique-se de ajustar a altura da primeira camada para garantir alguma pressão do bico de extrusão contra a mesa de impressão durante a deposição de material.
- Utilize uma velocidade de impressão lenta na primeira camada (20-40 mm/s).
- Para peças complexas tente adicionar camadas extras de *raft/brim* para melhorar a adesão com a mesa.

### Por que o fluxo de material no bico de extrusão está lento ou limitado?

Fluxo lento de material é normalmente causado por uma obstrução ou uma temperatura incorreta do bico de extrusão.

- Assegure-se que você configurou o bico de extrusão entre 220-230 °C e 235 °C para a primeira camada (NOTA: sempre verifique o manual de operação de seu equipamento para a temperatura máxima do bico de extrusão).
- Assegure-se que o bico de extrusão não está bloqueado com materiais de impressões anteriores. Recorra ao manual de operação do equipamento para instruções adequadas de limpeza de obstruções.

- Verifique se o sistema de alimentação está direcionando corretamente o filamento até o *hot end*.
  - Apertar demais as engrenagens do sistema de alimentação pode resultar em compressão ou rompimento do filamento.
  - Não apertar suficientemente as engrenagens do sistema de alimentação pode resultar no escorregamento da engrenagem o que irá diminuir a alimentação do polímero no bico, reduzindo o fluxo.
- Verifique o multiplicador de extrusão para certificar-se que está corretamente configurado e/ou calibrado. Esse parâmetro deve ser configurado para 0,90-1,10.

### Por que as peças estão empenando durante a impressão?

Empenamento é normalmente causado por problemas devido a incorreta adesão na mesa (verifique as perguntas frequentes relacionadas a adesão na mesa). Se a mesa de impressão tem adesão e nivelamento adequando e o problema de empenamento persistir, resoluções incluem:

- Certifique-se que o ventilador de resfriamento está desligado na primeira camada e configurado para 50-100% para as demais camadas.
- Reduza o preenchimento (%) ou o número de camadas de contorno (#) para reduzir o acúmulo térmico dentro da peça.
- Remova cantos vivos do design para reduzir concentração de tensões na peça.
- Certifique-se que *overhangs* com ângulos elevados estão devidamente apoiados.

A cola líquida de adesão para Polipropileno funciona melhor para tempos de impressão menores que 24 horas. Ao imprimir peças com tempos de impressão maiores que 24 horas, as peças podem começar a empenar devido a longa exposição à mesa de impressão aquecida. Para peças que necessitam de tempos de impressão superiores a 24 horas, é melhor a utilização do método do spray adesivo.

### Por que minha peça não está aderindo ao raft?

Quando isto ocorrer por favor verifique o *raft air gap*, que é o espaço entre a camada superior do *raft* e a camada inferior da peça. Este precisa ser corretamente configurado para garantir a adesão adequada entre a peça e o *raft*.

### Por que minha peça está aderindo demais ao raft?

O *raft air gap* deve ser configurado para 0,1 mm mas ajustes podem ser necessários dependendo do equipamento utilizado.

**Por que minha peça sofre de empenamento em tempos de impressão longos (> 24 horas)?**

Exposição térmica durante longos períodos de construção pode causar empenamento na peça. Ao utilizar a cola líquida para adesão de PP em impressões de longa duração, é recomendado ajustar a temperatura da primeira camada de impressão para 80°C e para as demais 23°C.

---

**Por que minha peça sofre de empenamento ao imprimir várias peças na mesma mesa de impressão?**

Verifique que a mesa de impressão está nivelada e limpa em todos os pontos da superfície. Mínimas variações de nivelamento ou contaminações na superfície podem levar ao empenamento das suas peças.